



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LIPIKASSETI OPTIMEERIMINE

OPTIMIZING STICK CASSETTE DESIGN

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Raul Suurkask

Üliõpilaskood: 221831MATM

Juhendaja: Toivo Tähemaa, kaasprofessor

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" mai 2024

Autor: Raul Suurkask

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"20" mai 2024

Juhendaja: Toivo Tähemaa

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....." mai 2024 .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Raul Suurkask,

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Lipikasseti optimeerimine, mille juhendaja on Toivo Tähemaa,

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.

20.05.2024

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.

TTÜ Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Raul Suurkask, 221831MATM

Õppekava, peeriala: MATM, Tootearendus ja tootmistehnika

Juhendaja: Toivo Tähemaa, kaasprofessor

Lõputöö teema:

Lipikasseti optimeerimine

Optimize stick cassette design

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Vähendada lipikasseti laiust.
2. Hinnata erinevaid võimalikke lahendusi lipikasseti põhifunktsiooni täitmiseks.
3. Luua optimeeritud lipikassetist 3D mudelid ja 2D joonised.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Ülesande püstitus	15.01.2024
2.	Lipikasseti optimeerimine	17.04.2024
3.	Magistritöö vormistamine	20.05.2024

Töö keel: Eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: "20" mai 2024 a

Üliõpilane: Raul Suurkask ".....".....20.....a
/allkiri/

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

Programmijuht: Martin Eerme ".....".....20.....a
/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA	7
SISSEJUHATUS	8
1 ETTEVÕTTE TUTVUSTUS	10
1.1 Saematerjali sorteerimisliin	10
2 OLEMASOLEV LIPIRAAM.....	12
2.1 Lipiraami olulisus liinis	13
2.2 Olemasoleva lipiraami kirjeldus	13
2.3 Olemasolev lipikasset.....	14
2.3.1 Olemasolev lipi etteanne	15
2.3.2 Olemasolev lipihaarats	16
3 PROBLEEMI PÜSTITUS	17
3.1 Tihedamat paigutust võimaldavad lipikassetid.....	17
4 TURUANALÜÜS	18
4.1 Springer	18
4.2 Novilco	19
4.3 USNR.....	19
4.4 Comact.....	20
4.5 Passimo.....	21
4.6 Järeldused	22
5 LIPIKASSETI OPTIMEERIMISEKS SOBIVATE LAHENDUSTE LEIDMINE.....	23
5.1 Nõuete loetelu.....	23
5.2 Morfoloogiline skeem.....	24
5.3 Lahenduste hinnang	24
5.3.1 Haaratsi valik	24
5.3.2 Lippide asetamise printsiibi valik	26
5.3.3 Lipi etteande lahenduse valik.....	28
5.3.4 Lipi etteande printsiibi valik	31
6 PROJEKTEERIMINE.....	32
6.1 Arvutused.....	32
6.1.1 Lipi kaalu arvutamine	32
6.1.2 Lipi etteandeks vajalik jõu arvutamine	33
6.1.3 Lipi etteande silindri dimensioneerimine.....	35

6.1.4 Lippide asetamise silindri dimensioneerimine.....	36
6.2 Modelleerimine.....	36
6.2.1 Raami konstruktsioon	37
6.2.2 Lipi etteande konstruktsioon.....	38
6.2.3 Lippide asetamise lahendus	40
6.2.4 Lipi piiraja.....	42
6.2.5 Alusraam	43
6.2.6 Lipikasseti modelleerimise tulemused.....	44
6.3 Tugevusarvutused.....	45
6.3.1 Lipi piiraja tugevusarvutus.....	45
6.3.2 Lipi etteande tugevusarvutus	47
7 LIPIKASSETI JUHTIMINE	50
7.1 Lipikasseti elektrikomponendid	50
7.2 Lipikasseti töösükli kirjeldus.....	51
7.3 Lipikasseti pneumokomponendid ja juhtimine.....	53
8 LIPIKASSETI HINNAKALKULATSIOON	54
8.1 Lipikasseti materjalide kulu.....	54
8.2 Tööaja kulu	54
8.3 Ostutooted.....	55
8.4 Lipikasseti projekteerimise kulu.....	56
8.5 Kogukulud	57
KOKKUVÕTE.....	58
SUMMARY	59
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	60
LISAD	62
Lisa 1. Pneumokomponendid	63
Lisa 2. Pneumoskeem	65
GRAAFILINE OSA	66
1. Peakoo 0250.001.00.01	66
2. Lipi tõukur 0250.001.01.60	66
3. Puks 0250.001.01.111	66
4. Õhuvooliku kinnitus 0250.001.01.116	66
5. Lipi etteande raam 1 0250.001.01.80	66

EESSÕNA

Käesolev magistritöö on valminud koostöös ettevõttega AS Hekotek. Lõputöö teema tuli ettevõtte projektijuhi poolt, kelle soov oli optimeerida olemasolevat lipikasseti nii, et laiuse gabariidid väheneksid märgatavalt. Projekteerimisel pidi arvestama varasemast lepingust tulenevate nõuetega.

Pikast kogemusest tulenevat nõu andis ja lähteandmeid jagas AS Hekotek projektijuht Andres Kree.

Võtmesõnad: saeveski, lipikassett, sorteerimisliin, projekteerimine, magistritöö.

SISSEJUHATUS

Magistritöö teema on autor saanud ettevõttest AS Hekotek, kelle põhitegevusalaks on saeveskite, puidugraanulitehaste ja puidugraanulite moodulkatlamajade seadmete ning tehnoloogiliste lahenduste projekteerimine, tootmine, paigaldamine ja käivitamine [1]. Magistritöö eesmärgiks on optimeerida olemasolevat lipikasseti lahendust. Lipikassett on lipiraami osa, mille ülesandeks on asetada lippe iga lauarea vahele.

Käesoleva magistritöö idee sai alguse ühest viimasest projektist kus tekkis probleem lipikassettide paigutamiseks lipiraamile. Kuna klient soovis pakkida ühe lipiraamiga transpordi lauapakke ja kuivati lauapakke siis vastavalt lepingule oli nõutud, et lipiraamil peab paiknema kokku 14 lipikassetti. Millest 9 lipikassetti on mõeldud kuivati lippide paigaldamiseks ning 5 lipikassetti on mõeldud transpordi lippide paigaldamiseks. Probleem seisnes selles kuna olemasoleva lipikasseti laius on niivõrd suur, siis neid polnud võimalik paigutada üksteise kõrvale nii, et need ära mahuksid lipiraamile. Selleks projekteerija pidi tegema 4 erinevat lahendust lipikassetist, et kuidagi mahutada need lipiraamile. Kuid praegugi on objektis selline olukord kus töötaja peab vajaduse korral lipikasseti nihutama erineva partii korral käsitsi õigesse kohta. Selleks, et seda probleemi tulevikus vältida tuleks olemasoleva lipikasseti laiuse gabariite märgatavalt vähendada.

Olemasoleva lahenduse ümber projekteerimisel arvestati viimati sõlmitud lepingust tulenevate nõuetega. Magistritöö raames on projekteerimises kasutatud tarkvara *Autodesk Inventor 2023*. Selle programmiga teostati detailide joonised ja koostejoonised. Tugevusarvutusteks kasutati programmi *Autodesk Inventor Nastran*.

Magistritöö esimeses peatükis tutvustatakse ettevõtet Hekotek ning kirjeldatakse saematerjali sorteerimisliini kus lõputööks optimeeritav lipikassett asub.

Teises peatükis kirjeldatakse lipiraami mille üks osa on lipikassett ning kirjeldatakse ka teisi komponente mis asuvad lipiraamil. Samuti kirjeldatakse hetkel kasutusel oleva lipikasseti komponente.

Kolmandas peatükis püstitatakse probleem.

Neljandas peatükis tehakse turuanalüüs. Uuritakse erinevaid ettevõtteid kellel on kasutusel sarnane lahendus ning autor hindab iga ettevõtte lahendust.

Viiendas osas on välja toodud nõuete loetelu ning võrreldakse erinevaid lahendusi ja valitakse välja parim lahendus. Selles osas toimub ka silindrite valik.

Kuuendas osas toimub olemasoleva lahenduse ümber projekteerimine. Esmalt tehakse vajalikud arvutused ehk arvutatakse välja lipi kaal ning peale seda arvutatakse välja lipi etteandeks vajalik jõud. Peale arvutusi valitakse sobiva jõuga silindrid lipi etteandele kuid ka lippide asetamiseks. Projekteerimise peatükis on alampeatükk nimetusega modelleerimine kus on näha igat ümber projekteeritud osa ning iga osa koha on eraldi lahti kirjutatud miks midagi just nii tehti. Samas osas tehti ka tugevusarvutused autori hinnangul olulistele komponentidele mida optimeerimise käigus muudeti.

Seitsmendas osas on kirjeldatud lipikasseti juhtimist. Selles peatükis on välja toodud kõik lipikasseti juures vajaminevad elektri komponendid ning samuti kirjeldatakse selles peatükis ka lipikasseti töötsükli.

Kaheksandas peatükis kirjeldatakse pneumaatikat.

Üheksandas peatükis on ülevaade kõikidest ostutoodetest, mida läheb lipikasseti valmistamiseks vaja. Samuti on välja toodud materjali kulud, lipikasseti valmistamise kulud ja projekteerimisega seotud kulud.

Käesoleva lõputöö lisadena on kaasas lipikasseti valmistamiseks vajaminevad joonised.

1 ETTEVÖTTE TUTVUSTUS

AS Hekotek on Baltimaade suurim masinaehitusettevõtte, mis asutati 1992. aastal Eestis. Hekotek tegeleb liinide ja seadmete projekteerimisega, tootmisega, paigaldamisega ning käivitamisega. Hekotek tegeleb peamiselt kolmel suurel alal:

- 1) Saeveskite seadmed – Palgisorteerimisliinid, palgietteandeliinid, saematerjali sorteerimisliinid, erinevad konveierid.
- 2) Graanulitehaste komplektid – Täiskomplektsed puidugraanulitehased, koorimisliinid vähekvaliteetsele puidule.
- 3) Aspiratsiooniseadmed ja katlamajad – Aspiratsiooniseadmed, puidugraanuli katlamajad, puidujäätmete katlamajad [1].

1.1 Saematerjali sorteerimisliin

Kuna käesoleva lõputöö optimeeritav lipikassett asub saematerjali sorteerimisliinis siis on järgnevalt lahti seletatud mis seadmed sellesse liini kuuluvad.

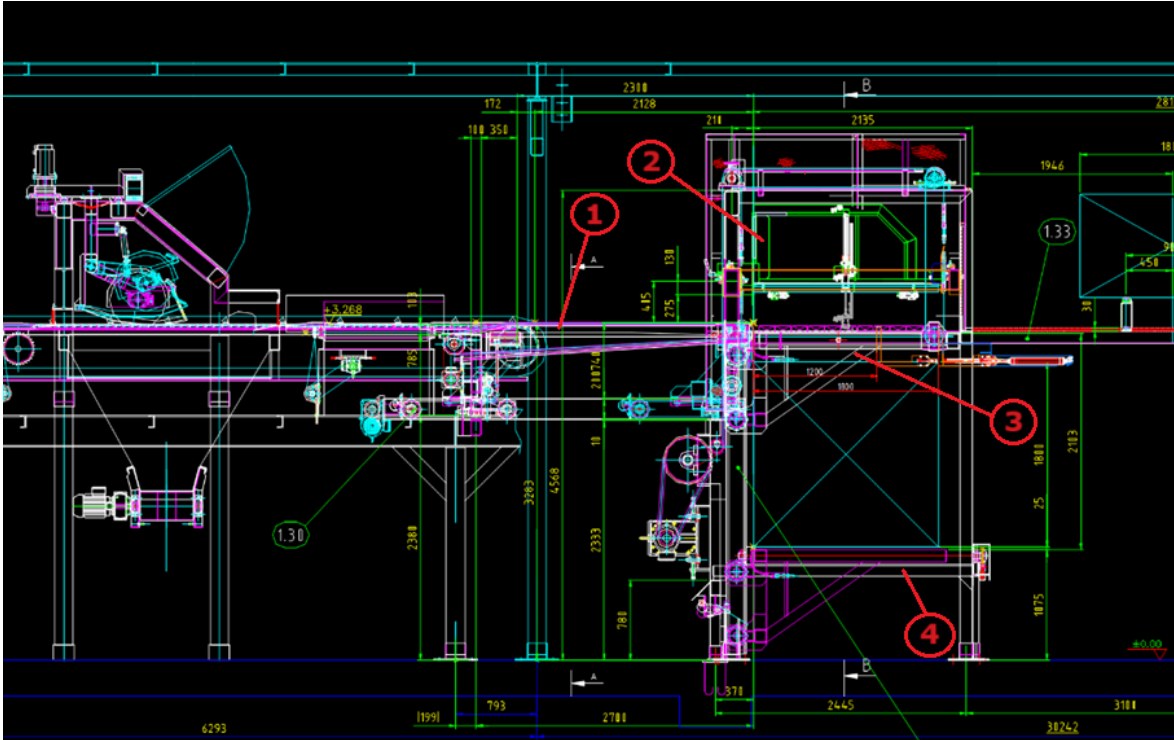
Saematerjali sorteerimisliinid on kaasaegsed ja täisautomaatsed. Lauasorteerimisliinid projekteeritakse lähtudes iga kliendi konkreetsest vajadusest ning tehnilistest nõudmistest tänu millele võimaldab leida kliendile kõige optimaalsema lahenduse. Hekotekil on saematerjali sorteerimisliinide valmistamise kogemust 30 aastat. Selle aja jooksul on üle Hekotek tarninud ja käivitanud üle 30 saematerjali sorteerimisliini 9 erinevas riigis [2].

Liinide standardvarustusse kuulub:

- 1) Lintkonveierid saematerjali transportimiseks liinile
- 2) Saematerjali külgsuunas transportivad mitmest erinevast juhikutest koosnevad konveierid, silekettidega või kolakettidega konveierid.
- 3) Saematerjali liikumise tasapinda muutvad lauaeraldajad, tehnilised lahendused projekteeritakse vastavalt liini tootlikkusest ja materjali liigist.
- 4) Saematerjali pikkust korrigeeriv saag, moodulvastetega varustatud kappimissõlm või mitmete saeteradega trimmersüsteem.
- 5) Saematerjali paketeerija lahendused nii märja saematerjali kuivatilippidele pakkimiseks, kui ka kuiva materjali pakkimiseks transpordipakki.
- 6) Konveierid saematerjalipakkide transportimiseks külgsuunas ketijuhikuga konveier ning pikisuunas rullkonveier.
- 7) Konveierid materjalide transpordiks läbi pakisidujate.

- 8) Koopereeruvad lahendused lint ja kraapkonveieritega prahi kokku kogumiseks ja transportimiseks [2].

Joonisel 1.1 on kujutatud Hekoteki ühe projekti paigaldusjoonis. Külgvaatelt on näha kuidas paikneb käesoleva lõputöö optimeeritav lipikassett (2) teiste seadmete suhtes.

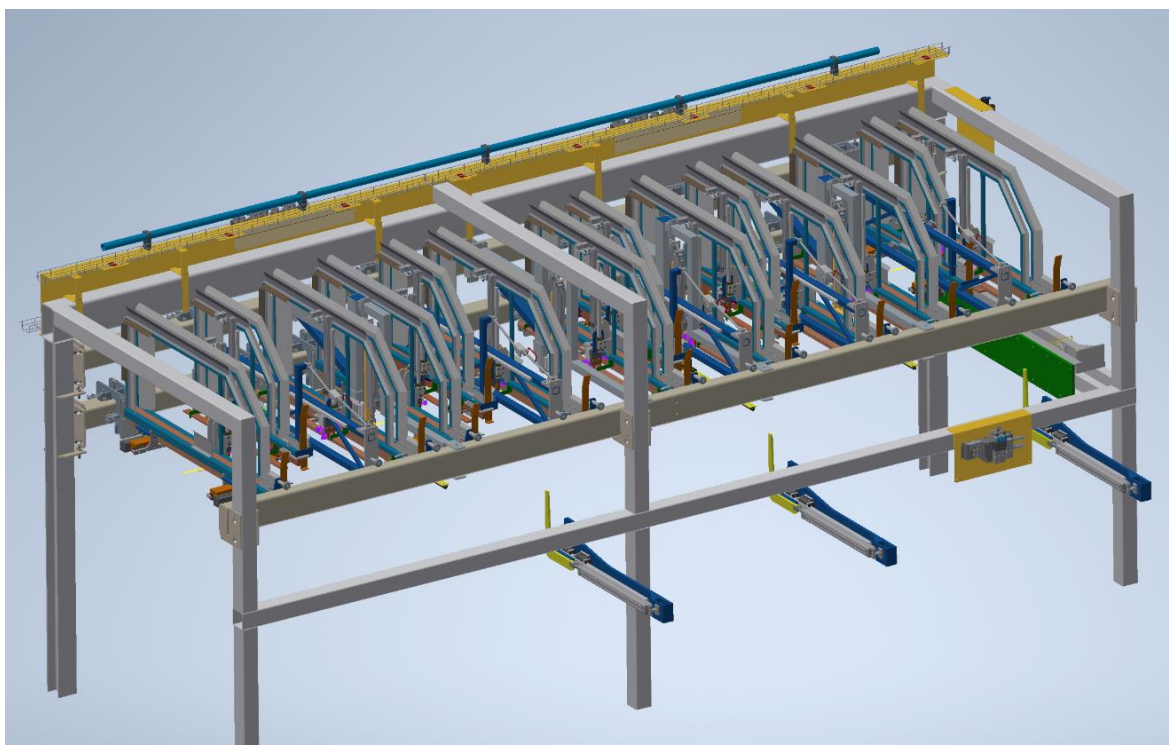


Joonis 1.1 Hekoteki paigaldusjoonise külgvaade [3]

Joonisel 1.1 numbriga (1) on kujutatud seade mille nimetus on topelt laduja. Selle seadme ülesanne on tõsta korrara üks lauarida pakilifttile (3). Peale seda asetatakse lipikassetti (2) poolt lipid lauarea peale. Juhul kui lauapakk on valmis, siis liigub see edasi mööda rullkonveierit (4) kas kuivatisse või pakkimisse.

2 OLEMASOLEV LIPIRAAM

Käesoleva lõputöö idee sai alguse Hekoteki ühest viimasest projektist kus klient tellis ainult lipiraami ning sinna oli vaja mahutada 14 lipikasseti üksteise kõrvale. Nagu Joonisel 2.1 on näha, siis lipikassetid paiknevad väga lähestikku ning lipikasseti jaoks on tööruumi tegelikult väga vähe. Nende lipikassetide paigutamine nii, et kliendi nõuded oleks täidetud oli projekteerija jaoks aeganõudev protsess. Põhjus, miks just nii palju lipikassette pidi üksteise kõrvale mahtuma on selles, et vastavalt kliendi soovile sooviti pakkida ühe lipiraamiga nii lauapakke kuivatisse minekuks kuid ka transpordi pakke. Transpordi ja kuivati pakid on eri laiusega, millest tingitult on ka lipid erinevate mõõtmetega ning neid asetatakse erinevate kohtade peale. Nagu ka joonisel 2.1 näha, on osad lipikassetid pikemad ja osad lipikassetid lühemad. Selleks, et edaspidi oleks lipikassette lihtsam paigutada soovitud kohtadesse, tuleks olemasolevat lipikasseti optimeerida nii, et saavutaks gabariitidelt kitsama lahenduse.



Joonis 2.1 Olemasolev lipiraam [3]

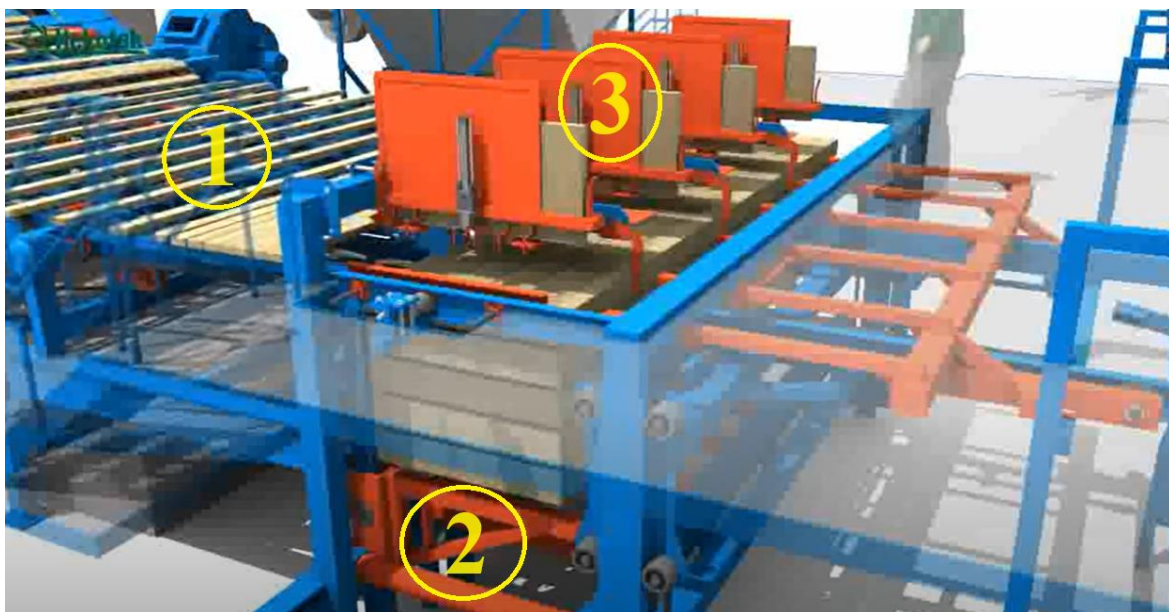
Joonisel 2.1 näidatud olemasoleval lipiraamil on kasutatud 9 kuivati lippidele mõeldud lipikasseti ning 5 transpordi lippidele mõeldud lipikasseti, samuti lipiraamil on näha otsatasandaja, servatasandaja ning lipikassetide vahel on pealtsurujad. Kuid nendest lähemalt on kirjeldatud peatükis 2.2.

2.1 Lipiraami olulisus liinis

Soomes suurem osa saematerjalidest kuivatatakse enne müüki mehaaniliselt, see kehtib eriti eksporditavate kaupade kohta. Tavaliselt lauad laotakse mehaaniliselt partiide kaupa pakki ning iga kihi vahele asetatakse risti asetsevad lipid, et kuivatusõhk saaks vabalt läbi paki liikuda. See võimaldab ahju ühtlaselt täita ja õhuringlust kontrollida, andes seeläbi soovitud kuivatustulemuse [4].

2.2 Olemasoleva lipiraami kirjeldus

Lipiraamiks kutsutakse Hekotekis seadet mille eesmärk on asetada lippe iga lauarea vahele ning samal ajal tasandades lauavirna otsa ja serva. Kui lauapakk on valmis, siis sõidab lauapakk mööda rullkonveierit edasi kas kuivatisse või pakkimisse. Joonisel 2.2 on näha, et lipiraam paigaldatakse kahe seadme vahele, ehk pakilifti ja laduja vahele. Laduja tõstab korruga lauarea pakiliftile ning peale seda asetatakse lauarea peale lipid.

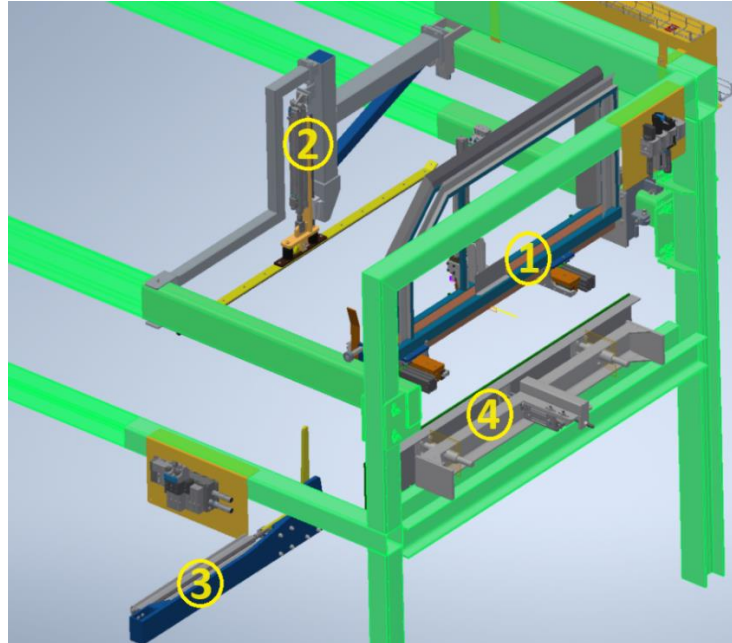


Joonis 2.2 Hekotekis simulatsioon: 1) Laduja, 2) Pakilift, 3) Lipiraam [3]

Lipiraam koosneb neljast suuremast põhielemendist:

- 1) Lipikassett – põhifunktsioon on asetada lippe lauapaki peale.
- 2) Pealtsuruja – ei lase laudadel kaasa liikuda laduja piikide väljatõmbamise hetkel.
- 3) Servatasandaja – tasandab lauapaki külgmisi servi.
- 4) Otsatasandaja – tasandab lauapaki otsmisi servi.

Joonisel 2.3 on näidatud kuidas paiknevad eelnimetatud põhielemendid lipiraamil.

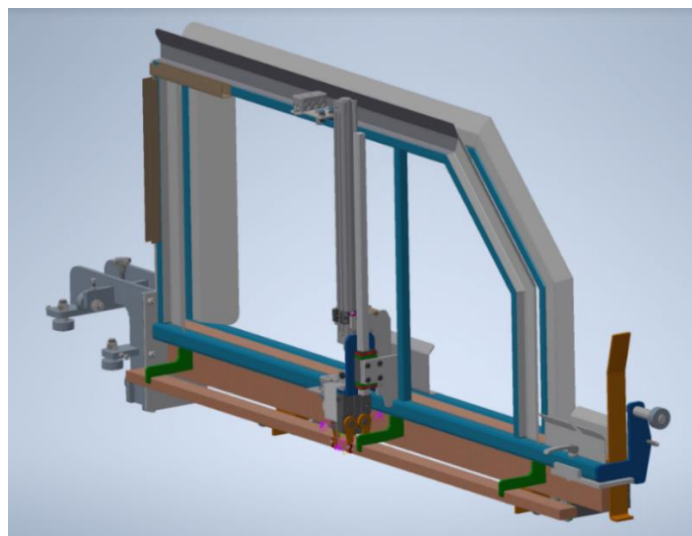


Joonis 2.3 Lipiraam: 1) Lipikassett, 2) Pealtsuruja, 3) Servatasandaja, 4) Otsatasandaja [3]

Joonisel 2.3 kujutatud lipiraamil on kokku üks otsatasandaja (4), kolm servatasandajat (3) ning lipikassettide vahele on jaotatud kokku neli pealtsurujat (2).

2.3 Olemasolev lipikassett

Käesoleva lõputöö eesmärk on optimeerida olemasolevat lipikassetti mis on näidatud joonisel 2.4. Lipikassett on lipiraami osa, mille ülesandeks on asetada lippe lauapakki iga lauarea vahele. Lipikassetid täidetakse lippidega töötaja poolt käsitsi. Hetkeline lipikasseti kogulaius on 424,5 mm juhul kui haarats on lahtises asendis.

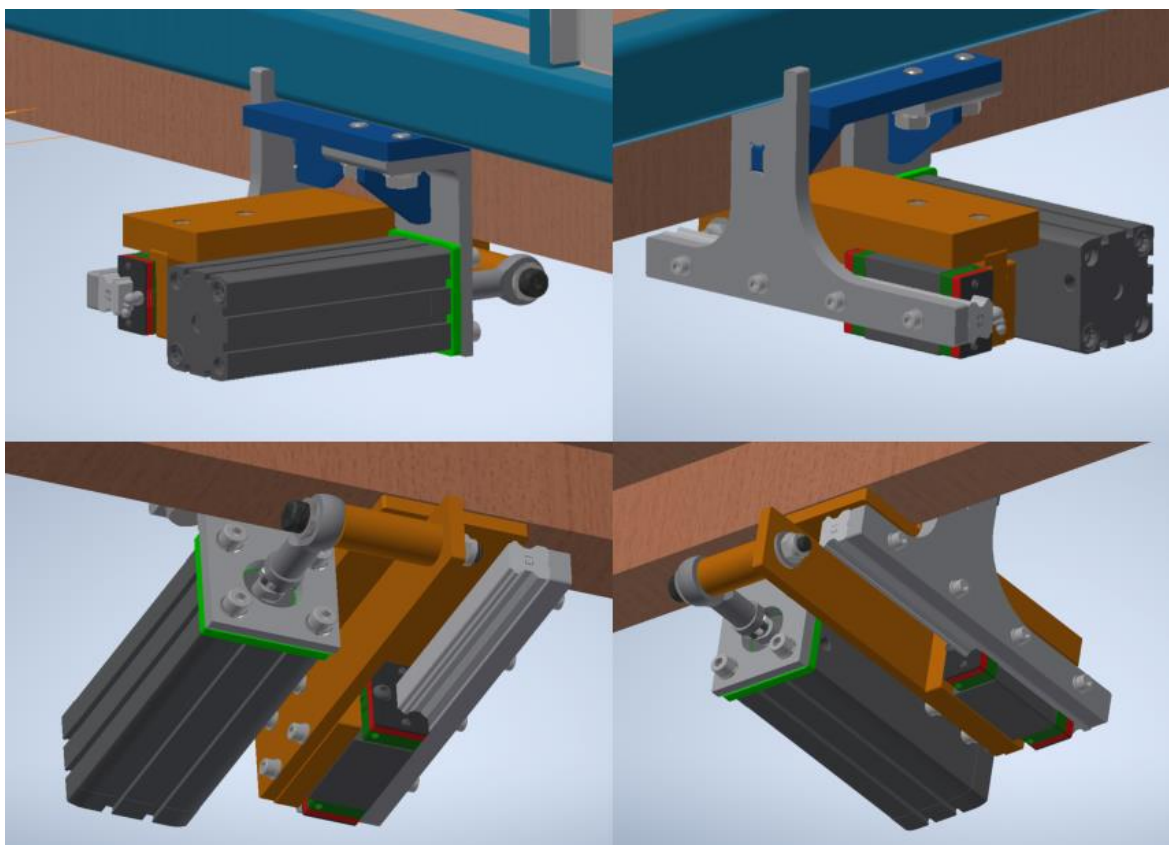


Joonis 2.4 Olemasolev optimeeritav lipikassett [3]

Lipikasseti võiks jaotada kolmeks osaks. Esimene osa lipitasku raam, teine osa on lipi etteanne ning kolmas osa on lipihaarats.

2.3.1 Olemasolev lipi etteanne

Lipi etteande eesmärgiks on lipitaskust välja lükata üks lipp ning mööda juhtpinda kanda see lipp haaratsini, samal ajal peab juhtpind kandma ka teisi lippe mis asuvad lipitaskus. Ühe lipikasseti kohta on kasutatud kahte lipi etteannet mis töötavad sünkroonis. Joonisel 2.5 on näha hetkel olemasolevat lipi etteande lahendust. Selleks, et tagada tõukuri tasapindsus ning sirgjooneline liikumine on tõukuri alumise lehtmetsalli külge polditud lineaarjuhiku kelk mis omakorda liigub mööda lineaarjuhikut. Selle lahenduse puhul on kasutatud pneumosilindrit mille välja lükkamise hetkel on 6 bari juures rakendatav teoreetiline jõud on 1178 N ning selle pneumosilindri käik on 125 mm.

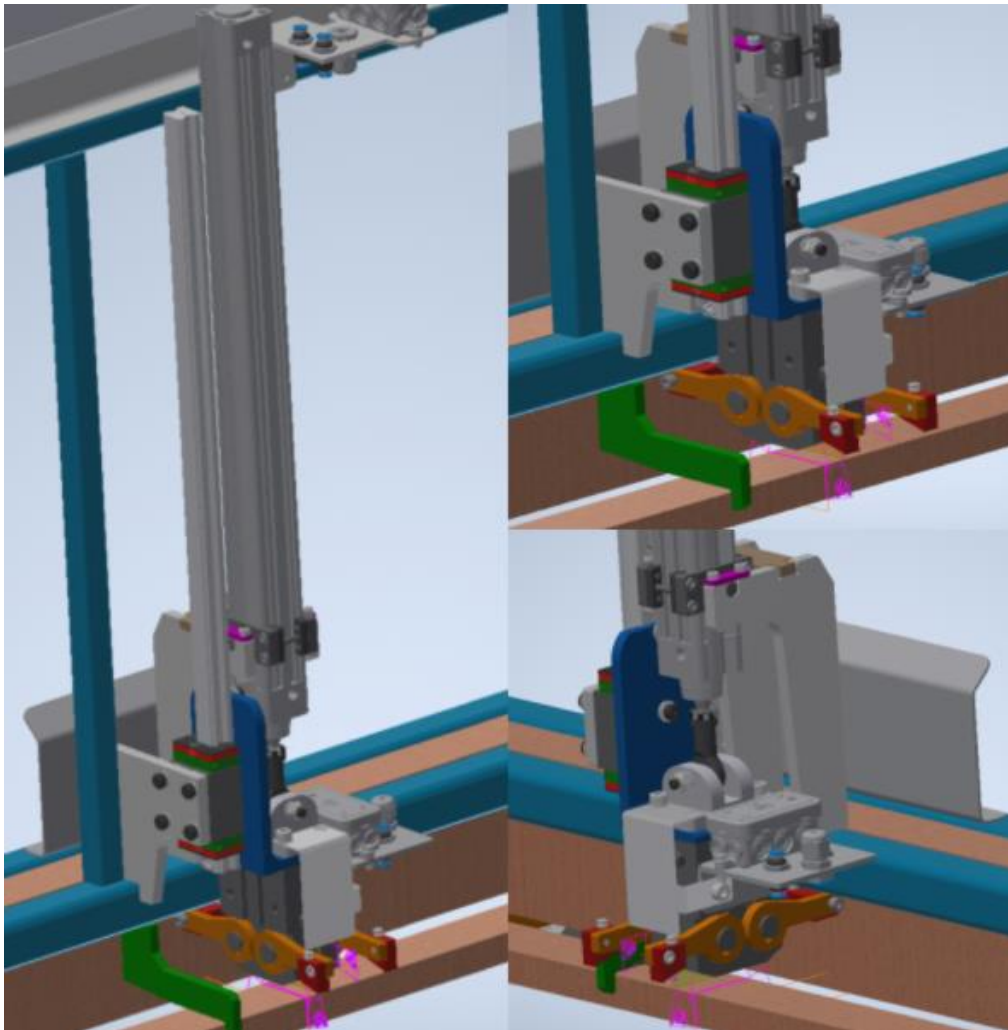


Joonis 2.5 Olemasoleva lipikasseti lipi etteanne [3]

Lõputöö eesmärgi täitmiseks oleks vaja ka muuta lipi etteande lahendust või vähendada olemasoleva gabariite. Hetkel on lipitasku keskpunktist silindri korpuse tagumise otsani 213 mm.

2.3.2 Olemasolev lipihaarats

Lipiharatsi eesmärgiks on haarata juhtpinnalt lipp ning asetada see lauapakile. Praeguses lahenduses on kasutatud 400 mm käiguga pneumosilindrit lippide pakkidele asetamiseks ning lippide haaramiseks on kasutatud pneumaatilist haaratsit. Pneumaatilise haaratsi töölaius on 178 mm. Haaratsi stabiilsuse ning sirgjoonelise liikumise tagamiseks on pneumosilindri varre külge ühendatud vinkel mille külge on polditud lineaarjuhik mis omakorda liigub mööda lipiraami külge polditud kelku. Joonisel 2.6 on kujutatud lipihaarats koos pneumosilindriga.



Joonis 2.6 Olemasolev lipihaarats pneumosilindriga [3]

Lõputöö eesmärgi täitmiseks oleks vaja ka muuta lipihaaratsi lahendust. Hetkel haaratsi kõige kaugem punkt lipitasku keskpunktist on 211,5 mm.

3 PROBLEEMI PÜSTITUS

3.1 Tihedamat paigutust võimaldavad lipikassetid

Kuna tootearendus ja klientuur on omavahel tihedalt seotud, siis sellest tingitult peab arvestama ka klientide soovidega. Vastavalt varasemate klientide tagasisidele saab hinnata toote probleeme ning vastavalt sellele teha korrektuurid järgmistes toodetes. Sama kehtib ka tulevaste uute klientidega kellel on uued nõudmised ja soovid, näiteks iga erineva laua pikkusega pakki peab minema teatud arv lippe iga lauarea vahele, või klient soovib pakkida sama lipiraamiga nii transpordiks lauapakke kui ka kuivatisse lauapakke. Probleem tekkis viimase projektiga kus oli vaja paigutada 14 lipikasseti üksteise kõrvale, see nõudis projekteerijalt väga palju aega, et olemasolevaid lipikassette paigutada nii, et iga lipikasseti jaoks jääks piisavalt tööruumi. Selleks projekteerija pidi tegema 4 erinevat lahendust lipikassetist, et kuidagi mahutada need lipiraamile. Kuid praegugi on objektil selline olukord kus töötaja peab vajaduse korral lipikasseti nihutama erineva partii korral käsitsi õigesse kohta.

Sealt tekkis projektijuhil idee luua võimalikult kitsas lipikassett, et edaspidi sellist probleemi ei tekiks lipikassettide paigutamisel. Lipikasseti hetkeline laius koos lahtises asendis oleva haaratsiga on 424,5 mm. Lõputöö peamine eesmärk on lipikasseti laiust vähendada.

4 TURUANALÜÜS

4.1 Springer

Springer on loodud 1952. aastal Austrias ja hakkas tootma seadmeid saeveskitele. Springer tegutseb puidu transportimis-, sorteerimis-, ja automatiseerimisprotsessidega [5]. Alloleval joonisel 4.1 on näha kuidas toimub lippide asetamine lauapakile.



Joonis 4.1 Kuvatõmmis Springeri liinilt [3]

Põhimõte on sarnane nagu Hekotekis hetkel oleval lahendusel, ehk lükatakse lipitaskust lipp haaratsi alla ning haarats võtab lipist kinni ja asetab selle lauapakile. Nagu pildil olevalt lahenduselt tundub, et haarats ise on hulga kompaktsem kui Hekotekis praegu olemasoleval lahendusel.

Joonisel 4.2 on kujutatud Springeri lipikassetil kasutusel olev lipi etteande lahendus.



Joonis 4.2 Kuvatõmmis Springer liinilt [3]

Lipi etteande lahendus on samuti teistsugune võrreldes Hekoteki olemasoleva lahendusega ning pildi järgi tundub, et see lahendus on samuti kompaktsem kui Hekotekis hetkel kasutusel olev lahendus.

4.2 Novilco

Novilco on Canadas, Saint-felicien linnas asuv ettevõtte. Novilco on spetsialiseerunud saematerjali töötlemis seadmete projekteerimisele ja valmistamisele [6].

Alloleval joonisel 4.3 on näha kuidas Novilco on lahendanud lippide asetamise protsessi selliselt kus lipitasku liigub koos lippidega ise haaratsi alla ning peale seda liigub haarats alla, võtab lipi ja liigub üles tagasi. Järgmise tsükliga asetab vaakumhaarats lipi lauapaki peale.



Joonis 4.3 Kuvatõmmis Novilco liinilt [3]

Selles lahenduses on samuti erinevusi Hekotekis hetkel kasutusel olevast lahendusest. Erinevalt Hekoteki lahendusest on siin kasutusel vaakumhaarats lippide tõstmiseks ning lipi etteanne on lahendatud liikuva lipitaskuga. See lahendus tundub gabriitide poolest laiem kui hetkel Hekotekis kasutusel oleval lahendusel.

4.3 USNR

USNR on 1850. aastatel loodud ettevõtte millest praeguseks on saanud üks maailma suurimaid ja kõikehõlmavaim puidutöötlemis tööstuse seadmete ja tehnoloogiate tarnijaid [7].

Joonisel 4.4 on näidatud USNR liinil kasutatavat lipikassetide lahendust.



Joonis 4.4 Kuvatõmmis USNR liinilt [3]

Selle lahenduse puhul on näha, et siin ei kasutata haaratsit vaid haaratsi töö teeb ära painutatud lehtmetsa, mis liigub koos lipiga lauapakini ning enne lauapakini jõudmist keerab kandev lehtmetsa mingi nurga alla nii, et lipp kukub lauapaki peale. Selleks, et ei läheks mitu lippu korraga on lipitaskule paigaldatud stopperid, mis ei lase korraga mitut lippu liikuma. Hinnanguliselt selle lahenduse gabariidid võiksid olla väiksemad kui Hekotekil hetkel olemasoleval lipikassetil.

4.4 Comact

Comact BID grupi kaubamärk mis asutati 24. jaanuaril 1924 Beauce piirkonnas Quebecis. Comact on Põhja-Ameerika liider puidutöötlemisseadmete, samuti sae- ja hõõlithaste projekteerimise, tootmise ja optimeerimise alal [8].

Joonisel 4.5 on näha, et ka Comact on lahendanud lippide asetamise sarnaselt nagu USNR.



Joonis 4.5 Kuvatõmmis Comact liinilt [9]

Painutatud lehtmetsa kannab lipi lauapaki peale, siis keerab see lehtmetsa lipi alt ära ja lehtmetsa kõrval olevad latid takistavad lipi kaasa liikumist. Hinnanguliselt võib see lahendus laiuuse poolest olla kitsam kui hetkel Hekotekis olemasolev lahendus.

4.5 Passimo

Passimo on Soomes Alajärvil tegutsev ettevõtte mis on tegutsenud 1970. aastatest. Tänapäevaks pakub Passimo kõike alates saetehnikast kuni kaasaegse puidutöötlemiseni [10]. Joonisel 4.6 on näha kuidas on lahendatud sarnane olukord Passimo liinil.



Joonis 4.6 Kuvatõmmis Passimo liinilt [10]

Lippide asetamine toimub sarnaselt nagu on hetkel Hekotekis, ehk haaratsiga. Lipi etteanne on lahendatud samuti väga sarnaselt nagu hetkel Hekotekis lahendatud on.

Hinnanguliselt on see lahendus gabariitidelt võrreldes Hekoteki lipikassetiga olla üpris sama.

4.6 Järeldused

Kõik tootjad pakuvad häid lahendusi kuna käesoleva töö eesmärgiks on teha võimalikul kitsas lahendus, siis magistritöö autor hindab konkurentide lipikasseti gabariite piltide põhjal skaalal 1-5, kus 1 on „halb“ ja 5 „väga hea“. Hindamiskriteeriumiteks on lipi etteande lahendus ning lipi tõstmine lauapakile. Lipikassetide hindamine on näidatud tabelis 4.1.

Tabel 4.1 Turul olevate lipikassetide hindamistabel

Tootja	Lipi etteanne või sarnast olukorda asendav lahendus	Lippide asetamine lauapakile	Kokku
Springer	4	4	8
Novilco	3	5	8
USNR	4	4	8
Comact	4	4	8
Passimo	4	3	7

Hindamistabelist lähtuvalt võiks teha järelduse, et kõikide tootjate lahendused on pigem head. Novilco puhul oli tähelepanuväärne, et lippide asetamine pakile toimub vaakumi abil ning selle lahenduse töölaius on tegelikult väga väike võrreldes teiste lahendustega.

5 LIPIKASSETI OPTIMEERIMISEKS SOBIVATE LAHENDUSTE LEIDMINE

Lipikasseti optimeerimise peatükis proovib autor analüüsida erinevaid lahendusi kuidas olemasolevat lahendust muuta kompaktsemaks mille lõpptulemusena väheneks lipikasseti laius. Kuna on kasutusel kahte sorti lipikassette ehk transpordi- ja kuivati lipikassett, siis käesolevas töös keskendutakse transpordi lipikasseti optimeerimisele. Samas autor arvestab ka sellega, et saaks etteande ja haaratsi lahendust kasutada ka pikemate lippide ehk kuivati lipikassettide puhul.

5.1 Nõuete loetelu

Selleks, et leida sobivat lahendust peaks kirja panema nõuete loetelu. Allpool olevas tabelis 5.1 on välja toodud Hekoteki ühes viimasest lipiraami projektist lepingusse kirja pandud tehniline informatsioon mis on ümber sõnastatud nõuete loeteluks.

Tabel 5.1 Nõuete loetelu

Nõue	Fikseeritud nõue	Soovituslik nõue
1. Funktsioon		
- Lippide asetamine saematerjali kihtide vahele pneumaatilise haaratsi abil	x	
- Lipikassettide täitmine käsitsi	x	
2. Tõstetava materjali mõõtmed		
Transpordi lipid		
- Pikkus: 1200 mm	x	
- Laius: 50 mm	x	
- Paksus: 10 mm	x	
Kuivati lipid		
- Pikkus: 1800 mm	x	
- Laius: 50 mm	x	
- Paksus: 25 mm	x	
3. Keskkond		
- Temperatuur +5...+35	x	
4. Parameetrid		
- 15 lippi minutis	x	

Tabelis 5.1 on näha tehnilised nõuded millega peab projekteerimisel arvestama. Viimases lepingus oli välja toodud, et lippide asetamine saematerjali kihtide vahele toimub pneumaatilise haaratsi abil. Olulisemateks nõueteks on siis tõstetava materjali mõõtmed ehk peab arvestama lipi kaaluga ja mõõtmetega uue lahenduse projekteerimisel. Ning oluline nõue on ka see, et lipikassett peab suutma asetada 15 lippi minutist, lähtuvalt sellest toimub ka silindrite valik. Kuna lõputöö keskendub transpordi lipikassetti optimeerimisele siis on ka nõuete loetelus välja toodud transpordi

lippide mõõtmel. Kuid silindrite valiku puhul peab lähtuma kuivati lippide mõõtmel, kuna eesmärk on täpselt sama lahendust kasutada ka kuivati lipikasseti puhul ning kuivati lipid on suuremate mõõtmeltega.

5.2 Morfoloogiline skeem

Selles peatükis tuuakse tabelis 5.2 välja projekteeritava lipikasseti olulisemad sõlmed ning vaadatakse, missugune lahendus oleks parim või mõistlik selle seadme jaoks valida.

Tabel 5.2 Morfoloogiline skeem

Nr.	Osafunktsioon	Lahendusvariandid		
1	Lippide haarats	Radiaalne haarats	Vaakumhaarats	Paralleel haarats
2	Lippide asetamise silinder	Pneumosilinder	Hüdrosilinder	Elektriline silinder
3	Lippide etteanne	Olemasolev lahendus	Pöördsilindriga etteandja	Ühe silindriga etteandja
4	Lippide etteande silinder	Pneumosilinder	Hüdrosilinder	Elektriline silinder

5.3 Lahenduste hinnang

Peatükis 5.2 koostatud morfoloogilise skeemi põhjal autor hindab erinevaid lahendusi. Hinnangul võetakse arvesse erinevaid asjaolusi nagu näiteks hind, ettevõtte varasemad kogemusi ning muid nõuete loetelust tulenevaid aspekte.

5.3.1 Haaratsi valik

Vastavalt nõuete loetelule peab haarats töötama õhu pealt. Sellest tingitult sai välja toodud kolm võimalikku haaratsit mis selle ülesandega hakkama saaks. Nendeks haaratsiteks oleksid radiaalne haarats, vaakumhaarats, paralleelne haarats.

Hetkel olemasoleval lipikassetil on kasutusel pneumaatiline radiaalne haarats mis on näha ka joonisel 5.1. See haarats on olnud töökindel ning pole probleeme sellega esinenud. Ainsa miinusena võiks välja tuua selle, et see haarats vajab töötamiseks palju ruumi. Selle haaratsi töölaius on 178 mm.



Joonis 5.1 Radiaalne haarats [3]

Teine võimalik variant oleks kasutada pneumaatilist paralleelset haaratsit mis on näha joonisel 5.2. Paralleelseid haaratseid on mitmesuguseid erinevaid ning need saavad hakkama mõne grammi kuni 80 kilogrammi kaaluvate toorikutega ning need sobivad kasutamiseks paljudes rakendustes [11]. Paralleelse haaratsi töölaius on kitsam kui radiaalsel haaratsil. Seda haaratsit kasutades oleks võimalik juba saavutada kitsam lipikassett.



Joonis 5.2 Paralleelne haarats [12]

Kolmas võimalik variant oleks kasutada vaakumhaaratsit mis on kujutatud joonisel 5.3. Selle haaratsi töölaius on 22 mm ning pikkus on 76 mm. Ning see vaakumhaarats suudab hoida jõudu 40 N [13]. Hinnanguliselt võiks see haarats olla piisav selle ülesandega hakkama saamiseks.

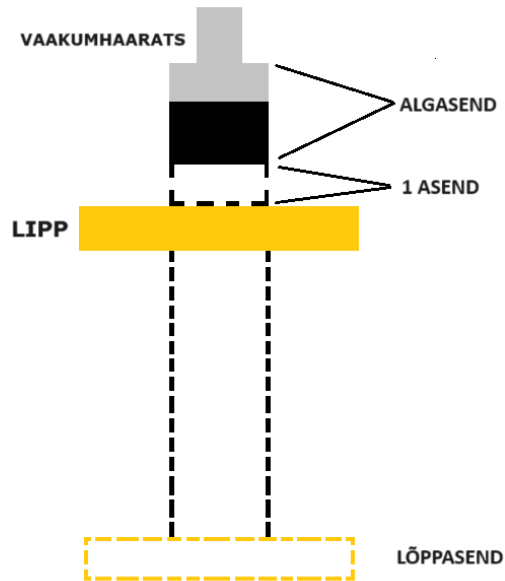


Joonis 5.3 Vaakumhaarats [13]

Lähtuvalt eelnevalt välja toodud haaratsite andmetest otsustati käesoleva töö jaoks kasutada vaakumhaaratsit. Põhjus, miks just valiti vaakumhaarats on selles, et vaakumhaaratsi kasutamisel oleks lipikasseti gabariitide vähendamisel võit märkimisväärne. Selle konkreetse vaakumhaaratsi edasimüüja saatis testimiseks ka testkompleti mida oli võimalik ühendada kompressoriga. Testi tulemusena hoidis see haarats piisavalt tugevalt lippe kinni.

5.3.2 Lippide asetamise printsiibi valik

Kuna eelnevas peatükis sai haaratsiks valitud vaakumhaarats, siis silindri valikul peab arvestama vaakumhaaratsi eripäradega. Joonisel 5.4 on näidatud kuidas peaks silinder haaratsit lipi suhtes liigutama.



Joonis 5.4 Tööpõhimõte (autori joonis)

Algasendis on vaakumhaaratsi alumine pind lipist umbes 2 cm kõrgemal. Asendis number (1) on vaakumhaarats haaranud lipi ning lõppasendis asetab haarats lipi lauapaki peale. Küll aga peaks arvestama sellega, et asendist number (1) peale lipi haaramist peab haarats tagasi algasendisse liikuma. Põhjus seisneb selles, et silinder peaks avaldama lipile mingisugust survet samal hetkel kui toimub vaakumi rakendamine ning juhul kui silinder tagasi üles ei liigu, siis lipi tõukurite tagasilikumise hetkel võib lipp vaakumist lahti tulla.

Lisaks silindri liikumise kontrollimisele oleks oluline ka silindri liikumise kiirus. Vastavalt lahendusele peab silindri käik peab olema 400 mm. Nõuete loetelust tuleb välja, et ühes minutis peab asetama 15 lippi. Vastavalt sellele numbrile tähendaks see seda, et laduja asetab ühe minuti jooksul 16 kihti laudu. Ehk iga lipi asetamiseks on 400 mm käiguga silindril aega 3,75 sekundit. Arvutuslikult tähendaks see seda, et silindri liikumise kiirus peaks olema vähemalt 213,33 mm/s, kuid arvestama peab veel seda, et lipi haaramise tsüklile kulub samuti mingi aeg, millest tingitult silindri liikumise kiirus peaks olema selle võrra veel kiirem. Lisaks peab arvesse võtma ka seda, et laud on erineva paksusega ning silinder ei pruugigi täitsa lõpuni lahti liikutagi.

Hüdrosilindri kasutamine selles lahenduses on välistatud, esiteks oleks vaja eraldi hüdrokeskus sinna ning teiseks iga väiksemagi lekke puhul oleksid laud kahjustatud.

Pneumosilinder on täiesti toimiv lahendus lippide asetamise lahenduses. Pneumosilindri kasutamisega lipikassetil on Hekotekil olnud pikk varasem kogemus ning kiiruste saavutamise pole samuti probleeme olnud. Selleks, et kasutada pneumosilindrit nii, nagu joonisel 5.4 on kirjeldatud peaks kasutama kahte silindrit ning need omavahel ära

ühendama silindrite flantsiga. Esmalt väiksem silinder haaraks lipi ning peale seda suurem silinder asetaks lipi lauakihi peale. Kahe silindri ning silindrite ühendusflantsi koguhind oleks umbes 270 eurot.

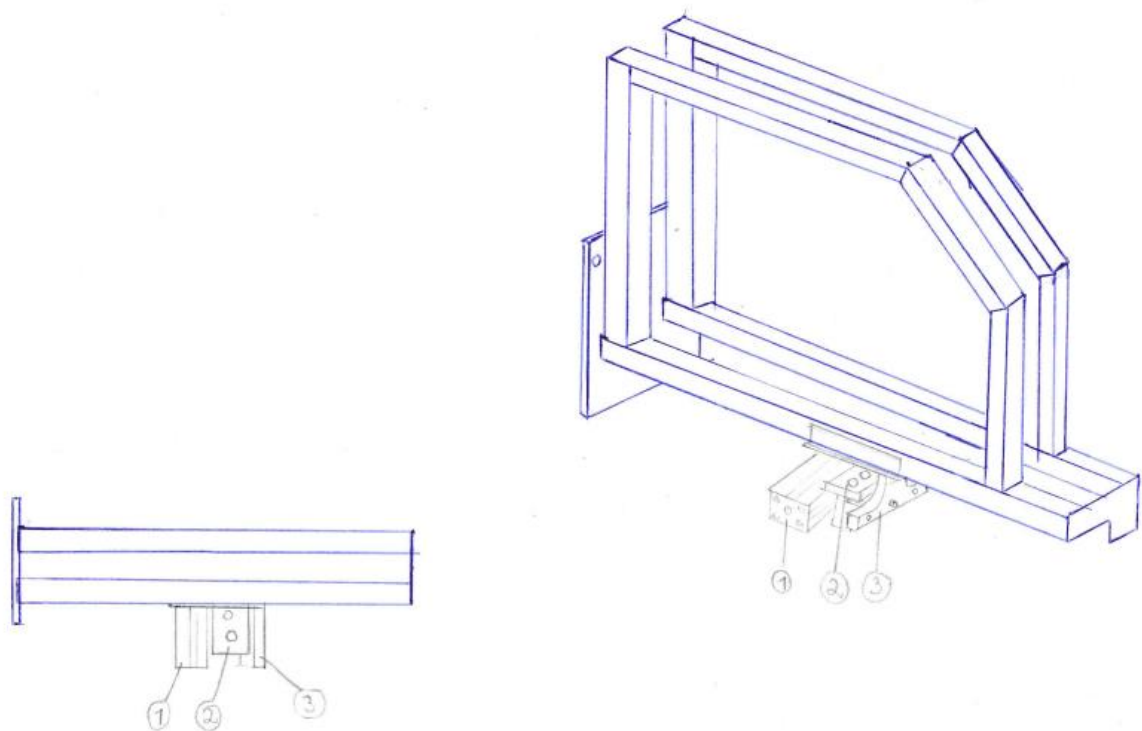
Elektrisilindri kasutamine selles lahenduses toimiks samuti. Vastavalt eeltoodule peaks silindri kiirus olema vähemalt 213,33 mm/s kuid tegelikkuses olukorras peaks kiirus olema veel suurem, et kompenseerida ajakulu lippide haaramisele. Vastavalt Elfadistrelec e-poest vaadatud hindadele oleks ainuüksi elektrilise silindri hind 1406 eurot mille käik on 400 mm ning kiirus 220 mm/s.

Kokkuvõtvalt autor otsustas kasutada pneumosilindrit, kuna elektriline silinder võrreldes pneumosilindriga on 5 korda kallim.

5.3.3 Lipi etteande lahenduse valik

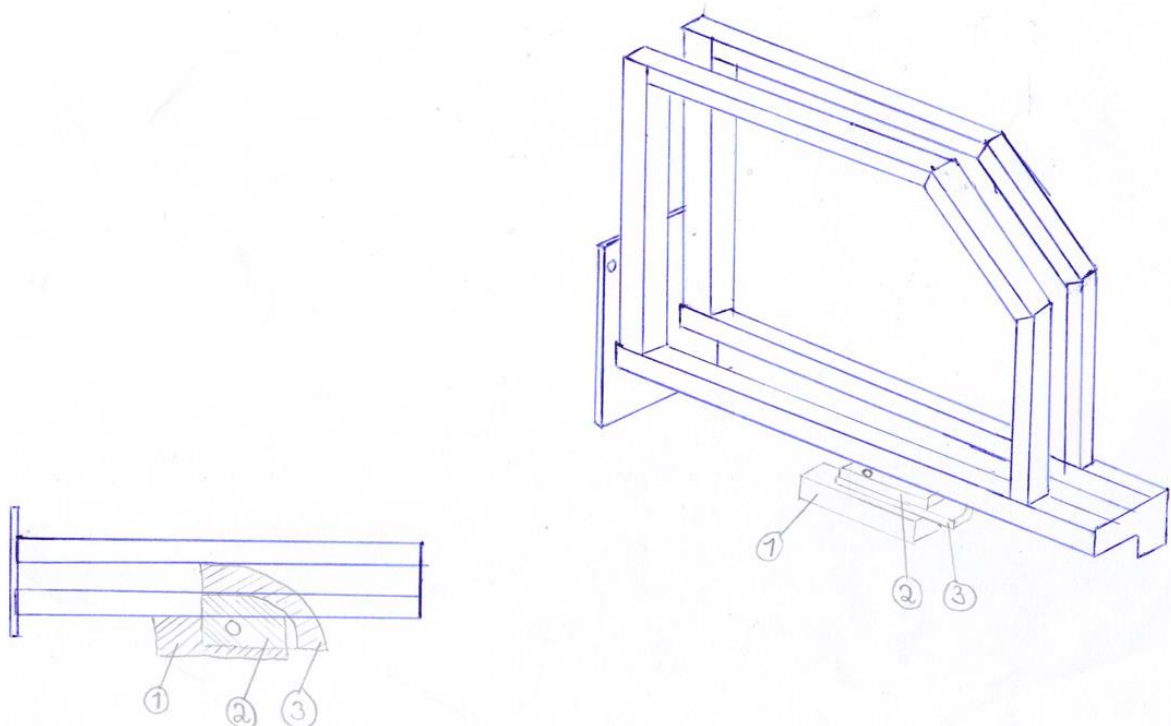
Sellest peatükis luuakse erinevad kontseptsioonid lipi etteande lahendusele ehk tehakse eskiisid kolmest erinevast lahendusest kuidas oleks võimalik lahendada lippide etteannet haaratsile.

Esimene variant oleks jätta hetkel kasutusel olev lahendus samaks ning otsiks võimalusi kas oleks võimalik vähendada silindri väljaulatuvaid gabariite. Näiteks silindri väljaulatuvaid gabariite oleks võimalik vähendada selle arvelt kui tuua uus haarats lippidele võimalikult lähedale, mille tõttu väheneks lipi etteandesilindri käik ehk silindri korpus läheks selle võrra väiksemaks. Joonisel 5.5 on kujutatud hetkel kasutusel olev lipi etteande lahendus. Eskiisil on kujutatud milline näeb välja lipi etteanne, selliseid etteandjaid tuleks ühe lipikasseti kohta kaks tükki.



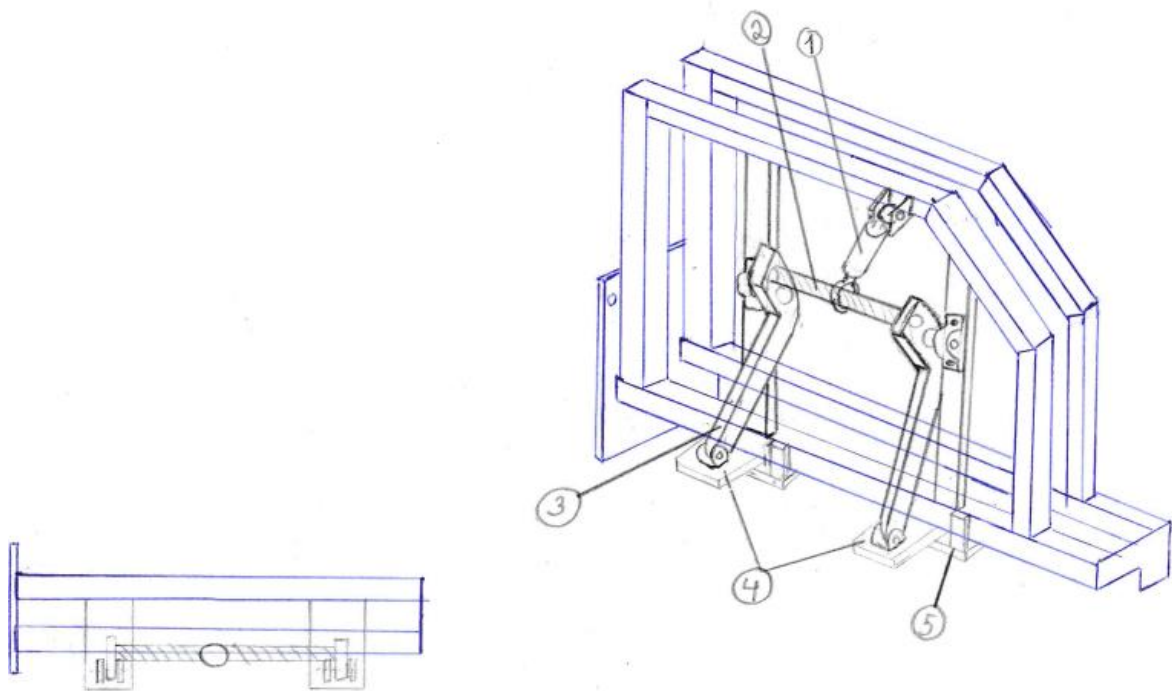
Joonis 5.5 Hetkel kasutusel olev lipi etteande lahendus (autori joonis)

Teine variant oleks lahendada lippide etteanne pöördsilindriga mis on kujutatud joonisel 5.6. Numbriga (1) on tähistatud pöördsilinder, mille võlli külge kinnitub plaat numbriga (3). Plaat numbriga (3) kannaks lipikassetis olevaid lippe ning samas kannab ka etteantavat lippu haaratsini. Plaat numbriga (2) kas polditakse plaat number (3) peale või siis oleks variant valmistada ka plaat number (1) ja (2) ühes tükis. Plaat number (2) ülesanne oleks suruda lipitaskust üks lipp välja ning lükata see lipp kuni haaratsini. Tõenäoliselt selle lahenduse puhul peaks plaat number (3) all veel olema platikust liugpind mille peale see plaat toetuks, et võtta vastu suurem osa koormusest mis on tingitud lipitaskus olevatest lippidest. Selle lahenduse üheks eeliseks võiks olla ehk koostamise lihtsus ja hinnanguliselt võiks selle lahenduse gabariidid olla ka väiksemad kui praegusel lahendusel. Kuid selle lahenduse puhul on miinuseks pöördsilindri hind. Eskiisil on kujutatud milline näeb välja lipi etteanne pöördsilindriga ning selliseid etteandjaid tuleks ühe lipikasseti kohta kaks tükki.



Joonis 5.6 Lipi etteanne pöördsilindriga (autori joonis)

Kolmas variant oleks lahendada lippide etteanne ühe silindriga mis on kujutatud joonisel 5.7. Silinder numbriga (1) on ühenduses võlliga number (2) ning võll on omakorda ühenduses lehtmetailidega number (3). Lehtmetailid number (3) on ühenduses läbi väikse võlli laagritega mis tagavad pöörlemise ümber määratud telje. Lehtmetail numbriga (3) liigutab all paikevaid lipi tõukureid numbriga (4) mis omakorda libiseb mööda liugpinda number 5. Selle lahenduse eelis võiks olla selles, et saaks ehk ühe silindriga lahendatud. Samas võib tekkida vajadus muuta olemasolevat lipikassetti kõrgemaks mis tooks omakorda kaasa selle, et lipitaskusse mahub rohkem lippe. Rohkem lippe omakorda tähendab seda, et suurem raskus mõjub lipitõukurile ning peaks rakendama rohkem jõudu tõukurile, et see jõuaks lippe välja lükata. Selle kõige tagajärjel võib tekkida vajadus ka teise silindri järgi. Hinnanguliselt on see lahendus gabariitidelt väiksem kui hetkel kasutusel olev lahendus. Miinusena võiks välja tuua selle, et puudub varasem kogemus sellise lahenduse puhul ning selle lahenduse puhul võib tulla ilmsiks probleeme mida esmapilgul ei pruugi märgata.



Joonis 5.7 Lippide etteanne ühe silindriga (autori joonis)

Lähtuvalt eelpool toodud erinevate lahenduste põhjal autor otsustas kasutada esimest variant ehk jätta etteande lahenduse samaks nagu hetkel kasutusel on. Kuna vaakumhaaratsi laius on väga väike, siis tänu sellele oleks võimalik vähendada selle silindri gabariite märgatavalt. Teise variandi puhul kus kasutusel on pöörsilinder, läheks ainuüksi silinder juba palju rohkem maksma kui esimese variandi puhul, suurusjärg oleks enamvähem nelja kordne hinnavahe. Kolmanda variandi puhul miinusena võiks välja tuua selle, et sellega ei väheneks üldine gabariit eriti palju ning kuna seda lahendust pole varem tehtud siis võivad sellega kaasneda mõningad probleemid mis tulevikus vajaksid lahendamist või ümber projekteerimist.

Kokkuvõtvalt autor otsustas lipi etteande lahenduses kasutada esimest varianti ehk optimeerida hetkel olemasolevat lahendust ning teha selles lahenduses mõningad muudatusi.

5.3.4 Lipi etteande printsiibi valik

Vastavalt lahenduste võrdluse tabelile on välja toodud ka kolm võimalikku lahendusvarianti lipi etteande lahendamiseks. Variantideks on hüdrauliline silinder, pneumosilinder ning elektriline silinder. Kuna lippide asetamise lahenduses osutus autori poolt valituks pneumosilindrid siis otsustas autor kasutada ka lipi etteande lahenduses pneumosilindrit. Kuna sellisel juhul oleks silindrite juhtimisloogika ühtne.

6 PROJEKTEERIMINE

Projekteerimise peatükis hakatakse sobitama eelmises peatükis välja valitud lahendusi ning komponente olemasolevale lipikassetile nii, et eesmärk saaks täidetud ehk lipikasseti laius väheneks. Selles peatükis tehakse ka vajalikud arvutused silindrite valikuks.

6.1 Arvutused

Arvutused oleks vajalikud lipi etteande silindri dimensioneerimiseks. Esmalt peaks välja arvutama ühe lipi hinnangulise maksimaalse kaalu arvestades lipi materjali ning niiskust. Seejärel oleks vaja leida kui palju kaaluvad lipitaskus olevad lipid kokku juhul kui lipitaskusse oleks asetatud maksimaalne arv lippe. Ning viimaseks oleks vaja välja arvutada kui palju jõudu peaks lipi etteande silindrid kokku rakendama, et suudaks lipitaskust lipi välja lükata.

Kuna eesmärk on kasutada täpselt sama lipi etteande lahendust tulevikus ka kuivati lipikasseti puhul mille lippide mõõtmed on suuremad, siis autor otsustas arvutused teha mõlema lipikasseti kohta ehk transpordi lippide ja kuivati lippide kohta. Kuid silindri dimensioneerimine toimub kuivati lippide põhjal, sest need on raskemad.

6.1.1 Lipi kaalu arvutamine

Esmalt tuleks välja arvutada lipi ruumala [14].

$$V = a \cdot b \cdot c, \quad (6.1)$$

kus V – ruumala, m^3 ,

a – pikkus, m ,

b – laius, m ,

c – kõrgus, m .

Vastavalt valemile (6.1) arvutatakse välja lipi ruumala transpordi lippide puhul, arvestades varasemalt nõuete loetelus välja toodud mõõte kus transpordi lipi pikkus on $a = 1,2$ m, laius $b = 0,05$ m, paksus $= 0,01$ m.

$$V = 1,2 \cdot 0,05 \cdot 0,01 = 0,0006 \text{ m}^3$$

Vastavalt valemile (6.1) arvutatakse välja lipi ruumala kuivati lippide puhul, arvestades varasemast nõuete loetelust välja toodud mõõte kus kuivati lipi pikkus on $a = 1,8 \text{ m}$, laius $b = 0,05 \text{ m}$, paksus $= 0,025 \text{ m}$.

$$V = 1,8 \cdot 0,05 \cdot 0,025 = 0,00225 \text{ m}^3$$

Nüüd arvutatakse välja ühe lipi kaal [15].

$$m = q \cdot V, \tag{6.2}$$

kus m – puidu mass, kg,

q – puidu tihedus, kg/m³.

Vastavalt valemile (6.2) arvutatakse välja transpordi lipi maksimaalne kaal. Põhjus, miks maksimaalne kaal on selles, et lipi etteande silindri valikul peaks arvestama ka sellega, et lipid võivad olla vähe niiskemad kui tavaliselt ning ei tohiks olla olukorda kus silinder selle tööga hakkama ei saaks. Kuna lepingu järgi ei olnud lipi materjali kirjeldatud, siis autor valis levinumatest puuliikidest välja kase ning niiskuseks autor valis 30% ehk tegemist on poolkuiva puiduga. Vastavalt raamatus välja toodud tabelile on kase tihedus 30% niiskuse juures $q = 680 \text{ kg/m}^3$ [15].

$$m_t = 680 \cdot 0,0006 = 0,408 \text{ kg}$$

Vastavalt valemile (6.2) arvutatakse välja kuivati lipi maksimaalne kaal.

$$m_k = 680 \cdot 0,00225 = 1,53 \text{ kg}$$

Arvutuse tulemusena selgub, et ühe transpordi lipi kaaluks 30% niiskuse juures on $m_t = 0,408 \text{ kg}$ ning ühe kuivati lipi kaaluks on $m_k = 1,53 \text{ kg}$. Neid arvutustulemusi hinnates võiks tõdeda, et valitud vaakumhaarats on loodetavasti piisav.

6.1.2 Lipi etteandeks vajalik jõu arvutamine

Lipitasku kõige alumisest pinnast ehk tõukuri pinnast kuni lipitasku kõige kõrgemasse punkti on ligikaudu 1000 mm. Ühe transpordi lipi paksus on 10 mm, siis arvutuslikult mahub lipitaskusse maksimaalselt 100 lippi. Kuivati lipi paksus on 25 mm, siis arvutuslikult mahub lipitaskusse maksimaalselt 40 lippi.

Kuna lipi etteandja lükkab ühte lippu, siis sellele ühele lipile mida liigutatakse teiste lippude suhtes mõjub teiste lippude poolt avaldatav raskusjõud.

Lippude poolt avaldatav raskusjõud on leitav valemiga [16].

$$F_R = m \cdot n \cdot g, \quad (6.3)$$

kus F_R – lippude poolt avaldatav raskusjõud, N,

n – lippude arv, tk,

g – raskuskiirendus, m/s^2 .

Vastavalt valemile (6.3) arvutatakse välja lipitaskus olevate transpordi lippude poolt avaldatav raskusjõud (F_{Rt}) võttes arvesse, et lippude arv $n = 99$ tk.

$$F_{Rt} = 0,408 \cdot 99 \cdot 9,81 = 396,24 \text{ N}$$

Vastavalt valemile (6.3) arvutatakse välja lipitaskus olevate kuivati lippude poolt avaldatav raskusjõud (F_{Rk}), võttes arvesse, et lippude arv $n = 39$ tk.

$$F_{Rk} = 1,53 \cdot 39 \cdot 9,81 = 585,36 \text{ N}$$

Lippude etteandeks vajalik jõud leitakse valemiga [16].

$$F = \mu_s \cdot F_R, \quad (6.4)$$

kus F – Lipi etteandeks vajalik jõud, N,

μ_s – seisuhõõrdetegur.

Vastavalt valemile (6.4) arvutatakse välja transpordi lipi etteandeks vajalik jõud. Selles valemis peab arvestama ka seisuhõõrdeteguriga. Kuna hõõrdumine toimub kahe lipi omavahelise pinna suhtes siis vastavalt mehaanikainseneri käsiraamatule on võetud hinnanguliseks seisuhõõrdeteguriks $\mu_s = 0,5$ [16].

$$F_t = 0,5 \cdot 396,24 = 198,12 \text{ N}$$

Vastavalt valemile (6.4) arvutatakse välja kuivati lipi etteandeks vajalik jõud.

$$F_k = 0,5 \cdot 585,36 = 292,68 \text{ N}$$

Arvutuse tulemusena selgub see, et lipitaskust, kuhu on pandud maksimaalne arv lippe, ühe lipi välja lükkamiseks tuleb rakendada jõudu transpordi lipi puhul 198,12 N ning kuivati lipi puhul on vaja rakendada jõudu 292,68 N.

6.1.3 Lipi etteande silindri dimensioneerimine

Lipi etteande silindri valikul lähtutakse varasemalt tehtud valikust kus käesolevas lahenduses kasutatakse pneumosilindrit. Silindri valik tehakse Festo lehelt. Silindri valikul arvestatakse seda, et seda sama silindrit soovitakse kasutada mõlema lipikasseti puhul, ehk transpordi lipikasseti ja kuivati lipikasseti etteannete puhul. Sellest lähtuvalt tuleb arvestada raskema ehk kuivati lipi etteandeks vajaliku jõuga. Valiku tegemisel olulisemateks parameetriteks on süsteemi rõhk ning eelnevas peatükis välja arvatud kuivati lipi etteandeks vajalik jõud. Arvestama peab ka sellega, et ühel lipikassetil on kaks lipi etteannet. Vastavalt varasemalt tehtud arvutustele oleks hinnanguliselt vaja ühe kuivati lipi etteandeks rakendada jõudu 292,68 N, ehk ühe silindri kohta on arvutuslik jõud $F_a = 146,34$ N. Silinder peab kahepoolse toimega ning valik tehakse festo kompaktsilindrite seast. Viimases projektis oli süsteemi töö rõhk 6 bari.

Tabel 6.1 Silindrite parameetrid [17]

Nr.	Nimetus	Kolvi läbimõõt (mm)	Silindri käik (mm)	Teoreetiline jõud (F_{teor}) (6 bar)	Varu F_{teor} / F_a
1	ADN-25-60-A-PPS-A	25	60	295 N	2 kordne varu
2	ADN-32-60-A-PPS-A	32	60	484 N	3,3 kordne varu
3	ADN-40-60-A-PPS-A	40	60	754 N	5,15 kordne varu
4	ADN-50-60-A-PPS-A	50	60	1178 N	8 kordne varu

Vastavalt tabelis 6.1 välja toodud andmetele toodi välja 4 võimalikku pneumosilindrit mida käesolevas lahenduses kasutada saaks. Põhjus, miks toodi välja ka 50 mm kolvi läbimõõduga pneumosilinder on selles, et selline silinder on varasemalt selles lahenduses kasutusel olnud. Väga täpset põhjust autor ei oska öelda, miks sellise varuga silindrit on antud lahenduses varasemalt kasutatud, aga tõenäoliselt on see silinder jäänud vanast ajast ja üle arvutamisele pole rõhku pandud vaid on kasutatud otse vana lahendust. Nagu tabelist 6.1 on näha saaks selle tööga ideaalselt hakkama ka 25 mm kolvi läbimõõduga silinder. Kuid autor otsustas siiski kasutada 32 mm kolvi läbimõõduga silindrit mille nimetus on ADN-32-60-A-PPS-A. Põhjusena miks just selline valik on selles, et Hekotek on valmistanud seadmeid paljudesse riikidesse üle maailma kus on erinev kliima ning erinev puit ehk lipil võib olla veel suurem niiskus ning puit võib olla hoopis tihedam. Ning võttes arvesse ka asjaolu, et võib olla ka olukordi kus pole võimalik saavutada 6 bar rõhku süsteemis, siis selle tõttu väheneks silindri teoreetiline jõud. Vähe suurem silinder annaks samas võimaluse kasutada seda lahendust erinevates kohtades ilma, et peaks hakkama silindrit uuesti üle arvutama ja vastavalt sellele olemasolevat lipietteande lahendust ümber projekteerima.

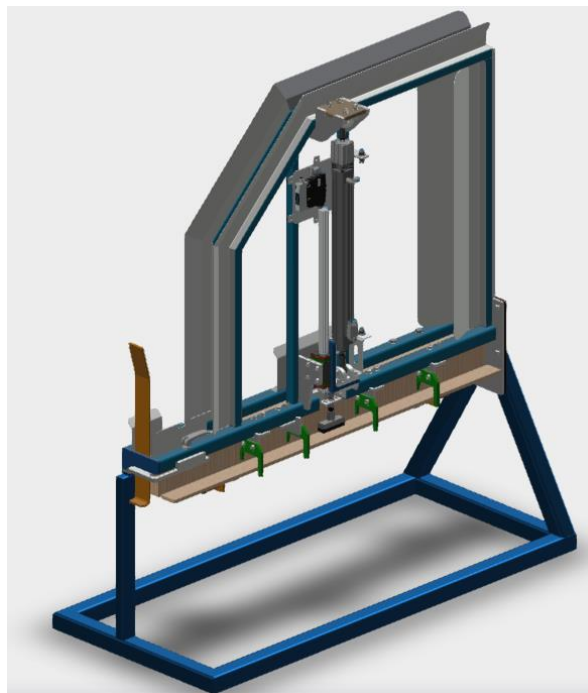
6.1.4 Lippide asetamise silindri dimensioneerimine

Lippide asetamise silindri valik toimus samuti Festo lehelt. Põhisilinder mille funktsioon on kanda lippe lauapakini sai jäetud samaks mis varasemalt selles lahenduses kasutatud oli. Põhisilindri nimetus on DSBC-32-400-PPSA-N3, ning selle silindri teoreetiline jõud 6 bar juures on 483 N mis tegelikult on palju silindri jaoks, mille eesmärk on kanda ainult vaakumhaaratsi komponente ja ühte lippi. Kuid 32 mm kolvi läbimõõduga on Festo valikust väikseim võimalik silinder mille käik on 400 mm [17].

Vastavalt põhisilindrile valiti sama kolvi läbimõõduga ka lipi haaramise silinder mille käik on 30 mm ning nimetus on ADN-S-32-30-A-P-A [21]. Põhjus miks valiti just sama kolvi läbimõõduga on selles, et põhisilinder ning lipi haaramise silinder ühendatakse omavahel kokku Festo silindrite flantsiga mille nimetus on DPNC-32. See silinder sai valitud kuna selle puhul on tegemist kompaktsilindriga, ehk silindri korpuse mõõtmed võrreldes tavalise silindriga on märgatavalt väiksemad [17].

6.2 Modelleerimine

Modelleerimis peatükis hakatakse olemasolevat mudelit muutma nii, et lõpptulemusena saaks lõputöö eesmärk täidetud, ehk väheneks lipikasseti laius. Projekteerimisel on lähtud nõuete loetelust, ning ettevõtte varasematest kogemustest. Joonisel 6.1 on näidatud lipikasseti valmis projekteeritud lahendus.

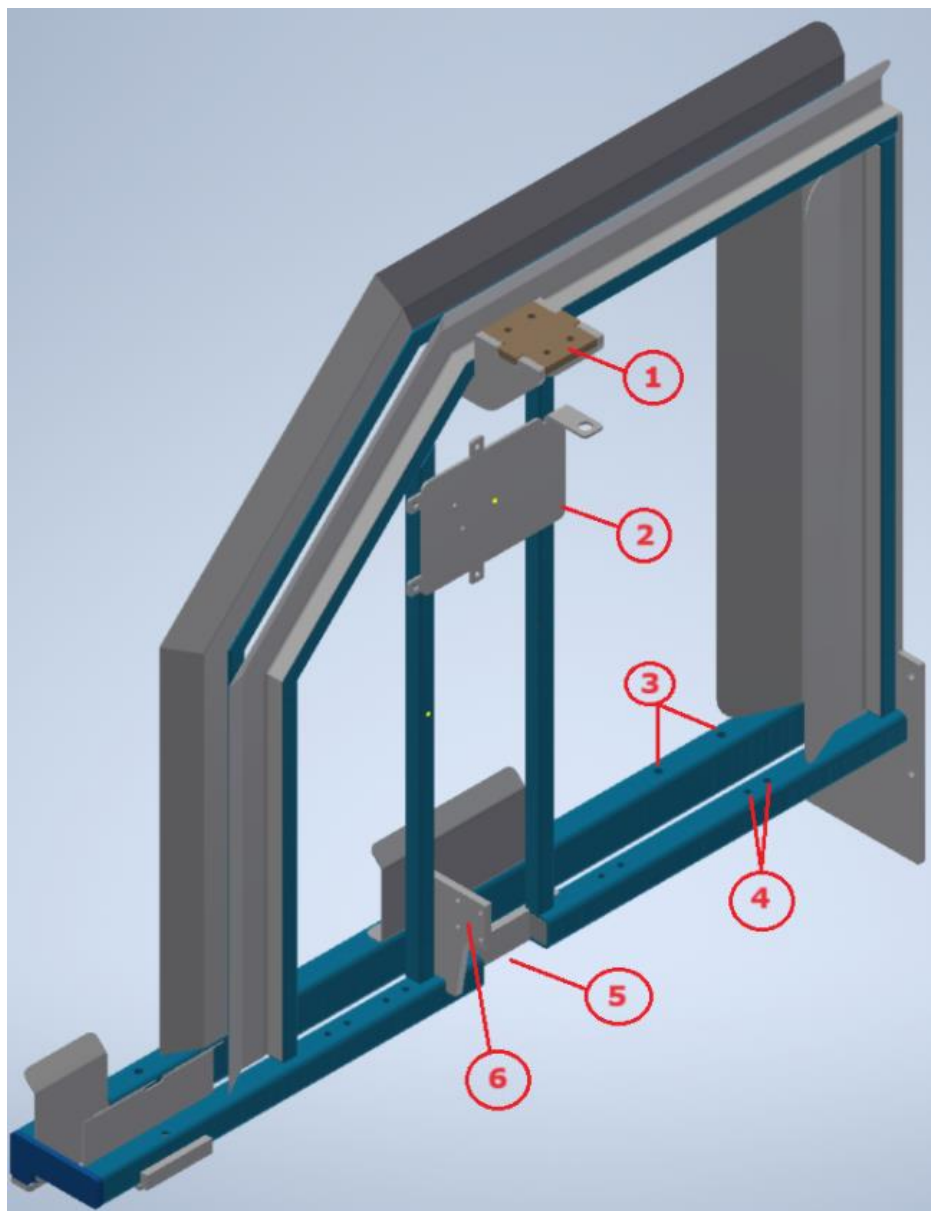


Joonis 6.1 Lipikassett (autori disain)

Nagu pildilt on ka näha, et lipikasseti alla on projekteeritud ka alusraam, see alusraam on mõeldud tulevikus testimiseks ja ka mõõtmiste tegemiseks. Modelleerimise peatükis antakse ülevaade igast lipikasseti komponendist ning kirjeldatakse igat muudetud või lisatud detaili.

6.2.1 Raami konstruktsioon

Raam on oluline osa lipikassetist, selle külge kinnituvad kõik komponendid. Olemasoleva alusraami muutmisel jälgitakse, et säiliks raami stabiilsus ning tugev konstruktsioon, sest sellega pole seni probleeme esinenud ning suured vibratsioonid võivad tulevikus tekitada probleeme. Joonisel 6.2 on kujutatud lipikasseti raam juba muudetud kujul.



Joonis 6.2 Raami konstruktsioon (autori disain)

Joonisel 6.2 on numbritega välja toodud muudetud ja lisatud komponendid. Kuna pneumosilindrid ning vaakumhaaratsi komponendid üksteise külge ühendatult nõuavad varasemast rohkem ruumi, siis sellest tingitult sai muudetud raami 150 mm kõrgemaks selleks, et numbriga (1) tähistatud silindri kinnitus jääks kogu raami suhtes natukene madalamale kui raam kõige kõrgem punkt samas näeks ka viisakas välja.

Numbriga (2) on tähistatud vaakumgeneraatori kinnitusplaat. Sellel kinnitusplaadil on valmidus ka vaakumgeneraatori tulevaseks kaitsekaaneks ning seal on valmidus ka Festo ühenduse jaoks kuhu kinnitub spiraal õhuvoolik mis tuleb otse vaakumhaaratsist. Numbriga (3) on projektijuhi soovil ette nähtud avad lipietteande kinnitamiseks poltidega. Varasemalt keevitati lipietteande detailid otse raami külge. Sama sai tehtud ka lipi piirajatega mis varasemalt keevitati otse raami külge selle jaoks sai tehtud raami poldiavad numbriga (4). Põhjus miks just lipietteanne ning lipi piirajad peaksid edaspidi olema polditavad on selles, et on tulnud ette olukordi kus on vaja muuta objektile kas lipietteande või lipipiiraja asukohta või hoopis üldse piiraja ära võtta. Siis uue lahendusega saaks selle töö lihtsalt uue ava puurimisega ära teha. Juhul kui detailid oleksid kinni keevitatud peaks hakkama taotlema objektile tuletöödeks eraldi luba.

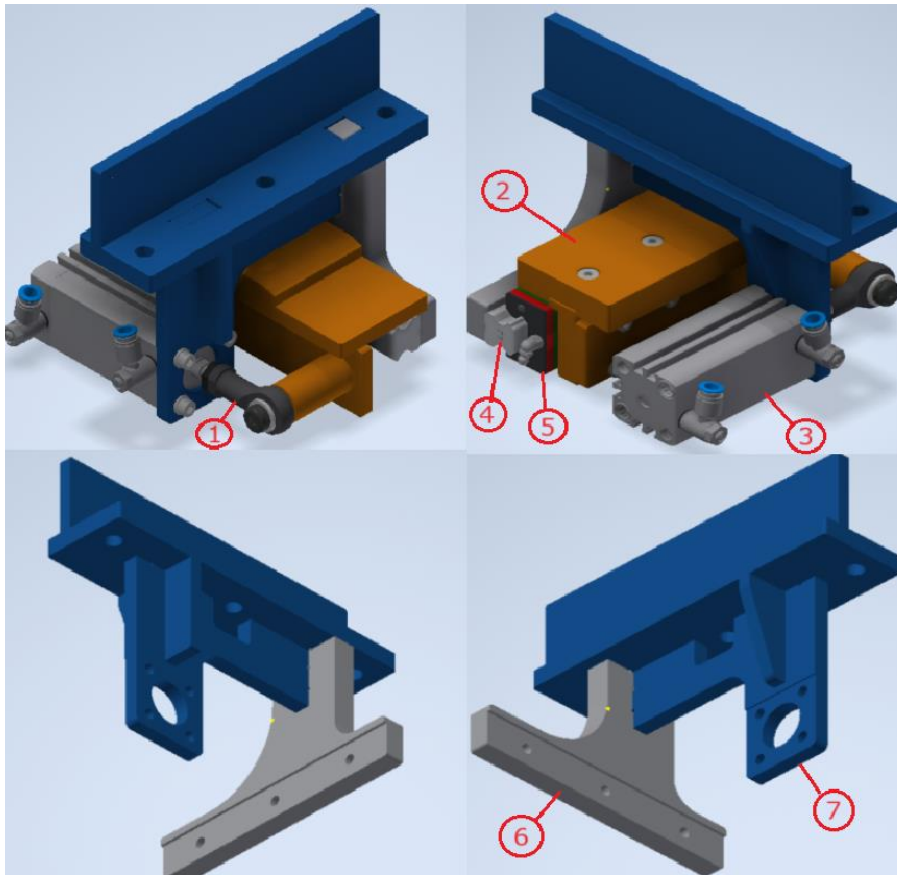
Tuletööd on detaili või materjali kuumutamise või kuumenemisega, sädemete tekkimise või lahtise tule kasutamisega tehtavad tööd milleks on elekterkeevitustöö ning ketaslõikuriga metalli lõikamine [18].

Numbriga (5) juures on tehtud raami torule väljalõige, sest eesmärk oli viia vaakumhaarats võimalikult lippide lähedale. Selle tulemusena vähenes ka lipi etteandel silindri käigu pikkus. Kaks toru on sealt kohast omavahel seotud 10 mm paksusega lehtmetailiga.

Detaili numbriga (6) sai samuti muudetud vastavalt vaakumhaaratsi paigutusele. Selle detaili külge kinnitub lineaarjuhiku kelk.

6.2.2 Lipi etteande konstruktsioon

Lipi etteande ülesanne on lipitaskust kanda üks lipp haaratsini, samal ajal kandes teisi lipitaskus olevaid lippe. Joonisel 6.3 on näidatud valmis projekteeritud lipietteande lahendus.



Joonis 6.3 Lipi etteanne (autori disain)

Varasemalt keevitati osa lipiande detailidest raami külge ning silinder kinnitati omakorda poldidega vinkli külge ja see vinkel polditi koos silindriga raami külge. Projektijuhi sõnul oli sellega vahest probleeme kuna tõenäoliselt kas oli keevitusega ära tõmmanud või oli lihtsalt valmistamise ebatäpsus mille tõttu ei olnud lineaarjuhiku pind ja silindri pind omavahel risti. Selle probleemi lahendamiseks sai tehtud terve lipietteanne ühe keevisjoonisena. Selle eeliseks oleks see, et saaks kõik vajalikud komponendid selle raami külge ära ühendada ja lauapeal testida kui kergelt silinder liigub. Samas selle eelis oleks ka see, et objektil kohapeal oleks võimalik nihutada vajaduse korral lipietteannet vastavalt olukorrale ilma, et peaks tegema tuletöid.

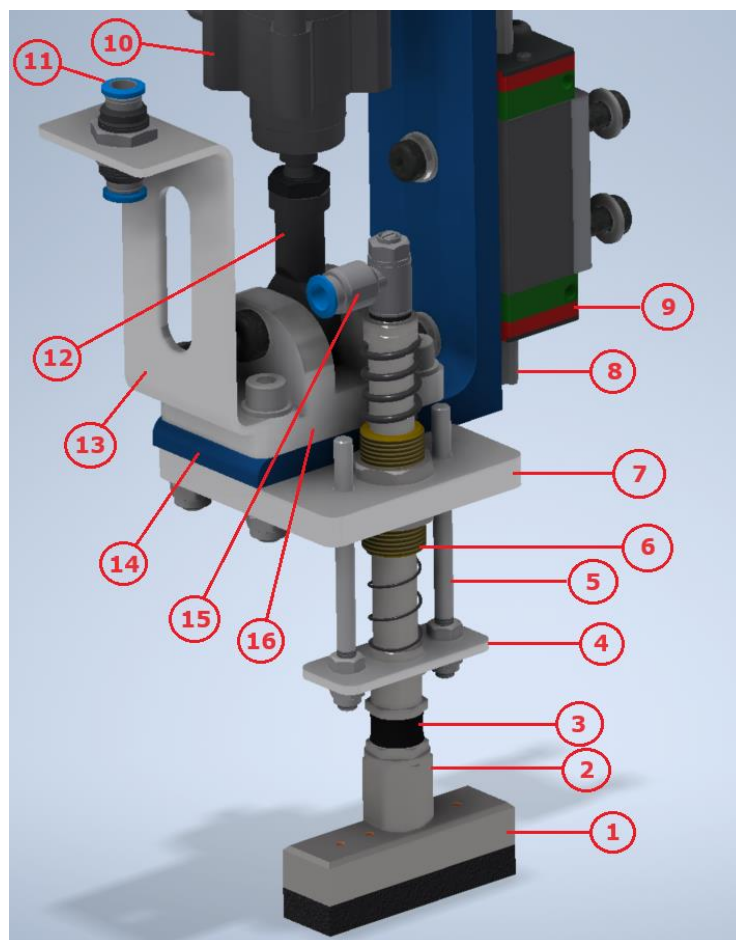
Joonisel 6.3 sai numbriga (6) ja numbriga (7) lehtmetailile tehtud tapid nii omavahel ühendamiseks kui ka alusplaadiga sidumiseks. See võiks tagada parema valmistamistäpsuse. Peale keevitamist läheb see keevisraam freesimisse, kus freesitakse silindripind ja lineaarjuhiku pind omavahel risti. Numbriga (3) on tähistatud sfäärliigend mis keeratakse silindri varre otsa ning see omakorda polditakse tõukuri (2) külge. Tõukur on omakorda polditud lineaarjuhiku kelgu (5) külge mis liigub mööda lineaarjuhikut (4). Kuna vaakumhaarats tuli nii palju lippidele lähemale siis tänu sellele sai kasutada lipietteandel tunduvalt väiksema käiguga silindrit. Seoses lühema silindri

käiguga pidi muutma ka lineaarjuhiku (4) pikkust ja tõukuri (2) pikkust. Selliseid lipietteandeid läheb ühe lipikasseti kohta kaks tükki.

6.2.3 Lippide asetamise lahendus

Lippide asetamise lahendus on kujutatud kahel joonisel. Alumine osa on kujutatud Joonis 6.4 ning ülemine osa joonis 6.5. Osad joonistele märgitud numbrid kattuvad mõlemal joonisel, siis see tähendab seda, et on tegemist täpselt sama komponendiga.

Lippide asetamise tööpõhimõte on selline, esmalt tõukur lükkab lipitaskust välja ühe lipi ning kannab selle haaratsi alla peale seda ülemises osas väike silinder (19) käiguga 30 mm liigub alla, siis toimub alumises asendis vaakumi rakendumine ning peale seda liigub see väike silinder üles tagasi. Juhul kui väike silinder on jõudnud tagasi algasendisse, siis peale seda liigub tõukur alt ära. Seejärel rakendub suur silinder (10) käiguga 400 mm ning asetab lipi lauapaki peale. Põhjus, miks on kasutatud kahte pneumosilindrit on selles, sest selle lahendusega on tagatud see, kui üks silinder käib lõpuni välja siis on haaratsi asukoht alati samas kohas.



Joonis 6.4 Lippide asetamise alumine osa. (autori disain)

Järgnevalt kirjeldatakse Joonis 6.4 alumise osa komponente.

Numbriga (1) on kujutatud vaakumhaarats mille töölaius on 22 mm ning pikkus on 76 mm.

Numbriga (2) on tähistatud nippel, ehk 1/8 tolli väliskeermelt üleminek 1/4 tolli sisekermele.

Numbriga (3) on tähistatud painduv lüli mis laseb haaratsil lipi tasapinnaga kaasa painduda nurga alla, et tagada maksimaalne haaramispind vaakumiga. Võib ette tulla ka olukordi kus lipp võib olla natukene kõver.

Numbriga (4) on tähistatud S355 materjalist valmistatud lehtmetail mille külge on polditud kaks keermestatud varrast (5).

Keermestatud varda (5) otsa esmalt keeratakse tavaline mutter kuni kerme lõpuni siis pannakse plaat ning seejärel fikseeritakse kermevarras plaadi külge kinni lukkmutteriga. See lahendus sai autori poolt sinna mõeldud kuna tekkis probleem kus vedrukolvi (6) keskel olev väliskeermega puks pöörles kergelt ümber oma telje, isegi kui plaadi külge kinni keerata oleks vaakumhaarats ikka pöörelnud ümber oma telje. Need keermestatud vardad lähevad läbi detaili numbriga (7) avade ning selle lahenduse tulemusena vaakumhaarats enam ei pöörle.

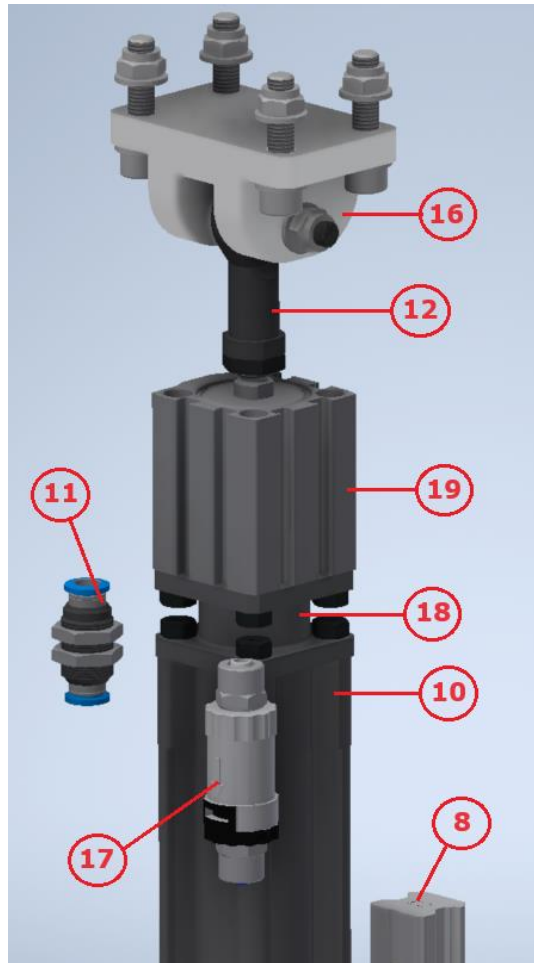
Numbriga (6) on tähistatud vedrukolb millega on võimalik haaratsi kõrgust reguleerida ning töötab ka summutusena mõlemat pidi. Samas oleks võimalik sättida nii, et vedrukolb avaldaks survet iga lipi haaramisega mille tulemusena võiks ehk paraneda haardumine lipiga juhul kui selleks vajadust peaks olema.

Numbriga (7) on tähistatud S355 materjalist vaheplaat. Selle plaadiga seotakse esmalt ära vaakumhaaratsi kõik komponendid ja alles siis polditakse see plaat korraga vinkli (14) külge.

Numbriga (8) on tähistatud lineaarjuhik mis on polditud vinkli (14) külge ning juhik liigub mööda kelku (9) mis on omakorda polditud raami külge.

Detail numbriga (16) on valmistatud AlMg3 sulamist ning selle külge kinnitub silindri sfäärliigend (12).

Liitmikust numbriga (15) läheb õhutoru läbi lehtmetaili (13) keskel oleva ava teise liitmikusse (11).



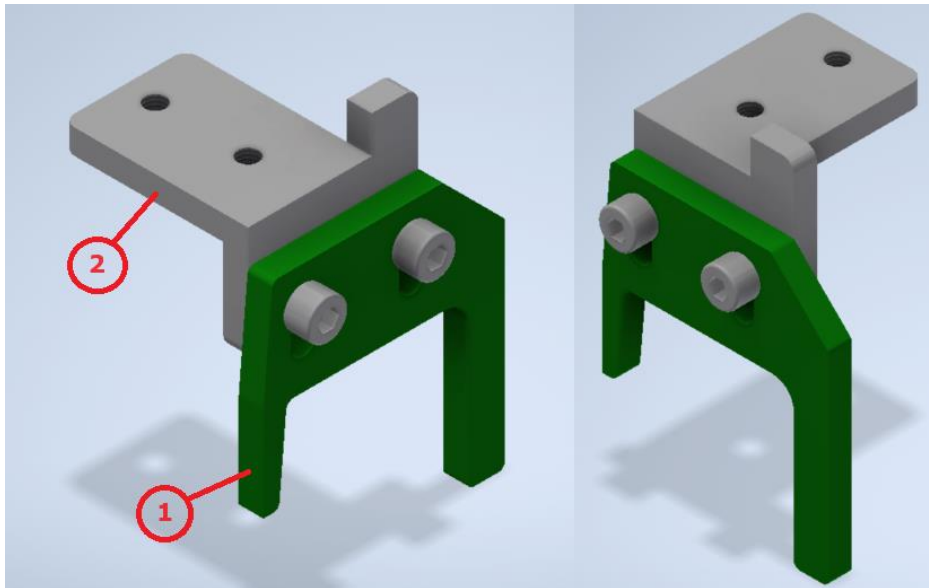
Joonis 6.5 Lippide asetamise ülemine osa (autori disain)

Järgmisena kirjeldatakse joonisel 6.5 kujutatud lippide asetamise lahenduse ülemise osa komponente. Numbriga (11) on tähistatud Festo ühendus sinna ühendusse tuleb alumisest ühendusest spiraal õhuvoolik. Numbriga (17) on tähistatud filter. See filter paikneb Festo ühenduse (11) ja vaakumgeneraatori vahel. Selle eesmärk on kaitsta vaakumgeneraatorit tolmu ja puru eest.

Selles lahenduses on vinkel (14), lehtmetailid numbriga (4), numbriga (7) ja numbriga (13) kuumtsingitud. Kuutsinkimine on korrosioonikaitseline töötlus, milles tsingitavad tooted kaetakse õhukese tsingikihi. [19]

6.2.4 Lipi piiraja

Lipi piiraja ei lase haaratsini liikuda üle ühe lipi. Joonisel 6.6 on kujutatud uus lahendus lipi piirajast.

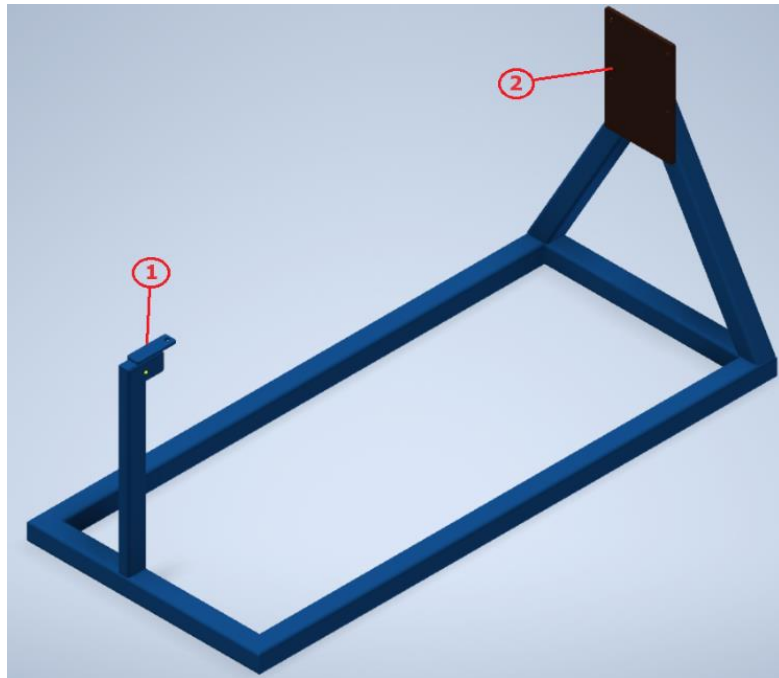


Joonis 6.6 Lipi piiraja (autori disain)

Selliseid lipi piirajaid paikneb ühel lipikassetil neli tükki. Lipipiiraja disain tuleneb sellest, et haarats peab saama peale vaakumi rakendamist koos lipiga üles liikuda umbes 20-25 mm ning see sõltub suuresti sellest kuidas vaakumhaaratsi kõrgus reguleeritakse. Lipipiiraja ovaalne poldiava tuleneb sellest, et lipipiiraja kõrgust peab olema võimalik reguleerida. Joonisel 6.6 numbriga (1) on näidatud mis serv teeb tööd, ehk takistab ülejäänud lippidel kaasa liikumast. See samune detail (1) on tehtud ka kõrguse poolest reguleeritavaks, et oleks võimalik kohapeal vastavalt materjalile reguleerida kõrgust. Võrreldes varasemaga sai ka lipi piiraja lahenduses tehtud muudatusi. Varasemalt keevitati lipipiirajad otse keevisraami külge siis praeguses lahenduses on tehtud see kõik polditavaks nii lipipiiraja (1) kuid ka raami külge minev kinnitus (2).

6.2.5 Alusraam

Lipikassett paigaldatakse üldiselt lipiraamile mille ülesannet on eelpool juba kirjeldatud. Selline alusraam sai projekteeritud eesmärgiga, et testida seda konkreetset lipikassetti. Lipikassetil kinnituskohti ei muudetud vaid jäeti alles võimalus, et seda lipikassetti saaks tulevikus paigaldada ka lipiraamile. Vastavalt lipikasseti kinnituskohtadele sai projekteeritud ka alusraami kinnitus flantsid numbriga (1) ja (2). Joonisel 6.7 on kujutatud lipikasseti alusraam.



Joonis 6.7 Alusraam (autori disain)

Kuna selle konkreetse lipikasseti tulevik on natukene lahtine, kas see konkreetne paigaldatakse peale testimist ka kuskile objektile või tuleb olemasoleva alusraami külge veel liikuv lint mille peale hakkab lipikassett lippe asetama sellisel juhul läheks tulevikus see lipikassett messile väljapanekuks. Seda kõike arvesse võttes sai alusraam projekteeritud 50x50x4 nelikanttoruga mille materjal on teras S235. Raamil olevad lehtmetailid on valmistatud samuti terasest S355.

6.2.6 Lipikasseti modelleerimise tulemused

Modelleerimise tulemusena vähenes lipikasseti kogulaius märgatavalt. Varasemalt oli lipikasseti kogulaius 424,5 mm, siis uue lahenduse tulemusena on see laius nüüd 295,5 mm. Laius vähenes suuresti vaakumhaaratsi kasutamise tõttu, sest varasemalt kasutatud pneumaatilise radiaalse haaratsi töölaius oli 178 mm, siis praegu kasutatava vaakumhaaratsi töölaius on 22mm. Tänu väiksele töölaiusele oli võimalik projekteerida vaakumhaarats võimalikult lipitasku kõrvale, mille tõttu vähenes samuti lipi etteande silindri käik mis varasemalt oli 125 mm, siis uue lahendusega on see 60 mm ehk silindri korpus muutus lühemaks.

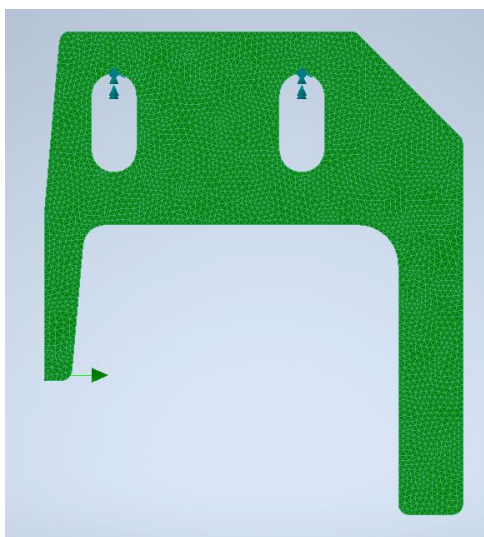
6.3 Tugevusarvutused

Lipikasseti detailide tugevusarvutused on tehtud programmiga *Autodesk Inventor Nastran*. Kuna allolevad detailid on suhteliselt väiksed ning ka ebasümmeetrilised, ei ole mudeleid oluliselt lihtsustatud arvutuste tegemiseks.

6.3.1 Lipi piiraja tugevusarvutus

Kuna lipi piiraja on võrdlemisi oluline komponent käesolevas lahenduses, ehk see ei lase haaratsini liikuda üle ühe lipi, siis sai tehtud ka tugevusanalüüs sellele detailile. Lipikassetil on selliseid piirajaid 4 tükki. Käesolevas tugevusanalüüsis tehakse arvutus ekstreemum olukorrale kus lipp läheb kolme piiraja alt läbi aga takerdub näiteks ühe piiraja taha. Selline olukord võib juhtuda siis, kui lipp on kõver. Maksimaalseks mõjuvaks jõuks sellele piirajale sai määratud eelnevalt välja valitud lipi etteande ühe silindri maksimaalne jõud millega lippe lipitaskust välja lükatakse ehk 484 N.

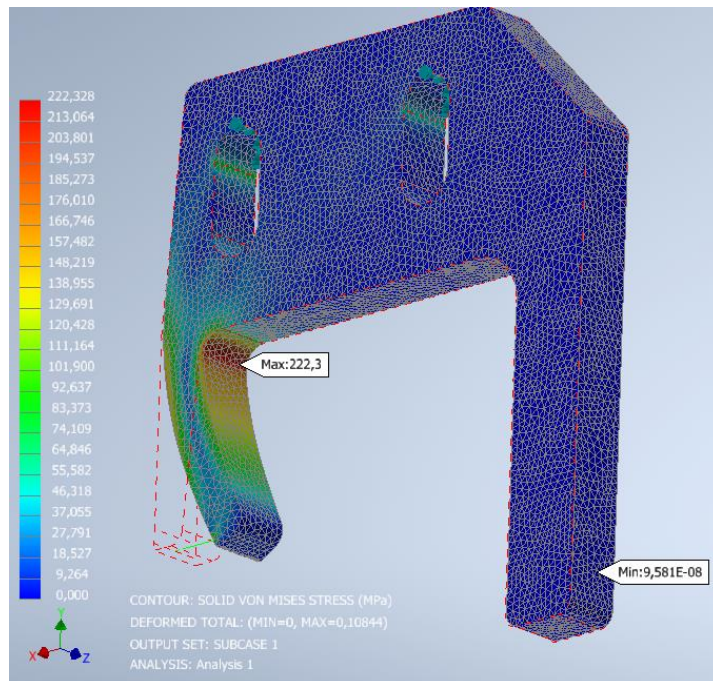
Joonis 6.8 on näha, et tugevusarvutuste tarbeks fikseeriti poldiavad ning vasakule alla servale pandi mõjuma jõud milleks on 484 N. Materjaliks on kasutatud terast S355 mille paksus on 8 mm. Lipi piiraja tugevusarvutuses sai määratud elemendi suuruseks 1 mm, et arvutused võimalikult täpsed oleksid.



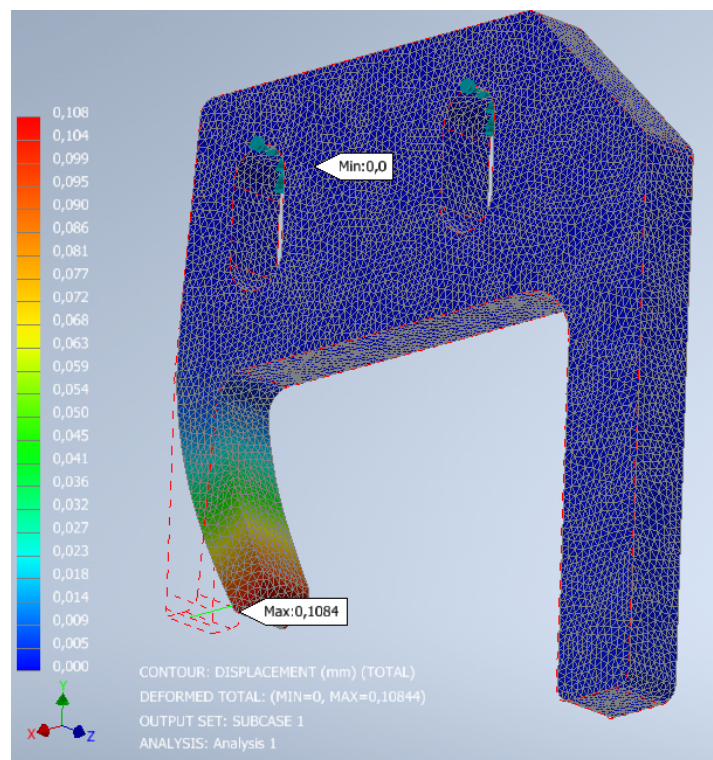
Joonis 6.8 Lipi piiraja detaili tugevusarvutus. (autori disain)

Joonisel 6.9 ja 6.10 on kujutatud tugevusarvutuse tulemused. Joonisel 6.9 kujutatud tugevusarvutuse tulemusena on näha, et maksimum pinget detailis on 222,3 MPa. Konstruktsiooniterase nimes olev number on voolepiiri väärtus ehk voolepiir näitab MPa maksimaalselt koormust, mida metall talub enne plastselt deformeerumist [20]. Kuna selle detaili materjal on S355 siis voolepiir on 355 MPa.

Sellise detailile mõjuva jõu juures on deformatsioon elastne ehk voolepiir jääb alla 355 MPa. Autori hinnangul on see piisav antud detaili juures. Juhul kui peaks tekkima tulevikus probleeme, siis on võimalik seda detaili alati paksemaks muuta, et saavutada paremat tulemust kuid detaili kuju peaks jääma samaks.



Joonis 6.9 Lipi piiraja details tekkiv pinge. (autori disain)



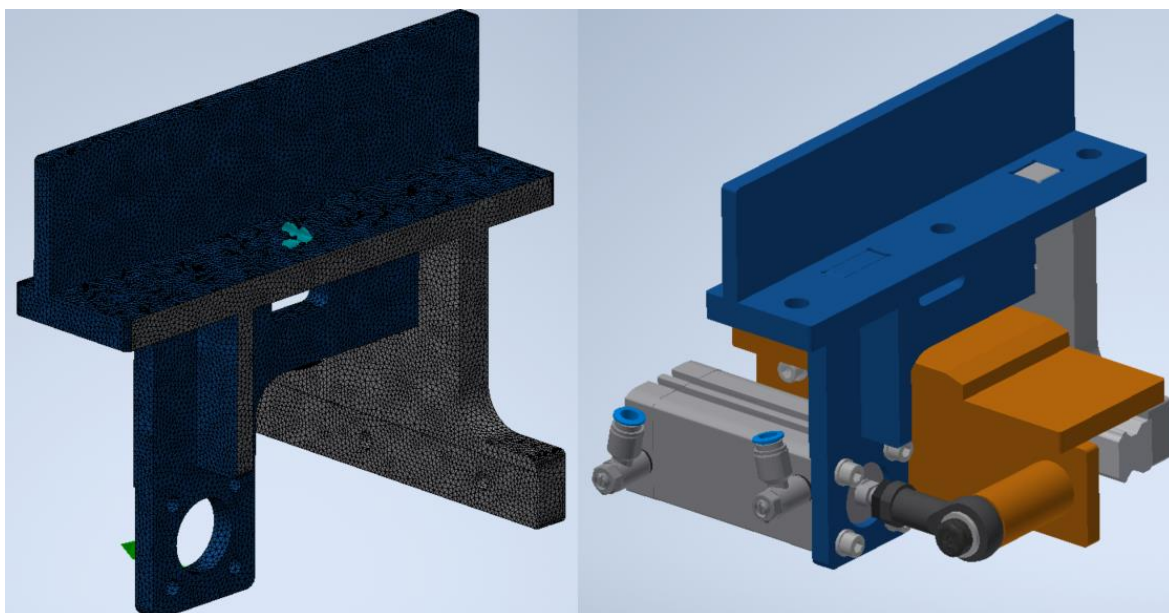
Joonis 6.10 Lipi piiraja details tekkiv deformatsioon (autori disain)

Joonisel 6.10 on kujutatud deformatsiooni. Sealt on näha, et maksimaalne deformatsioon on üpris väike ehk 0,108 mm. Autori hinnangul sobib see detail sellisena nagu on kuna eesmärk on siiski paigaldada lipi piiraja nii, et sellist olukorda pigem ei saaks tekkida.

6.3.2 Lipi etteande tugevusarvutus

Järgmine lipikasseti osa mida autor muutis on lipi etteanne. Lineaarjuhiku kinnituse detail jäi sisuliselt samaks mis varasemalt vaid läks natukene lühemaks ning sama sai tehtud ka tõukuriga mis võrreldes varasema lahendusega läks lühemaks. Kiire tugevusarvutuse tulemusena selgus, et need on detailid on natukene üledimensioneeritud kuid autori arvates on selleks ka põhjus, sest igasugune läbipaine lineaarjuhiku kinnituses võib mõjutada lipi etteande tööd.

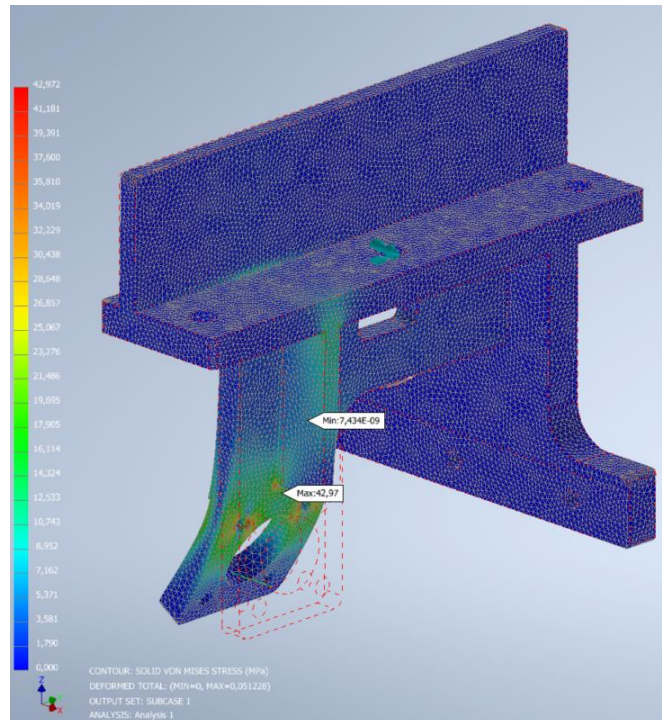
Aga detail, mille autor tegi uue on silindri kinnituse detail ning selle detaili kohta tehakse ka tugevusarvutus. Nagu joonisel 6.11 on näha siis tugevusarvutusteks sai muudetud natukene lipietteannet, ehk on mudelist ära kaotatud tapid mis sai tehtud lehtmetailide omavaheliseks ühendamiseks kuna need mõjutavad arvutustulemust. Silindri kinnituse detaili paksus on 10 mm ning materjaliks sai valitud S355 teras. Selleks, et tugevusarvutused võimalikult täpsed oleksid sai elemendi suuruseks määratud 2 mm.



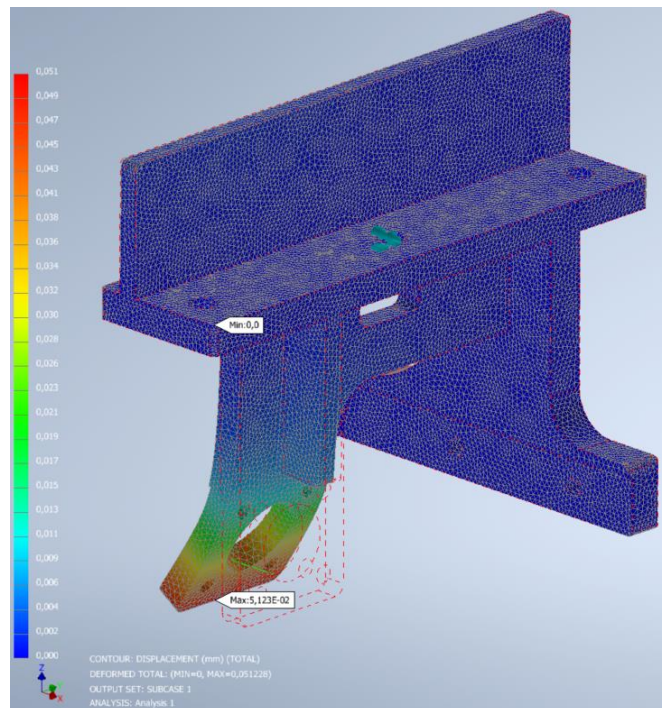
Joonis 6.11 Lipi etteande tugevusarvutus (autori disain)

Arvutustes fikseeriti lipi etteande raami see pind, mis kinnitub poltidega raami külge. Ning silindri kinnitus detailile pandi silindri väljaliikumise suunale vastastikune jõud, sest juhul kui lipp takerdub kuhugi, siis silinder hakkab oma jõuga end silindri kinnitus

detailist lahti suruma. Silindri kinnitus detailile mõjuvaks jõuks määras autor silindri teoreetilise jõu 6 bari juures, milleks on 484 N. Joonisel 6.12 on kujutatud lipi etteande silindri kinnitus detailis tekkiv pinge ning joonisel 6.13 on kujutatud lipi etteande silindri kinnitus detaili deformatsioon. Joonisel 6.12 kujutatud tugevusarvutuse tulemusena on näha, et maksimum pinge detailis on 42,972 MPa. Sellise detailile mõjuva jõu juures on deformatsioon elastne ehk voolepiir jääb alla 355 MPa.



Joonis 6.12 Lipi etteande silindri kinnituses tekkiv pinge (autori disain)



Joonis 6.13 Lipi etteande silindri kinnituses tekkiv deformatsioon (autori disain)

Joonisel 6.13 on kujutatud lipi etteande silindri kinnituses tekkiv deformatsioon. Sealt on näha, et maksimaalne deformatsioon on väga väike ehk 0,051 mm. Kuid kuna tegemist on üpris olulise komponendiga lipikassetil siis sellel ei tohiks ollagi suuri deformatsioone ja pingeid lähtuvalt sellest autor otsustas selle detaili sellise paksusega jätta.

7 LIPIKASSETI JUHTIMINE

Käesoleva lõputöö peamiseks eesmärgiks oli optimeerida lipikasseti gabariite. Kuid selles peatükis antakse ka lühike ülevaade kasutatavatest elektrikomponentidest, kirjeldatakse lipikasseti töösüklit ning viimaseks räägitakse lähemalt kasutatavatest pneumokomponentidest ning kuidas need töötavad.

7.1 Lipikasseti elektrikomponendid

Lipikasseti lahenduses on kasutusel Siemens 6ED1052-1HB08-0BA2 PLC kontrolleri mis on kujutatud joonisel 7.1. Selliseid kontrollereid kasutatakse lihtsamates rakendustes kus on vähe sisendeid (andurid ja nupud) ning vähe väljundeid (täiturid) ja lihtne programm. Lihtsustatult öeldes on kontrolleri ülesanne midagi sisse ja välja lülitada vastavalt selles olevale programmile, mis oma töös lähtub sisendite olekust [21].



Joonis 7.1 Kontrolleri Siemens 6ED1052-1HB08-0BA2 [22]

Kontrollimaks, kas silinder on jõudnud oma lõppasendisse või koduasendisse tagasi kinnitatakse silindri alumiinium korpuse külge Festo andurid SDBT-MSX. See andur on kujutatud pneumosilindri korpuse küljes joonisel 7.2.



Joonis 7.2 Andur SDBT-MSX [23]

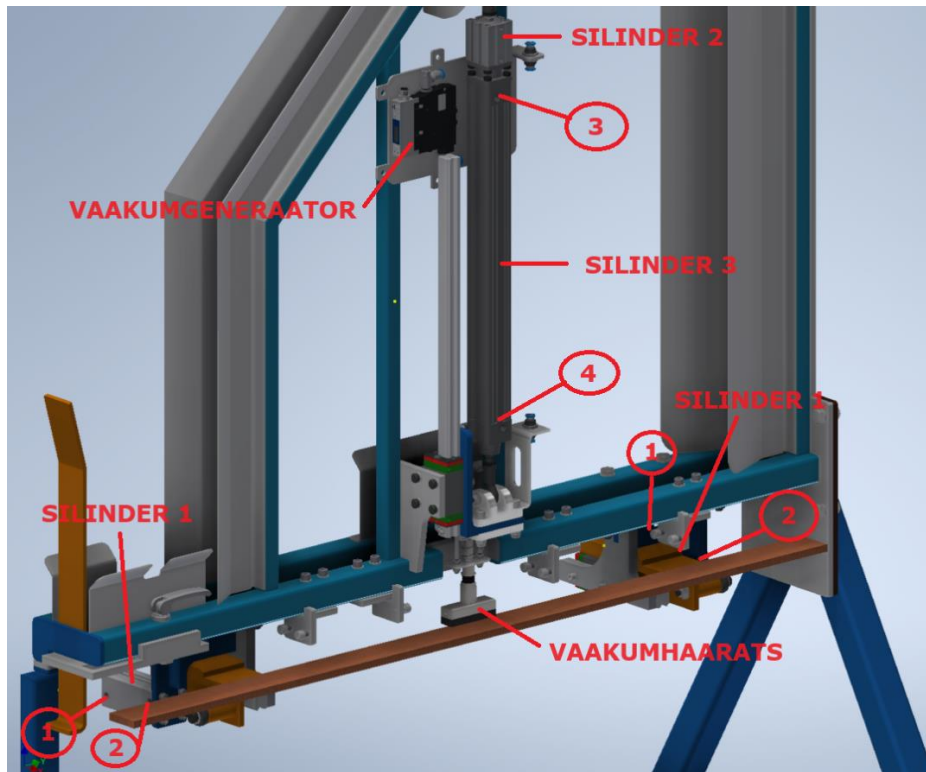
Joonisel 7.2 olev andur loeb pneumosilindri kolbi integreeritud magneti magnetvälja [23]. Selliseid andureid tuleb lipikassetile kokku 6 tk.

Kontrolleri kõrvale tuleb veel juurde laiendusmoodul Siemens 6ED1055-1CB10-0BA2, mis annab kontrollerile juurde 8 sisendit ja 8 väljundit.

Viimaseks elektri komponendiks on nupupaneel mis on Hekotekis valmistatud. Sellel paneelil on start ja stopp nupp ning lisaks on võimalik ka käsirežiimis juhtida igat silindrit eraldi. Sellel nupupaneelil paikneb ka LED indikaatorid milleks on punane ja roheline. Punane märguande tuli süttiks juhul kui on mingi probleem lipikasseti töös. Roheline põleb siis kui kõik on korras.

7.2 Lipikasseti töötsükli kirjeldus

Lipikasseti töötsükli paremaks kirjeldamiseks on joonisel 7.3 kujutatud silindrid, vaakumgeneraator ning andurid.



Joonis 7.3 Lipikassett. (autori disain)

Järgnevalt on kirjeldatud lipikasseti kõik ühe tsükli käigud:

- 1) Esimene käsk on mõlemad silinder 1 liiguvad välja, juhul kui mõlemad andurid (2) on tuvastanud, et silindrid on välja liikunud minnakse edasi järgmise käsu juurde.
- 2) Teine käsk on silinder 2 liigub välja.
- 3) Kolmanda käsuga rakendatakse vaakum. Vaakumgeneraator saab aru, kas lipp on haaratud või mitte ning juhul kui lipp on haaratud annab vaakumgeneraator välja signaali vakumeerimine ON [24].
- 4) Neljas käsk on silinder 2 liigub sisse.
- 5) Viies käsk on see, et mõlemad silinder 1 liiguvad sisse, juhul kui mõlemad andurid (1) on tuvastanud, et silinder on tagasi liikunud minnakse järgmise käsu juurde.
- 6) Kuuenda käsuga silinder 3 liigub alla seni kuni andur (4) tuvastab silindrikolvi. Peale mida minnakse edasi järgmise käsu juurde.
- 7) Käsk seitse on vabasta vaakumist ja puhu ära. Ehk peale vaakumist vabastamist läbi vaakumgeneraatori puhutakse vaakumhaaratsi padi purust puhtaks. Peale seda kui vaakumgeneraator annab signaali vakumeerimine OFF minnakse edasi järgmise käsu juurde.
- 8) Käsk kaheksa on silinder 3 liigub tagasi algasendisse. Juhul kui andur (3) tuvastab signaali, et silinder on tagasi algasendis minnakse uuesti esimese käsu juurde.

7.3 Lipikasseti pneumokomponendid ja juhtimine

Lipikasseti lahenduses on kasutusel kokku neli pneumosilindrit ning üks vaakumhaarats, ehk kõik liikuvad osad töötavad õhu pealt. Lisa 1 on välja toodud kõik lipikassetil kasutatavad komponendid. Lisa 2 on kujutatud pneumoskeem ning vastavalt skeemil olevale tähisele on võimalik igat komponenti otsida lisa 1 tabelist.

Kuna varasemalt on ettevõttes kasutatud sarnas pneumojoonist lipikassetil, siis autor võttis olemasoleva joonise ning viis sisse muudatused vastavalt olukorrale [3]. Pneumoskeemi tegemiseks kasutati programmi *AutoCAD Electrical 2023*.

Lipi etteande lahendusel on kasutusel kaks silindrit (PC1.1) ja (PC2.2) ning iga silindri kohta on kaks drosselit (LF1). Drosselitega reguleeritakse mõlemate silindrite väljaliikumise ja sisseliikumise kiirust ning selle silindri tööd juhib vastavalt kontrolleriist tulevale signaalile 5/2 elektriline pneumojaoti (MD1.1).

Vaakumhaaratsi silinder 1 (PC2.1) on 30 mm käiguga ning selle silindri ülesanne on väljaliikumisel viia haarats lipini ning peale vaakumi rakendumist liigub silinder sisse tagasi. Selles lahenduses on samuti kasutatud kaks drosselit (LF2), et reguleerida sisse/välja liikumise kiirust. Ning silindri liikumist juhib vastavalt kontrolleriist tulevale signaalile 5/2 elektriline pneumojaoti (MD1.2).

Vaakumhaaratsi silinder 2 (PC3.1) on 400 mm käiguga ning selle silindri ülesanne on väljaliikumisel kanda lipp lauapakini ning peale lipi vabastamist vaakumist sisse tagasi liikuda. Siin on kasutusel üks tavaline drossel (LF1) ning üks lukk koos drosseliga, mis on vajalik silindri asendi lukustamiseks, ehk silinder koos vaakumhaaratsiga ei hakkaks alla vajuma kui pneumojaoti keskasendisse liigub. Pneumojaoti (MD1.3) kaudu võetakse surve luku avamiseks. Silindri allaliikumise rõhku on võimalik muuta selleks on lisatud rõhuregulaator (MR1.1) ning rõhu kuvamiseks on peale rõhuregulaatorit manometer (PG1.1). Vaakumhaaratsi silindri juhitakse 5/3 elektrilise pneumojaotiga (MD2.1) mis saab signaali kontrolleriist.

Viimaseks on pneumoskeemi lisatud vaakumhaarats (VG1.1). Selleks, et vaakumhaaratsist ei läheks puru vaakumgeneraatorisse (VGR1.1) on vahele pandud vaakumfilter (VF1.1). Vaakumgeneraatorile tuleb peale maksimaalne töö rõhk milleks on 6 bari.

8 LIPIKASSETI HINNAKALKULATSIOON

Lipikasseti hinnakalkulatsiooni peatükis tuuakse välja kulude aruanne lipikasseti valmistamiseks. Ostutoodeteks on kinnitusvahendid, elektrikomponendid, pneumokomponendid ning muud komponendid. Samuti arvestatakse materjali kulu, tööaja kulu ning projekteerimise kulu. Tootmise tunnihinde määramisel on autor arvestanud ettevõttega kus ta ise töötab. Kulude paremaks ülevaateks on igasse erinevasse tabelisse pandud eraldi tootegrupid.

8.1 Lipikasseti materjalide kulu

Tabelis 8.1 on näidatud materjali kulu lipikasseti kohta. Nelikanttorude hinnad on võetud metall24 lehelt vastavalt tellitavale kogusele. Nelikanttorude tellitav kogus ümardati maksimaalselt kuni 50 mm suuremaks. Lehtmetalli kogus arvutati kilogrammides koos tekkivate jääkidega.

Tabel 8.1 Lipikasseti materjalide kulu.

Materjal	Tellitav kogus (mm)	Tellitav kogus (kg)	Hind (€/kg)	Hind kokku (€)
NK-toru 25x25x2	6200	9.18	2.26	20.75
NK-toru 40x40x4	1150	4.95	2.67	13.21
NK-toru 50x30x3	600	2.05	3	6.15
NK-toru 50x50x4	5100	28.05	2.4	67.32
NK-toru 60x40x4	1250	7.04	2.64	18.58
Lehtmetallist detailid S355	-	50.307	0.88	44.27
Eridetailide tellimine	-	-	-	135
Kokku:				305.28

8.2 Tööaja kulu

Tabelis 8.2 on näidatud töö ajakulu ning tunnihind mis kooskõlastati tootmisega.

Tabel 8.2 Tööaja kulu.

Tegevus	Ajakulu (h)	Tunnihind (€)	Hind kokku (€)
Saagimine	1	30	30
Koostamine	8	30	240
Keevitamine	6	30	180
Kuumtsinkimine	-	-	20
Painutamine	1	60	60
Treimine	1	35	35
Värvimine	1	60	60
Laserlõikus	2	60	120
Freesimine	2	30	60
Kokku:			805

Kuumtsinkimise hind on hinnanguliselt 0,78 €/kg kuid see hind võib ka muutuda detailide põhised ehk tabelisse hind sai pandud ümardatud kujul.

8.3 Ostutooded

Järgnevatel tabelites on kirjeldatud kõik ostukomponendid väljaarvatud õhutorud, õhutorude liitmikud ning kaablid mis tulevad laost.

Tabel 8.3 Lipikasseti pneumokomponentide hinnad.

Tk	Ühik	Kirjeldus	Hind (€)	Kokku (€)
1	tk	Vaakumgeneraator, SCHMALZ_SCPs_15_G02_NC_M12-5	505	505
2	tk	Festo pneumosilinder 536267 ADN-32-60-A-PPS-A	69.08	138.16
1	tk	Festo kompakt pneumosilinder 8091454 ADN-S-32-30-A-P-A	66.52	66.52
1	tk	Festo pneumosilinder 1376477 DSBC-32-400-PPSA-N3	130.47	130.47
1	tk	SCHMALZ FILTER VFI_CN8_6_50	14	14
1	tk	Festo silindrite ühendus 174418 DPNC-32	46.52	46.52
1	tk	Summuti, AMTE-M-H-G14	2.27	2.27
2	tk	Summuti, U-1/2-B	15.35	30.7
1	tk	Manomeeter, PAGN-26-10-P10	19.40	19.40
1	tk	Rõhuregulaator, VABF-S4-1-R3C2-C-6	174.43	174.43
1	tk	Elektriline pneumojagaja, VSVA-B-P53E-ZD-A1-1T1L	107.48	107.48
3	tk	Elektriline pneumojagaja, VSVA-B-M52-AZD-A1-1T1L	115.38	346.14
1	tk	Lukk+drosselklapp, VFOF-LE-BAH-G18-Q6	106.02	106.02
2	tk	Drossel, AS1201FS-M5-06A	15.89	31.78
5	tk	Drossel, AS2201FS-01-08SA	15.70	78.5
2	tk	Hüdrauliline tihend 1_4	0.50	1
1	tk	Nippel_VK_G1_8_SK_G1_4	3.31	3.31
1	tk	SCHMALZ_FLK_G1_4-IG_G1_4-AG	29.90	29.90
1	tk	Vaakumhaarats_FM-SW_76x22_4x6_0.4_N10	130.8	130.8
1	tk	SCHMALZ_VEDRUKOLB_FSTA_G1_4-AG_25	55.90	55.90
4	tk	Festo kolvivarre ots 9261 SGS-M10x1,25	26.89	107.56
1	tk	Festo alusplaadi lõpuplaat (pime) CPX-M-EPL-EV-X	109.19	109.19
1	tk	Festo alusplaadi ühendusplaat, VABE-S6-1R-G12	24.02	24.02
1	tk	Festo alusplaat, VABV-S4-1HS-G14-2T1	77	77
1	tk	Festp alusplaat, VABV-S4-1HS-G14-2T2	82.10	82.10
			Kokku:	2418.17

Tabel 8.4 Lipikasseti elektri- ja automaatikakomponentide hinnad.

Tk	Ühik	Kirjeldus	Hind	Kokku
1	tk	Toide 24VDC, 10A.	81.31	81.31
1	tk	6ED1052-1HB08-0BA	146	146
1	tk	6ED1055-1CB10-0BA2	111.76	11.76
6	tk	Festo, SDBT-MSX	47.60	285.6
			Kokku:	524.72

Tabel 8.5 Lipikasseti lineaarjuhikud ja lineaarjuhiku kelk.

Tk	Ühik	Kirjeldus	Hind (€)	Kokku (€)
3	tk	HIWIN kelk HGH25CA Z0 C KK	79.8	239.4
2	tk	HIWIN rööbas HGR25T 180 C	31.6	63.2
1	tk	HIWIN rööbas HGR25T 520 C	72.4	72.4
Kokku:				375

Tabel 8.6 Lipikasseti kinnitusvahendite hinnad.

Tk	Ühik	Kirjeldus	Hind (€)	Kokku (€)
2	tk	Polt DIN-933 – M8 x 12	0.08	0.16
4	tk	Polt DIN-933 – M10 x 30	0.26	1.04
6	tk	Polt DIN-931 – M10 x 90	0.59	3.6
8	tk	Sisekuuskantpolt M8 x 50 / DIN912	0.32	2.59
8	tk	Sisekuuskantpolt M6 x 35 / DIN912	0.15	1.2
8	tk	Sisekuuskantpolt M8 x 16 / DIN912	0.16	1.28
4	tk	Sisekuuskantpolt M8 x 35 / DIN912	0.26	1.04
4	tk	Sisekuuskantpolt M8 x 45 / DIN912	0.28	1.12
8	tk	Sisekuuskantpolt M6 x 30 / DIN912	0.13	1.04
6	tk	Sisekuuskantpolt M6 x 25 / DIN912	0.1	0.6
2	tk	Sisekuuskant kraega polt ISO 7379 – 10 x 70	5.25	10.5
2	tk	Sisekuuskant kraega polt ISO 7379 – 10 x 40	4.64	9.28
7	tk	Sisekuuskant kraega polt ISO 7379 – 8 x 12	3.35	23.45
4	tk	Peitpea sisekuuskantpolt M6 x 30 DIN7991	0.64	2.56
8	tk	Vedruseib DIN 127 – A 6	0.06	0.48
24	tk	Seib DIN-125 – A 10,5	0.08	1.92
3	tk	Vedruseib DIN 127 – A 8	0.05	0.15
35	tk	Seib DIN-125 – A 8,4	0.04	1.4
16	tk	Seib DIN-125 – A 6,4	0.06	0.96
4	tk	Mutter DIN 934 – M10 x 1,5	0.1	0.4
2	tk	Lukkmutter DIN-985 – M6	0.035	0.07
7	tk	Lukkmutter DIN-985 – M10	0.13	0.91
12	tk	Lukkmutter DIN-985 – M8	0.065	0.78
2	tk	Mutter DIN 934 – M6 x 1	0.07	0.14
1	tk	Ekssentrikmutter M8 WIBERGER GN927-82 M8	20.85	20.85
Kokku:				87.52

8.4 Lipikasseti projekteerimise kulu

Lipikasseti projekteerimise kulu on kujutatud tabelis 8.7. Autor jagas kulud hinnanguliselt kui kaua võis mingi protsess aega võtta. Kuid kogu ajakulu oli 100 tundi.

Tabel 8.7 Projekteerimise kulu.

Tegevus	Ajakulu (h)	Tunnihind (€)	Hind kokku (€)
Eeltöö	15	35	525
Lahendusvariantide genereerimine	15	35	525
Lahendusvariantide analüüs	15	35	525
Projekteerimine	35	35	1225
Jooniste tegemine	20	35	700
Kokku:			3500

8.5 Kogukulud

Tabelis 8.8 on välja toodud konkreetse lipikasseti valmistamise kogukulud.

Tabel 8.8 Kogukulud.

Tootegrupp	Hind (€)
Projekteerimine	3500
Materjal	305.28
Tootmine	805
Ostukomponendid	3405.41
Kokku:	8015.69

Ostukomponentide hinnad on arvestatud koos käibemaksuga. Nagu tabelist 8.8 on näha on suur kulu ka projekteerimine kuid edaspidi seda lahendust kasutades oleks projekteerimise kulu pigem minimaalne. Võimalik, et tulevikus võib tekkida vajadus teha väikseid parandusi olemasolevas lahenduses, aga see kõik selguks alles peale seda kui lipikassett on realselt ka valmis tehtud ning esimesed suuremad testid on tehtud.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli optimeerida AS Hekotekile kuuluvat lipikasseti. Olemasoleva lahenduse optimeerimise vajadus tulenes viimasest projektis, kus kliendi soovil pidi paigutama lipiraamile 14 lipikasseti kõrvuti. Kuna lipikassetid kõrvuti ära ei mahtunud, pidi tegema 4 erinevat versiooni lipikassetist ja isegi siis jäi üks lipikasset reguleeritavaks, mida tulevikus nihutatakse vastavalt partiile õigesse kohta. Selleks, et tulevikus ei tekiks enam probleeme lipikassetide paigutamise, tuleks vähendada olemasoleva lipikasseti laiust.

Eesmärgi saavutamiseks hinnati esmalt kuidas konkurendid on sarnase olukorra lahendanud. Järgmisena pandi kirja nõuete loetelu, millest lähtuvalt hakati võrdlema erinevaid variante, mille tulemusena võiks väheneda olemasoleva lipikasseti laiust. Analüüsi tulemusena otsustas autor kasutada vaakumhaaratsit lippide haaramiseks ning lipi etteande lahenduse loogika jääks samaks nagu oli varasemalt.

Projekteerimise peatükis tehti esmalt vajalikud arvutused lipi etteande silindri dimensioneerimiseks ning peale seda alustati lipikasseti modelleerimisega. Modelleerimise käigus tehti ka tugevusarvutused komponentidele, mida optimeerimise käigus muudeti.

Lipikasseti juhtimise peatükis kirjeldati kasutatavaid elektri- ja pneumokomponente ning kirjeldati ka lipikasseti töötsükli.

Lipikasseti hinnakalkulatsiooni peatükis arvestati lipikasseti valmistamiseks kõik kulud kokku. Kuludeks on materjali kulu, tööaja kulu, projekteerimise kulu ja ostutoodete kulu. Lipikasseti valmistamise hinnaks saadi 8015,69 €. Antud hind sisaldab ka projekteerimise kulu, mis on 3500 €. Teoreetiliselt on võimalik seda kulu liigitada ka arenduse kuluks, sest tulevikus kasutades sama lahendust, on projekteerimise kulu minimaalne. Kuna lipikassette valmistatakse üldiselt mitu tükki korraga, siis sealt on võimalik samuti optimeerida valmistamise kulusid. – ma paneks: Kuna tavaliselt lipikassette valmistatakse korraga mitu tükki, siis ilmselt oleks tulevikus võimalik selle arvelt kulusid optimeerida.

Magistritöö tulemusena selgus, et lipikasseti kogulaius optimeeritud kujul on 295,5 mm. Varasemalt oli laius 424,5 mm, ehk optimeerimise tulemusena vähenes lipikasseti kogulaius 129 mm võrra.

Autori hinnangul sai lõputöö eesmärk täidetud.

SUMMARY

The aim of this master's thesis was to optimize the stick cassette owned by AS Hekotek. The need for optimizing the existing solution arose from the last project, where, at the customer's request, 14 stick cassettes had to be placed side by side on the stick frame. Since the stick cassettes could not fit side by side, four different versions of the stick cassette had to be made, and even then, one stick cassette remained adjustable, which would be shifted to the right position according to the batches in the future. In order to avoid future problems with the placement of stick cassettes, it was necessary to reduce the width of the existing stick cassette.

To achieve this goal, the author first evaluated how competitors had solved similar situations. Next, a list of requirements was drawn up, based on which various options for reducing the width of the existing stick cassette were compared. As a result of the analysis, the decision was made to use a vacuum gripper for picking up the sticks, while keeping the logic of stick delivery the same as before.

In the design chapter, the necessary calculations were first made for dimensioning the stick delivery cylinder, followed by the modeling of the stick cassette. Strength calculations were also made for the components that were modified during the optimization process.

The chapter on stick cassette control described the electrical and pneumatic components used and also described the operating cycle of the stick cassette.

In the chapter on stick cassette cost calculation, all costs for manufacturing the stick cassette were considered. These costs include material costs, labor costs, design costs, and purchase product costs. The manufacturing cost of the stick cassette was determined to be 8015.69 €. This price includes the design cost, which is 3500 €. Theoretically, this cost could also be classified as development cost because when using the same solution in the future, the design cost would be minimal. Since stick cassettes are generally manufactured in multiple pieces at once, it is also possible to optimize manufacturing costs there.

As a result of the master's thesis, it was found that the total width of the stick cassette in optimized form is 295.5 mm. Previously, the width was 424.5 mm, meaning that as a result of optimization, the total width of the stick cassette decreased by 129 mm.

In the author's opinion, the goal of the thesis was achieved.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

[1] Hekotek AS Kodulehekülg. [Võrgumaterjal] . <https://hekotek.ee/>.

[2] Hekotek AS. *Saematerjali sorteerimisliinid*. [Võrgumaterjal]
https://hekotek.ee/wp-content/uploads/2020/09/SAEMATERJALI_SORTEERIMISLIINID.pdf 24.02.2024.

[3] Hekotek AS ettevõtte failiserver.

[4] R.Varis, *The Sawmill Industry handbook*, Kirjakaari Oy, 2018.

[5] Springer kodulehekülg. [Võrgumaterjal] <https://www.springer.eu/en/about-springer>.

[6] Novilco kodulehekülg. [Võrgumaterjal] <https://www.novilco.com/>.

[7] USNR kodulehekülg. [Võrgumaterjal] <https://www.usnr.com/en/page/home?dt=1>.

[8] BID Group kodulehekülg. [Võrgumaterjal] <https://bidgroup.ca/en/about/>.

[9] BID Group. *Automatic stacker*. [Võrgumaterjal]
<https://bid.bidgroup.ca/equipment/automatic-stacker/>.

[10] Passimo kodulehekülg. [Võrgumaterjal] <https://www.passimo.com/>

[11] Schunk kataloog. [Võrgumaterjal] https://schunk.com/de/en/gripping-systems/parallel-gripper/c/PUB_8295?cspt0=tcsc&cspc0=seriesoverview&cspq0=%3Apriority%3AFacet_171_HUB_NENNWERT_KATALOG_copy%3A25+..+50%3AFacet__ANTRIEBSART_copy%3Apneumatic&cspfs0=PUB_8295.

[12] Schunk kataloog. [Võrgumaterjal] https://schunk.com/de/en/gripping-systems/parallel-gripper/phl/c/PGR_6331.

- [13] Schmalz kataloog. [Võrgumaterjal] <https://www.schmalz.com/en/vacuum-technology-for-automation/vacuum-components/area-gripping-systems-and-end-effectors/vacuum-area-gripping-systems-fm/area-gripping-systems-fm-sw-306896/10.01.11.00851/>.
- [14] Engineeringtoolbox kodulehekülg. [Võrgumaterjal] https://www.engineeringtoolbox.com/surface-volume-solids-d_322.html.
- [15] E. Saarman, U. Veibri, H. Unteral, K. Veermets, *Puiduteadus*. Tartu, 2006.
- [16]] R. Gomeringer, M. Heinzler, R. Kilgus, V. Menges, S. Oesterle, T. Rapp, C. Scholer, A. Stenzel, A. Stephan, F. Wieneke, *Mehaanikainseneri käsiraamat*. Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten, Saksamaa, 2021.
- [17] Festo kataloog [Võrgumaterjal] <https://www.festo.com/ee/en/>.
- [18] Riigiteataja. *Tuletööde tuleohutusnõuded*. [Võrgumaterjal] <https://www.riigiteataja.ee/akt/22764>.
- [19] Galv-est. *Kuumtsinkimine*. [Võrgumaterjal] <https://galv-est.ee/kuumtsinkimine/>.
- [20] Fractory. *Terase omadused*. [Võrgumaterjal] <https://fractory.com/et/terase-s235-s275-s355-s420-vahe-ja-nende-omadused/>.
- [21] TTHK kodulehekülg. [Võrgumaterjal] https://www.tthk.ee/PLC_LOGO/.
- [22] Siemens kataloog. [Võrgumaterjal] <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ED1052-1HB08-0BA2>.
- [23] Festo kataloog. [Võrgumaterjal] https://www.festo.com/ee/en/p/proximity-switch-id_SDBT_MSX/?q=%7E%3AfestoSortOrderScored.
- [24] Schmalz kataloog. [Võrgumaterjal] https://pimmedia.schmalz.com/MAM_Library/Dokumente/Bedienungsanleitung/30/3030/303001/30300100422/BAL_30.30.01.00422_en-EN.pdf.

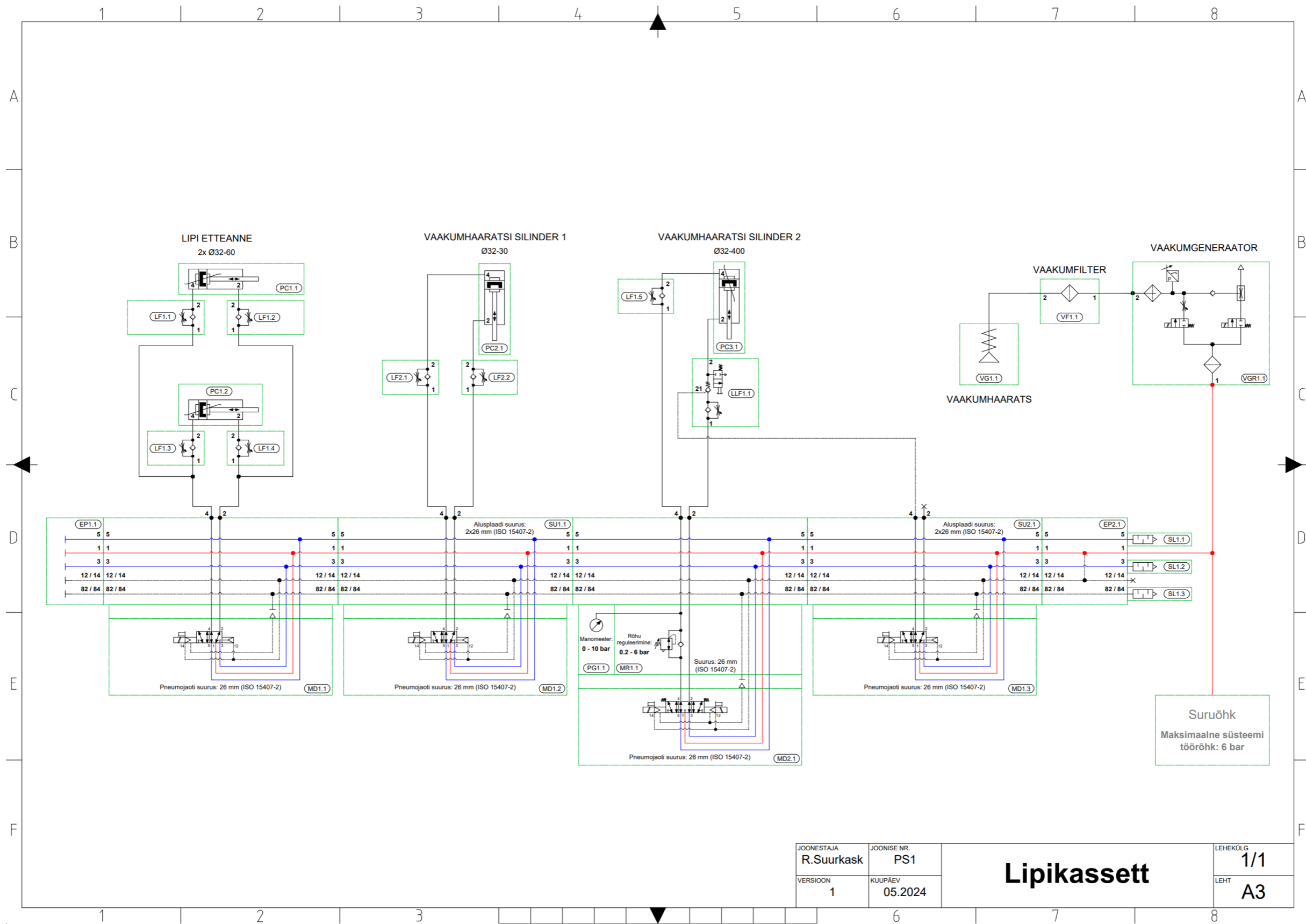
LISAD

Lisa 1. Pneumokomponendid

Pos.	Kood	Kirjeldus	tk
EP 1	CPX-M-EPL-EV (550212)	Alusplaadi lõpuplaat (pime), vasakpoolne, kõik pordid suletud	1
EP 2	VABE-S6-1R-G12 (539234)	Alusplaadi ühendusplaat, parempoolne, pordid 1, 3, 5: G 1/2" (sisek.), port 12/14: suletud, port 82/84: G 1/4" (sisek.)	1
LF 1	AS2201FS-01-08SA	Drossel, 1-suunaline, 90°, port 1: Ø8 mm, port 2: 1/8" NPT (välisk.), töö rõhk: 1...10 bar, töötemperatuur: -5...+60°C	5
LF 2	AS1201FS-M5-06A	Drossel, 1-suunaline, 90°, port 1: Ø6 mm, port 2: M5x0.8 (välisk.), töö rõhk: 1...10 bar, töötemperatuur: -5...+60°C	2
LLF 1	VFOF-LE-BAH-G18-Q6 (8001459)	Lukk + drosselklapp, 1-suunaline, port 1, 21: Ø6 mm, port 2: G 1/8" (välisk.), töö rõhk: 0.2...10 bar, piloodi töö rõhk: 2...10 bar, töötemperatuur: -10...+60°C	1
MD 1	VSVA-B-M52-AZD-A1-1T1L (539158)	Elektriline pneumojagaja (jaoti), 5/2, suurus: 26 mm (ISO 15407-2), toitepinge: 24V DC, töö rõhk: -0.9...10 bar, piloodi töö rõhk: 3...10 bar, töötemperatuur: -5...+50°C	3
MD 2	VSVA-B-P53E-ZD-A1-1T1L (539161)	Elektriline pneumojagaja (jaoti), 5/3, suurus: 26 mm (ISO 15407-2), toitepinge: 24V DC, töö rõhk: -0.9...10 bar, piloodi töö rõhk: 3...10 bar, töötemperatuur: -5...+50°C	1
MR 1	VABF-S4-1-R3C2-C-6 (540156)	Moodul rõhuregulaator, suurus: 26 mm (ISO 15407-2), rõhu reguleerimisvahemik: 0.2...6 bar, max töö rõhk: 10 bar, töötemperatuur: -5...+50°C	1
PC 1	ADN-32-60-A-PPS-A (572662)	Pneumosilinder („kompaktne“), kahepoolse toimega, kolvi läbimõõt: Ø32 mm, silindri käigupikkus: 60 mm, amortisaatorid: PPS (2-poolne, isereguleeruv, 4 mm), ühendusportid: G 1/8" (sisek.), silindri varre keere: M10x1.25 (välisk.), töö rõhk: 1.5...10 bar, töötemperatuur: -20...+80°C	2
PC 2	ADN-S-32-30-A-P-A (8091454)	Pneumosilinder („kompaktne“), kahepoolse toimega, kolvi läbimõõt: Ø32 mm, silindri käigupikkus: 30 mm, amortisaatorid: P (2-poolne, mitte reguleeritav), ühendusportid: M5x0.8 (sisek.), silindri varre keere: M10x1.25 (välisk.), töö rõhk: 0.6...10 bar, töötemperatuur: 0...+60°C	1

PC 3	DSBC-32-400-PPSA-N3 (1376477)	Pneumosilinder (ISO 15552), kahepoolse toimega, kolvi läbimõõt: Ø32 mm, silindri käigupikkus: 400 mm, amortisaatorid: PPS (2-poolne, isereguleeruv, 17 mm), ühenduspidid: G 1/8" (sisek.), silindri varre keere: M10x1.25 (välisk.), töö rõhk: 0.6...12 bar, töötemperatuur: -20...+80°C	1
PG 1	PAGN-26-10-P10 (543488)	Manomeeter, mõõtevahemik: 0...10 bar, ühendus: Ø10 mm (kiirühendus, stopper- rõngaga), mõõtetäpsus: klass 4, töötemperatuur: -20...+60°C	1
SL 1	U-1/2-B (6844)	Summuti, ühendus: G 1/2" (välisk.), helitase: 81 dB(A), töö rõhk: 0...10 bar, töötemperatuur: -10...+70°C, sisumaterjal: PE (polüetüleen)	2
SL 2	AMTE-M-H-G14 (1206623)	Summuti, ühendus: G 1/4" (välisk.), helitase: 95 dB(A), töö rõhk: 0...10 bar, töötemperatuur: -40...+80°C, sisumaterjal: pronks	1
SU 1	VABV-S4-1HS-G14-2T1 (546210)	Alusplaat, suurus: 26 mm (ISO 15407-2), jagaja kohtade arv: 2 tk, aadresside arv: 2 (2 jagajat, 1-e mähisega)	1
SU 2	VABV-S4-1HS-G14-2T2 (546211)	Alusplaat, suurus: 26 mm (ISO 15407-2), jagaja kohtade arv: 2 tk, aadresside arv: 2 (2 jagajat, 2-e mähisega)	1
VF 1	VFI CN8/6 50	Vaakumfilter (vahetatavate filtrielementidega), filtreerimisaste: 50 µm pordid 1, 2: Ø8 mm, töö rõhk: -1...7 bar	1
VG 1	FM-SW 76x22 4x6 0.4 N10	Vaakumhaarats, laius: 22 mm, pikkus: 76 mm, vaakumpadja materjal: Foam N (kõrgus: 10 mm), imuavade arv: 26 tk	1
VGR 1	SCPS 15 G02 NC M12-5 PNP	Vaakumgeneraator, klapid: N.C., pordid 1, 2: G 1/8" (sisek.), max vaakum: -0.85 bar, töö rõhk: 3...6 bar, elektriühendus port: M12x1 (5-pin), toitepinge: 24V DC, signaal: PNP	1

Lisa 2. Pneumoskeem



JOONESTAJA R.Suurkask	JOONISE NR. PS1	Lipikassett	LEHEKÜLG 1/1
VERSIOON 1	KUUPÄEV 05.2024		LEHT A3

GRAAFILINE OSA

1. Peakost 0250.001.00.01

2. Lipi tõukur 0250.001.01.60

3. Puks 0250.001.01.111

4. Õhuvooliku kinnitus 0250.001.01.116

5. Lipi etteande raam 1 0250.001.01.80