



TALLINNA TEHNICAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
Instituudi nimetus

**LIIMITUSSEADME PROJEKTEERIMINE
PUIDUTEHNOLOOGIA LABORILE**

**DESIGNING A GLUE SPREADER FOR THE LABORATORY
OF WOOD TECHNOLOGY**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Kärt Kängsepp

Üliõpilaskood 201560MATM

Juhendaja: Maarjus Kirs, teadur

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad,

kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

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

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

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

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

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

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Kärt Kängsepp

Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Liimitusseadme projekteerimine puidutehnoloogia laborile, mille juhendaja on Maarjus Kirs

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.

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

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

_____ (kuupäev)

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

TalTech Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Kärt Kängsepp, 201560MATM

Õppekava, peeriala: MATM02/2018 Tootearendus ja tootmistehnika

Juhendaja(d): Teadur, Maarjus Kirs, 6203256

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Liimitusseadme projekteerimine puidutehnoloogia laborile

(inglise keeles) Designing a glue spreader for the laboratory of wood technology

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Erinevate ühepoolsete liimitussüsteemide analüüs
2. Sobiva liimitussüsteemi valimine
3. Prototüübi ehitamine ja esmased katsed
4. Liimitussüsteemi projekteerimine

Lõputöö etapid ja ajakava:

| Nr | Ülesande kirjeldus | Tähtaeg |
|----|---|---------|
| 1. | Teema tutvustus, ülevaade | 29.09 |
| 2. | Prototüübi peal katsetamine | 28.10 |
| 3. | Teoreetiline osa (reoloogia, arvutused jne) | 15.12 |
| 4. | Liimitussüsteemi osade valik | 29.12 |
| 5. | Liimitussüsteemi projekteerimine | 29.12 |
| 6. | Lõputöö vormistamine | 02.01 |

Töö keel: Eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: 02.01.2023

Üliõpilane: Kärt Kängsepp ".....".....20.....a
/allkiri/

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

Konsultant: ".....".....20.....a
/allkiri/

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

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

| | |
|--|----|
| EESSÕNA..... | 8 |
| Lühendite ja tähiste loetelu..... | 9 |
| 1. SISSEJUHATUS..... | 10 |
| 2. VINEERI TOOTMISE PROTSESS..... | 11 |
| 3. INSENERIPUIDU LIIMITAMINE..... | 13 |
| 3.1 Liimitamise meetodid..... | 13 |
| 3.1.1 Valtskatmine..... | 13 |
| 3.1.2 Kardinatüüpi (kosk-) liimitaja..... | 14 |
| 3.1.3 Ekstrusioonkatmine..... | 16 |
| 3.1.4 Pihustuskatmine..... | 17 |
| 4. PROJEKTEERIMISE VAJADUSE KINDLAKS MÄÄRAMINE..... | 21 |
| 4.2 Turu-uuring..... | 22 |
| 4.2.1 Awutek..... | 22 |
| 4.2.2 Raute Oy..... | 23 |
| 4.2.3 OEST GmbH..... | 24 |
| 4.2.4 Järeldus..... | 25 |
| 4.3 Liimitusseadme nõuded..... | 25 |
| 5. PUIDUTEHNOLOOGIA LABORI LIIMITUSSEADME PROJEKTEERIMINE..... | 28 |
| 5.1 Musta kasti diagramm..... | 28 |
| 5.2 Morfoloogiline maatriks..... | 29 |
| 5.3 Liimitussüsteemide hindamine..... | 30 |
| 5.3.1 Variant 1..... | 30 |
| 5.3.2 Variant 2..... | 31 |
| 5.3.3 Variant 3..... | 31 |
| 5.4 Hindamismaatriks..... | 32 |
| 6. TEOREETILINE JA KATSELINE OSA..... | 34 |
| 6.1 Viskoossus..... | 34 |
| 6.2 Njuutoni ja mitte-njuutoni vedelikud..... | 35 |
| 6.3 Voolamise režiimid..... | 36 |
| 6.4 Liimiekstruuderi parameetrid kirjandusest..... | 37 |

| | |
|---|----|
| 6.5 Katseline osa | 38 |
| 6.5.1 Esimene prototüüp..... | 39 |
| 6.5.2 Teine prototüüp..... | 40 |
| 6.5.3 Kolmas prototüüp..... | 42 |
| 6.5.4 Voolamise režiim katseseadmes..... | 44 |
| 6.5.5 Järeldused | 44 |
| 7. LIIMITUSMASINA OSADE PROJEKTEERIMINE MATERJALI VALIKUGA | 46 |
| 7.1 Liimitaja pea ehk liimireservuaar..... | 46 |
| 7.1.1 Materjal | 46 |
| 7.1.2 Vooluhulk avadest ja ava suurus | 46 |
| 7.1.3 Reservuaari suurus ja kuju | 49 |
| 7.1.4 Kinnitamine raami külge | 53 |
| 7.2 Liimikogumise anum | 53 |
| 7.3 Masina raam..... | 54 |
| 8. PUMBA ARVUTUSED JA VALIK..... | 57 |
| 8.1 Pumba valik | 57 |
| 8.2 Pumba tööarakteristikud..... | 59 |
| 8.2.1 Vooliku materjal..... | 60 |
| 8.2.2 Survekaod pumbast manifoldini..... | 60 |
| 8.2.3 Survekaod manifoldist liimitaja peani..... | 61 |
| 8.2.4 Liimitaja pea ehk reservuaari survekaod..... | 62 |
| 8.2.5 Kogu süsteemi survekadu..... | 63 |
| 8.2.6 Pump | 64 |
| 9. KONVEIERI AJAMI ARVUTUS | 67 |
| 10. LIIMITUSSÜSTEEMI HIND..... | 69 |
| KOKKUVÕTE..... | 70 |
| SUMMARY | 71 |
| KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU | 72 |
| LISAD..... | 75 |
| GRAAFILINE OSA | 77 |

EESSÕNA

Käesolev magistritöö kujunes välja koostöös Tallinna Tehnikaülikooli Puidutehnoloogia laboriga. Labor tegeleb vineeri katsetamisega ja vajab ühepoolset liimitussüsteemi, mis oleks täpne ja võimaldab liimi kogust spoonile lihtsalt muuta. Töö käsitleb erinevate liimitusmeetodite plusse ja miinuseid, liimimasina valikut ja projekteerimist. Katseline osa sooritatakse isetehtud prototüübi peal Puidutehnoloogia laboris.

Soovin tänada oma juhendajat Maarjus Kirsi, kes oli abiks nõu ja jõuga. Eriti suur tänu igapäevaste kohtumiste eest, mis mind palju motiveerisid.

Veel soovin tänada Ivar Annust, kes mitmeid kordi rahulikult seletas hüdraulika põhialuseid.

Võtmesõnad: spooni liimimine, ühepoolne liimitus, liimiekstrusioon, magistritöö

Lühendite ja tähiste loetelu

CLT – cross laminated timber ehk ristkihtpuit

LVL – laminated veneer lumber ehk lamineeritud vineerpuit.

PF – phenol-formaldehyde

FF - fenoolformaldehüüd

UF - karbamiid

MUF – melamiin-karbamiid

PVA – polüvinüülatsetaat

XLPE – ristseotud polüetüleen

PTFE – polütetrafluoroetüleen

UPE - kõrgmolekulaarne polüetüleen

1. SISSEJUHATUS

Eestis on vineeri toodetud juba pikka aega, aastatel 1877 – 1940 asus Tallinnas Lutheri vineerivabrik, mis oli vineeri tootmise tehnoloogia arendaja ja edasiviija. [1] Hetkel on Eestis seitse spooni ja vineeritootjat. [2] Nende tooteid kasutavad nii kohalikud mööblitootjad kui seda ka eksporditakse.

Aastal 2021 toodeti Eestis spooni ja vineeri kokku 186 200 m³. Vineeri toodangumaht kasvas 16% võrreldes eelmise aastaga ja on viimaste aastate lõikes olnud pidevas kasvus. [3]

Ka globaalselt näitab inseneripuidu (k.a. vineeri) kasutus tõusutrendi. Seoses inimeste arvu suurenemisega maailmas ja kasvava linnastumise trendiga, ehitatakse rohkem maju, kusjuures kõrgemaid elumaju [4], vajatakse rohkem mööbli ja muid tarbekaupu. Puit kui „roheline“ alternatiiv erinevatele materjalidele leiab üha rohkem kasutust.

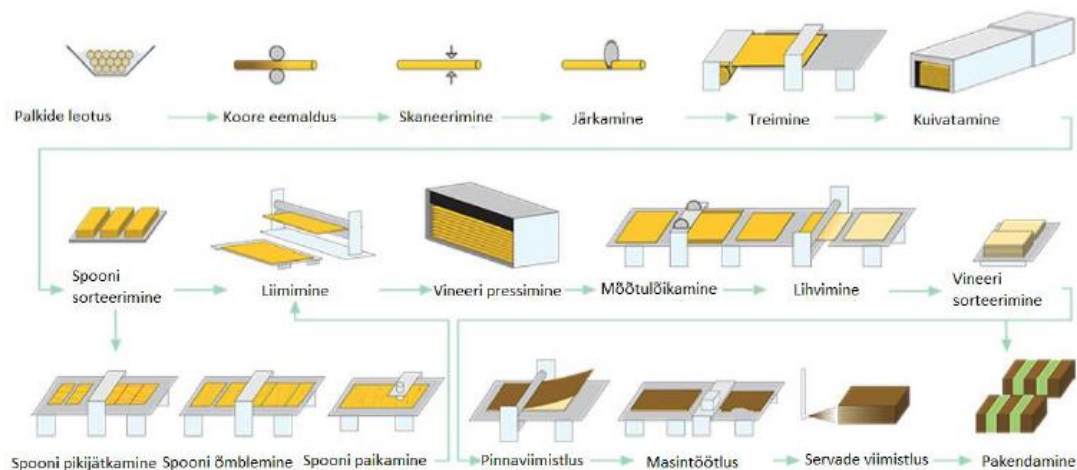
Aastal 2018 avati Puidumajas täisliiniga spooni- ja vineeritootmise teadus- ja arenduskeskus. Sellest ajast alates on Taltech'i Puidutehnoloogialaboris tegeletud inseneripuidu katsetustega alates protsessi algusest: vineeri valmistamisest. Vineeri valmistamisest on antud magistritöös tehtud lühike ülevaade.

Puidutehnoloogialaboris teevad teadustööd põhiliselt tudengid ja katseid tehakse nii diplomitööde raames kui ka firmade tellimuste peale. Teadustöö on täppistöö ja kõik protsessi parameetrid peavad olema hästi mõõdetavad. Spooni liimitamise protsess toimub puidutehnoloogialaboris hetkel valtskatmise meetodil. Kuna valts on üsna vana, siis on sellel raske määrata täpset liimikogust, mida protsessis kasutatakse. See omakorda vähendab teadustööde täpsust. Samuti on valtskatmine liimitamissüsteemidest kõige suurema liimikuluga.

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on projekteerida Tallinna Tehnikaülikooli Puidutehnoloogia laborile optimaalne inseneripuidu liimitamismasin, mis võimaldab lihtsasti liimitada erineva paksusega puitmaterjale.

2. VINEERI TOOTMISE PROTSESS

Vineer on õhukestest puidulehtedest ehk spoonidest kokku liimitud plaat. Spoonid jagunevad hõvel- ja treispooniks, olenevalt nende lõikamise viisist. Sele 2.1 tutvustab treispoonist vineeri tootmise protsessi.



Sele 2.1. Vineeri tootmise protsess (kohandatud veebilehelt ForestBioFacts) [5]

Esimene etapp on palkide leotus. Palke leotatakse kas kuumas vees või kuuma auruga ja protsessi eesmärk on muuta puit plastsemaks ja seega lõikeprotsessis kergemini töödeldavaks. Samuti on nii koorimise kui ka spooni kvaliteet parem. Edasi toimubki palgi koorimine. [5]

Lõikeprotsessiks on paku treimine. Treimine on põhimõtteliselt puutüve koorimine seni kuni treimasin võimaldab. Treimise tulemus on pikk spoonilint. Olenevalt tootmise eripäradest toimub spooni mõõtu lõikamine kas enne või peale spoonilehe kuivatust. Peale lõikamist toimub lehtede erinevasse kvaliteediklassi määramine ja defektide parandamine. Võimalus on ka ühendada erinevate suurustega tükke sobivaks mõõduks. Vastavalt tootmisele liigub siis spoon kuivatusse kas juba tellimuse mõõtu lõigatuna või kuivatile sobiva mõõduga. Spoon kuivatatakse tavaliselt niiskussisalduse 4-8% juurde, olenevalt puiduliigist.[5]

Edasi liimitakse spoonilehed vineerplaadiks. Vineeriks liimitakse tavaliselt paaritu arv lehti, mis on asetatud omavahel nii, et spoonide kiudude suunad oleks üksteisega risti.[6] Fenoolfomaldehüüdvaik (FF, inglisekeelne lühend PF) on laialdaselt kasutatud liim vineeritööstuses, kuna on ilmastikukindel. [6] Kasutatakse ka karbamiidformaldehüüd- ja melamiin-karbamiidformaldehüüdvaiku. Nende liimide puhul kasutatakse spoonilehtede vineeriks pressimiseks kuumpressimise meetodit. FF vaigu

puhul on kuumus kõrgem (125 – 135 °C) kui karbamiid/melamiin liimidel (100 – 120 °C). Peale liimitamist vineeriplaadid lihvitakse, lõigatakse mõõtu ja servad sirgendatakse. Tellimuse või tootmise kohaselt tehakse plaadile vajalik pinnaviimistlus, nt. pind lamineeritakse, kantakse peale värv või antakse pinnale tulekindlus. [6]

3. INSENERIPUIDU LIIMITAMINE

Liimitamine on vineeri tootmise juures üks olulistest etappidest ja mõjutab ka järgmiseid etappe nagu nt. pressimine. [7]

Liimitamise kvaliteet ja liimi kogus (g/m^2 spoonilehe kohta) olenevad puiduliigist, puidu niiskusest, temperatuurist, liimisevast ja erinevate protsesside parameetritest:

- a) Koorimise kvaliteet - karedale spoonile kulub suurem kogus liimi
- b) Protsesside vaheline aeg - kuumale spoonile ($>35^\circ\text{C}$) peab panema rohkem liimi, kuna kuumusega liim kuivab kiiremini ja kaotab adhesioonivõimet
- c) Kuivatamise kvaliteet - üle kuivatatud või ebaühtlaselt kuivatatud spoon vajab rohkem liimi, et saavutada piisav liimi pealekanne [6]

Spoonide temperatuur ja niiskuse sisaldus peaks olema liimimise ajal ühtlane. [8]

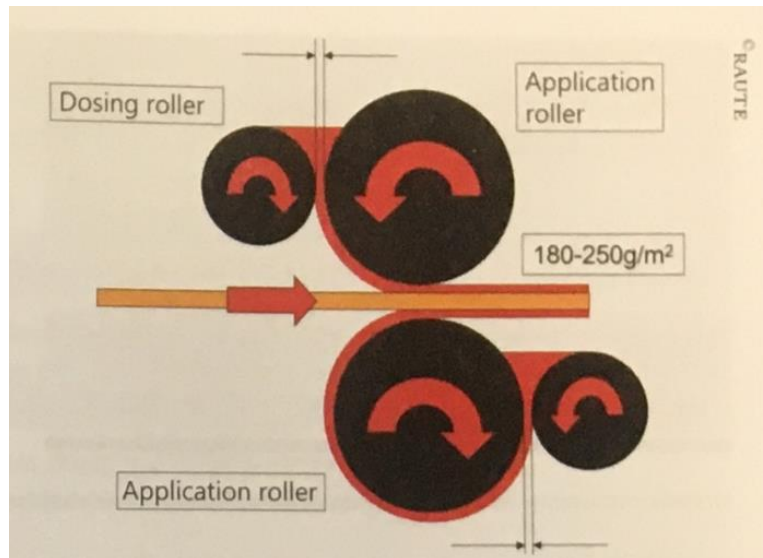
3.1 Liimitamise meetodid

Spoonide liimimiseks on kasutusel mitmed meetodid. Tööstuslikult on levinumad valtskatmine (roller coating), kardinatüüpi katmine (curtain coating) ja ekstrusioonkatmine (extruder application, glue extrusion). Harvemini on kasutusel pihustuskatmine (spray spreading) või vahtkatmine (foam extrusion). [9]

Valtskatmine on ainuke liimitusviis, mis võimaldab liimitada korruga spooni lehe mõlemat poolt. Teised meetodid liimitavad korruga vaid ühte külge.[9]

3.1.1 Valtskatmine

Valtskatmine on traditsiooniline spoonide liimitamise meetod. Liimirullid töötavad paaris ja pöörlevad liiniga samas suunas. Spoon söödetakse rullide vahele, mis tootmises juhivad spoonikihi edasi kokkupaneku tsooni. Olenevalt sellest, mitu rulli masinas on, erineb ka tööpõhimõte. Nt. neljarullises liimitajas liigub paar väikseid doseerimisrulle teistpidi suunal kui konveier, andes liimi peale suurematele jaotus- (liimimis-) rullidele. Kahe rullilises süsteemis doseeritakse liimi künast alumisele rullile, mis omakorda kannab liimi ülemisele rullile. Nelja rulliga süsteemi jaotusvaltsid on kaetud soonilise kummiga ja rullide vahet reguleeritakse spooni paksusele vastavalt (vt. seletust 3.1). Doseerimisrullid on kroomitud. [9]



Sele 3.1. Neljarullilise valtsliimitaja tööpõhimõte. Dosing roller = doseerimisrull; Application roll = jaotusrull või pealekandmisrull; 180 – 250 g/m² näitab pealekantava liimi kogust. Nool näitab, kuhu suunas ja kust liigub liimitatav materjal [9]

Valtskatmise eeliseks loetakse seda, et masin võtab vähe ruumi ja tema esmane investeering on madalam võrreldes teiste liimitajatega. Peale kantav liimi kogus on vahemikus 150 – 250 g/m². Seda mõjutab liimi viskoossus ning spooni paksus ja karedus. [9]

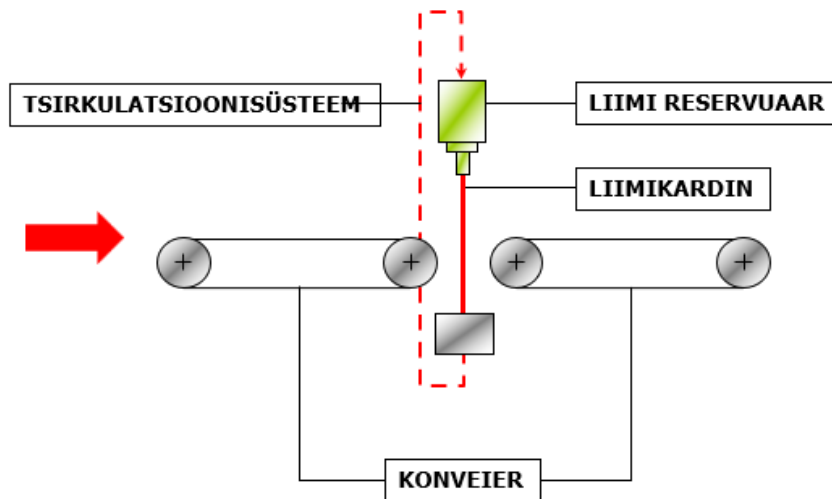
Erinevate spooni paksuste korral tuleb rullide survet reguleerida. Kui spoon on kaardus või laineline võib juhtuda, et see praguneb rullide vahel. Pragusid saab hilisemas töötlemisprotsessis parandada. Kui spooni paksus on plaadi ulatuses ebaühtlane, siis jääb ka liimikate ebaühtlane. [6]

Valtskatmise puhul on raske märgata liimitamata kohti. [9]

3.1.2 Kardinatüüpi (kosk-) liimitaja

Kardinatüüpi liimitaja töötab põhimõttel, et liim voolab konstantselt liimireservuaarist välja läbi peenikese pilu mahuti põhjas, moodustades liimikose ehk liimikardina. [6] Spoon liigub konveieri peal ühtlaselt kardina alt läbi ja kaetakse selle käigus ühtlase liimi kogusega. Kardinatüüpi liimitaja süsteemi on näha seel 3.2 ja 3.3.

Ülejäänud liim kogutakse nõusse, kust pumbatakse tagasi liimi reservuaari.



Sele 3.2. Kardinatüüpi liimitaja tööpõhimõte (pilt: Elmag Lacquering Manual, scm group)

Kardina tüüpi liimitajad jagunevad kaheks: survel (pressure head) ja gravitatsioonil (gravity head) töötavateks süsteemideks.

Survel töötava süsteemi aluseks on V-kujuline reservuaar, mille alumist laiust saab reguleerida. Selle põhjas on äravõetav kate, et muuta süsteem vajadusel õhukindlaks. Adhesiivid pumbatakse reservuaari teatud, muudetaval, kiirusel. Liimi jaotuse määrab reservuaari pilu suurus (knife gap), pumba kiirus ja liimi viskoossus.

Gravitatsioonil töötav süsteem on üsna sarnane, kuid selle puhul ei saa reguleerida kose kiirust (velocity), kiiruse määravad liimi mass ja kõrgus (spooni ja reservuaari vahe).

[10]

Kardinkatmise meetodi pluss on see, et see ei lõhu spooni ja masinat ei pea seadistama erinevatele spooni paksustele nagu valtskatmise puhul. Seega on sellisel meetodil võimalik toota ka ristkihtpuitu (CLT) ja lamineeritud vineerpuitu (LVL – laminated veneer lumber), mille liimitavad plaadid on paksemad kui vineeriks toodetaval spoonil.

Samuti on liimi kadu väike, kuna ülejäänud liim pumbatakse koheselt süsteemi tagasi.

[10]

See süsteemi kasutatakse rohkem viimistluses, nt. värvide peale kandmiseks. [10]



Sele 3.3. Liimikardin (foto: UPM, Soome)

3.1.3 Ekstrusioonkatmine

Ekstrusioonliimitaja on ühepoolne katmise meetod, kus adhesiiv liigub läbi doseerimispumba ühtlasel kiirusel. Kuna ekstrudeerimise puhul koosneb liimi kardina liimi varrastest, siis kutsutakse seda vahel „spageti“-tüüpi liimitamiseks.[10] Liimiribade tööstuslikus liimitajas on näha seel 3.4. Liimikardina ja liimiribade erinevus on toodud seel 3.5.

Ekstrusiooni on kahte tüüpi, see jaguneb vedel-ekstrusiooniks (liquid extrusion) ja vaht-ekstrusiooniks (foam extrusion). [9]

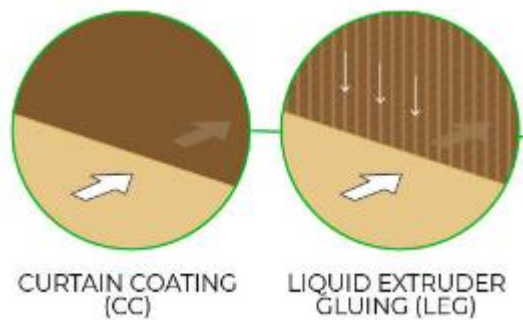
Vedel-ekstrusiooni vooluhulka saab reguleerida samade parameetritega kui kardina tüüpi liimitajal – avade suurus, pumba kiirus ja liimi viskoossus. Sobib hästi väga reaktiivsete liimidega, mida kasutatakse vineeri ja LVL-i tootmises. [9]

Vahtkatmise puhul voolab liim läbi „vahustaja“ (foamer), kus liimi maht suureneb viiskümmend korda ja liimi erikaal väheneb 1,1-lt 0,2-ni. Edasi ekstrudeeritakse liim spoonile või puidukihile. Ca 260 individuaalset varrast läbimõõduga 2,54mm on vaja, et katta ca 1270mm spoonileht. [10]

Vahtkatmise eelis on vähene ja ühtlane liimikogus, kuid esmane investeering on suur. Selline liimitamine sobib suurte koguste katmiseks suurel kiirusel.[9]



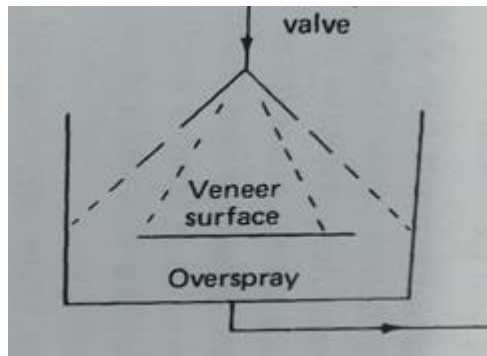
Sele 3.4. Ekstrusioonkatmine (foto: Raute, Soome)



Sele 3.5. Kardina tüüpi ja ekstrusioonkatmise erinevused. Kardina tüüpi katmise puhul (vasakul) voolab liim ühtlase kardinana. Ekstrusioonliimitamise korral (paremal) voolab liim eraldi lõimedena. [11]

3.1.4 Pihustuskatmine

Pihustuskatmine (spray coating) hõlmab endas pihustussüsteemi, mis võimaldab pihustada liimijuga laiali. Pihustussüsteem on fikseeritud ostikuga aplikaator. Otsiku rõhk on tihti umbes 21 kg/cm² või rohkem. Pihustussüsteemid töötavad kahel viisil: 1) adhesiiv on segatud pihustatud õhuga (atomized air); 2) õhuvaba – adhesiiv pihustatakse kõrgsurvega, mis surub liimi läbi pihusti otsiku. [10] Põhimõte on näidatud seel 3.6.



Sele 3.6. Pihustussüsteemi näide spoonil: veneer surface – spooni pind, valve – ventiil, overspray - ülepihustus

3.2 Liimi kogused erinevatel meetoditel

Nagu eelnevalt välja toodud, siis liimi kogus oleneb nii liimitatavast materjalist kui ka meetodist. Tabel 1 toob välja keskmised liimikogused erinevate liimitussüsteemide puhul ja erinevused leht- ja okaspuidu osas.

Tabel 1. Liimi pealekandmise meetodile vastav liimi kogus.

| Pealekandmise viis | Lehtpuidule (g/m ²) | Okaspuidule (g/m ²) |
|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Vahtekstrusioon | 115 | 125 |
| Vedel ekstrusioon | 140 | 160 |
| Kardina tüüpi (kosk) katmine | 160 | 180 |
| Pihustuskatmine | 160 | 180 |
| Valtskatmine | 160 | 200 |

Vastavalt Raute Corporation (2008). Latest development in gluing. EWPA Annual General Meeting [12]

3.3 Liimimeetodite võrdlus

Parema ülevaate saamiseks on erinevate liimitusmeetodite head ja vead välja toodud allolevates tabelites. Tabel 2 näitab liimitusmeetodite plusse ja Tabel 3 näitab miinuseid.

Tabel 2. Erinevate liimitussüsteemide plussid

| Valts | Kardin | Vahtekstrusioon | Vedel-ekstrusioon | Pihustus |
|---|--|--|---|--|
| Usaldusväärne | Saab liimitada eri paksusega spooni korruga. | Saab liimitada eri paksusega spooni korruga. | Saab liimitada eri paksusega spooni korruga. | Saab liimitada eri paksusega spooni korruga. |
| Masin on kompaktne ja võtab vähe ruumi | Sobib ka CLT ja LVL-I liimitamiseks | Sobib ka CLT ja LVL-I liimitamiseks | Sobib ka CLT ja LVL-I liimitamiseks | Sobib ka CLT ja LVL-I liimitamiseks |
| Esmane investering on madal | Suhteliselt väike liimikulu ja kasutatud liim suunatakse süsteemi tagasi | Väike liimikulu ja kasutatud liim suunatakse süsteemi tagasi | Väiksem liimikulu ja kasutatud liim suunatakse süsteemi tagasi | Väiksem liimikulu ja kasutatud liim suunatakse süsteemi tagasi |
| Rullide vahe annab märku, kui spoon on vale mõõduga | Saab liimitada "lainelist" materjali | Saab liimitada "lainelist" materjali | Saab liimitada "lainelist" materjali | Saab liimitada "lainelist" materjali |
| | Lihtne hooldada | Suhteliselt puhas protsess | Suhteliselt puhas protsess | |
| | Liimi hulka on lihtne reguleerida | | Seade on lihtsa konstruktsiooniga | |
| | | | Liimi aurustumise ala väiksem kui teistel protsessidel, seega võib liimituse ja pressimise vaheline aeg olla pikem kui teistel meetoditel | |
| | | | Sobib suurele viskoossusvahemikule | |

Tabel 3. Erinevate liimitusmeetodite miinused

| Valts | Kardin | Vahtekstrusioon | Vedel-ekstrusioon | Pihustus |
|---|---|---|--|--|
| Suurem liimikogus kui teistel meetoditel | Mitmed tegurid võivad tekitada kardinasse augud, jättes spoonile liimitamata alad (vales vahekorras segatud liim, õhutõmme jne) | Avade ummistumine võib teha liimituse ebaühtlaseks | Avade ummistumine võib teha liimituse ebaühtlaseks | Liimi ebaühtlane jaotus |
| Aeglane algus - erineva paksustega spooni puhul tuleb seadistust muuta | Liimi filtreerimissüsteem peab olema hea ja liimis ei tohi olla mulle | Otsikute ummistumine teeb hoolduse keeruliseks | Otsikute ummistumine teeb hoolduse keeruliseks | Avade ummistumine võib teha liimituse ebaühtlaseks |
| Spoon peab olema väga ühtlane (lame). Ebaühtluse korral võib spoon kergelt puruneda | Esmane investeering kõrge | Esmane investeering kõrge | Täpse liimikoguse saavutamine liimireservuaari laiuses võib olla keeruline | Otsikute ummistumine teeb hoolduse keeruliseks |
| Raske märgata liimitamata alasid | Liimi viskoossus peab olema täpne | Liimi omadused halvenevad kiiresti | | Esmane investeering kõrge |
| | | Liimi retsirkuleerimiseks on vaja enne liimist vaht eemaldada | | Töö piirkond vajab puhastust, kuna liim pritsib |

Nii positiivsed kui ka negatiivsed aspektid on kohandatud Baldwini ja Varise järgi. [9], [10]

4. PROJEKTEERIMISE VAJADUSE KINDLAKS MÄÄRAMINE

Projekteerimise tingimuseks võib olla kas mingi olemasoleva süsteemi edasi arendamine, kas siis paremaks, lihtsamaks, odavamaks, või uue süsteemi loomine. Projekteerimine algab mingi vajadusega. Kui vajadus on olemas, hakatakse otsima sobivaid lahendusi.

4.1 Lähteülesanne

Üks oluline osa Puidutehnoloogia labori teadustööst on vineerikatsetused. Vineeri tootmine koosneb mitmest etapist, mida kõiki oleks võimalik parendada, kuid hetkel laboris käimasolevate projektide raames on fookusesse võetud liimitamine. Spooni liimimiseks kasutatakse laboris liimivaltse (sele 4.1).



Sele 4.1. Laboris kasutusel olev liimitusseade (valtsid)

Kuigi valtsimismeetodil on palju plusse, on laboriseadmehel ka omad miinused. Nagu eelnevalt välja toodud, peavad spoonid olema liimitamiseks väga ühtlased, rullide vahel võib puruneda juba väike lainetus.

Labori liimitusrullidele pole võimalik ette anda kindlat liimi kogust. Liimikogus arvutatakse m² järgi ja korrutatakse läbi kuluprotsendiga. Liim valatakse rullide peale

(täpsemalt seletatud alapeatükis 3.1.1), spoonid lastakse rullide vahelt läbi ja kaalutakse, et teada saada, kas spoon sai piisavalt liimi. Alles peale liimirulle on näha, kas liim on spoonil ühtlane ja mis on liimikogus. Kui liim on jäänud ebaühtlane või liimikogus on liiga suur või liiga väike, mõjutab see järgmist operatsiooni – pressimist, mis omakorda mõjutab kogu vineeri kvaliteeti.

Valtsid on 673mm laiad ehk maksimaalne spooni laius saab olla kuni 673mm. Labori press on mõõduga 900 x 900 mm ehk toota saaks vineeri, mille mõõdud mahuvad pressi vahele (kuni 900 x 900 mm).

Kui vaadelda liimitust majanduslikust ja ressursi säästvast perspektiivist, siis tuleks liimi kasutada võimalikult vähe, nii et säiliks vineeri vajalikud omadused. Kui võrrelda tööstusega on labori kasutatavad kogused väikesed ja kasutuskorrad „juhulikud“ ehk liim ei tööta kindlas rütmis, millega tuleks ka arvestada liimitussüsteemi valikul.

Eelnevat arvesse võttes, saame lähteülesanneteks:

- a) liimi koguse vähendamine spooni peale (g/m^2)
- b) täpne liimikogus igale spoonile
- c) võimalus liimitada spoone laiusel kuni 900mm

4.2 Turu-uuring

Et teada saada, kas laborile vajaminevat ja sobivat masinat oleks võimalik kuskilt tellida, tehti turu-uuring.

Esmase otsingu põhjal leiti, et mitmed firmad pakuvad eraldi seisvaid kardina tüüpi süsteeme, nt. Leif&Lorentz ja Barberan, kuid täpsema päringu peale selgus, et need süsteemid on mõeldud ainult värvimiseks ja ei suuda töödelda sellist viskoossust nagu Puidutehnoloogia laboril vaja on.

Mitmed tootjad pakuvad ekstruudereid kuumsulavale liimile, mida Puidutehnoloogia labor ei kasuta. Samuti pakutakse vaid süsteemi osasid, nt. pihustussüsteemide otsikuid, mitte tervet masinat.

Pihustussüsteemid on tihti ühe pihustiga ehk mõeldud teatud kujude ja väiksemate koguste liimimiseks.

4.2.1 Awutek

Awutek on Soome firma, kes tegeleb puidutööstusmasinate müümise ja projekteerimisega. [13]

Laborile koostas firma pakkumise kardina-tüüpi liimitajale. Liimitaja on mõeldud veepõhiste liimide liimimiseks ja annab võimaluse valida liimitaja süsteemi vahel (gravitatsioon või surve) või võimaluse valida mõlemad. Masin, mida Awutek pakub on üsna suur – tööala on 1300mm ja kogu masina pikkus on 4700mm. Masina hind koos paigaldusega on 84 000.-.

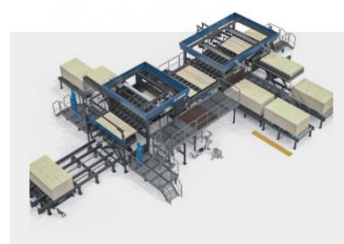
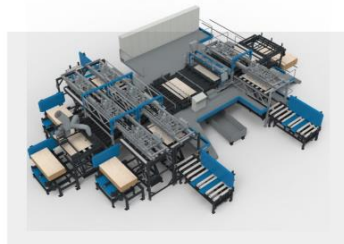
4.2.2 Raute Oy

Soome firma Raute Oy [14] spetsialiseerub spooni, vineer ja LVL-i tootmistehnoloogiatele. Raute on tarninud kõige rohkem ühepoolseid liimitussüsteeme maailmas juba 20 aastat ja nende süsteemide populaarsus kasvab, kuna on liimi- ja tööjõusäästlik. [15]

Raute pakub kolme automaatset vineeritoorikute ladumise liini: R7, R5 ja R3. Ladumine algab spooni etteandega liinile, edasi liigub spoon kas ekstrusioon või kardina tüüpi liimitusse (olenevalt kliendi vajadusest) ja lõpuks laotakse spoonilehed kihiti üksteise peale.

Kõik liinid hõlmavad ühepoolset liimitust ja erinevad üksteisest võimsuse, digitaliseerituse ja operaatorite arvu poolest. Seel 4.2 on näha, et R3 liin on ainus, millel puudub kardinliimituse võimalus ja vajab kõige rohkem operaatoreid.

Kõikidel liinidel on võimalik koostada vineeri mõõtudega 4x8 (1220 x 2440 mm) ja 5x10 (3050 x 1525 mm), R7-l on võimalus toota ka 8x8 (2440 x 2440 mm). [14]



PLYWOOD LAY-UP LINE R7

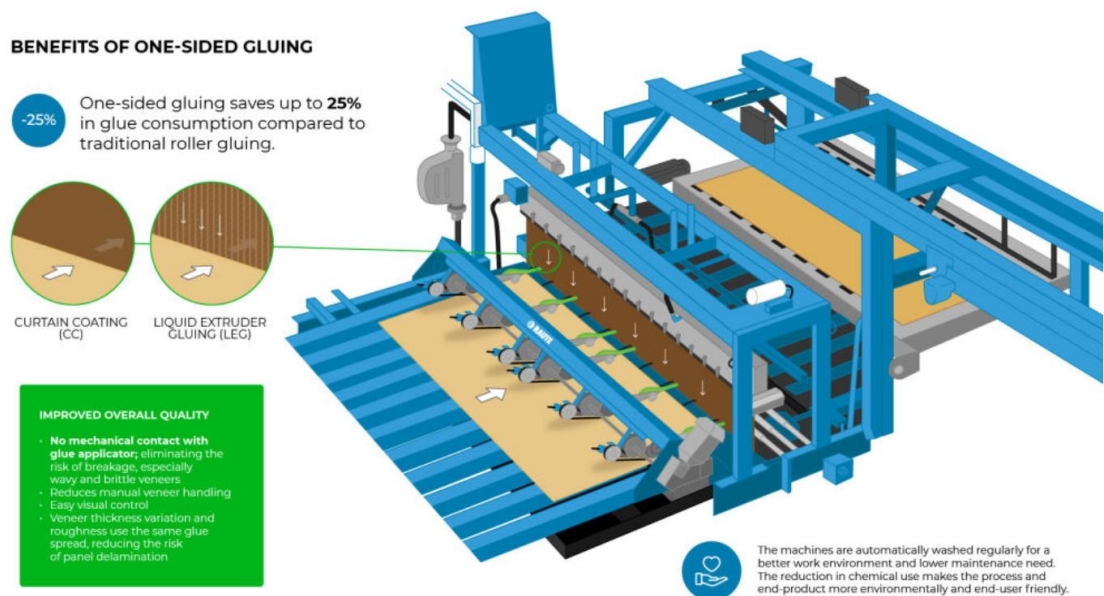
PLYWOOD LAY-UP LINE R5

PLYWOOD LAY-UP LINE R3

| | | | | | |
|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|
| Capacity | ● ● ● | Capacity | ● ● ● | Capacity | ● ● ● |
| Operators | ● ● ● | Operators | ● ● ● | Operators | ● ● ● |
| Gluing method LEG | ● ● ● | Gluing method LEG | ● ● ● | Gluing method LEG | ● ● ● |
| Gluing method CC | ● ● ● | Gluing method CC | ● ● ● | Gluing method CC | ● ● ● |

Sele 4.2. Raute Oy automaatsete ladumislüinide võrdlus

Raute ühepoolne liimitussüsteem on näidatud seel 4.3.



Sele 4.3. Raute Oy ühepoolne liimitusmasin

4.2.3 OEST GmbH

Oest on Saksa firma, mis on spetsialiseerunud liimi pealekande süsteemidele puidutööstuses, pakkudes segamis-, valamis- ja doseerimissüsteeme nii pulbrilistele kui ka vedelatele adhesiividele. Ettevõtte tooteid kasutatakse kõikides puidutööstuses, kus on vaja materjale kokku liimida. Seadmeid valmistatakse ühe- ja kahekomponentsete liimide tarbeks. [16]

Firma pakub vineeri ja LVL-i valmistamiseks nii kardin kui ka ekstruuderisüsteeme, mida saab ühendada ladumislinaiga, aga ka masinaid, mida saab kasutada eraldi.

Selel 4.4 on näha liimitusmasinat Ecotop. Seade on mõeldud spooni ühepoolseks liimitamiseks. Masina tööpõhimõte on selline: liim valatakse vanni (selel nr-ga 1.), kust see pumbatakse voolikuid mööda liimitaja „peasse“ või reservuaari (selel nr-ga 2.), kust see langeb ribadena spoonile.

Masinat saab kasutada FF, UF, MUF, soja ja PVA adhesiividega.

Oest pakkus laborile masinat, millega on võimalik liimitada laiust kuni 1200mm. Kuigi see ei vasta tellija maksimum laiusele, on seadmel mitmeid omadusi, mis on vastavuses tellija teiste nõuetega, nt. et masin on kompaktne ja seda on võimalik liigutada.



Sele 4.4. Firma Oest valmistatud liimiekstruuder

Masina hinnaks on umbes 50 000.- pluss transpordikulu Saksamaalt Tallinna ca 650.-.

4.2.4 Järeldus

Kõik tootjad pakuvad häid ja üsna sobivaid lahendusi. Raute puhul on piiravaks see, et ta pakub tervet ladumisliini. Hetkel ei ole Puidutehnoloogia laboril piisavalt ruumi, kuhu liin mahutada. See eeldaks ka spooni kuivatamise ja pressimisseadme ümber vahetamist. Ka oleks liini paigaldus labor tingimustes väga üle skaleeritud – laboris valmistatava vineeri mõõdud ja kogused on liini jaoks liiga väikesed. Samuti tuleks hind liiga kõrge.

Oesti toode sobiks laborisse paremini eelnevalt mainitud heade omaduste poolest. 1200mm on aga liiga lai ja võtab rohkem ressursi kui vaja. Samuti on seadme hind väga kõrge.

Awuteki masin mõõtudelt liiga suur ja ei mahu laborisse. Ka hind ei ole laborile sobiv.

4.3 Liimitusseadme nõuded

Kui lähteülesanne on paigas, pannakse paika nõuded, mis projekteeritavale seadele kehtivad. Selleks koostatakse koos tellijaga nõuete loetelu. Nõuete loetelu (Tabel 4) sisaldab kliendi nõudeid (klient on Puidutehnoloogia labor), tootmisalaseid piiranguid,

töötingimusi, aga ka labori spetsiifikat (nt. seade peab olema liigutatav). Tabelis on näidatud ka, millised on fikseeritud ehk kohustuslikud nõuded ja millised nõuded võib jätta kõrvale, kui need ei ole antud süsteemis teostatavad.

Tabel 4. Nõuete loetelu

| Spetsifikatsioon | Projekt: Puidutehnoloogia labori liimitussüsteem | | Fikseeritud nõue | Soovituslik nõue |
|---|---|------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | Arvsuurus/ kommentaar | Ühik | | |
| võimalik liimitada spoon maks paksusega | 3 | mm | jah | |
| spoonide arv liimitusse samal ajal | 1 | leht | jah | |
| ristkihtpuit (CLT) - kiht maks paksusega | 30 | mm | | jah |
| spoonide arv liimitusse samal ajal | 1 | leht | jah | |
| | | | | |
| liimitatava plaadi mõõdud: | | | | |
| maks laius | 900 | mm | jah | |
| maks pikkus | 900 | mm | jah | |
| | | | | |
| korruga kasutatav liimi kogus | 5-10 | kg | | |
| | | | | |
| Tehnilise protsessi tingimused | | | | |
| liimid: | | | | |
| fenool-formaldehüüd (FF) | | | jah | |
| voolukiirus (DIN 6 flow cup) | 27-39 | s | jah | |
| viskoossus (20°C) | 1300 – 1400 | mPas | jah | |
| liimikogus | 140-160 | g/m ² | Jah | |
| polüvinüül atsetaat (PVA-C) | | | | jah |
| viskoossus (20°C) | 7000 - 13 000 | mPas | | jah |
| liimikogus | 120 - 150 | g/m ² | | jah |
| | | | | |
| spoon peab saama ühtlaselt liimitatud | | | jah | |
| Liimi tsirkuleerimissüsteem | | | | jah |
| Lihtne puhastada | | | jah | |
| | | | | |
| Kuju | | | | |
| kompaktne, et võtaks võimalikult vähe ruumi | | | | jah |
| Liimitaja pea mõõdud: min pikkus | 450*2 või 900 | mm | jah | |
| | | | | |
| Materjalid | | | | |

| | | | | |
|----------------------------------|---|-------------|-----|-----|
| liimiga kokkupuutuvad osad | liimiga kokkupuutuvad materjalid peavad olema korrosioonikindlad | | jah | |
| osad, mis ei puutu liimiga kokku | võimalikult kerged ja lihtsalt puhastatavad | | jah | |
| Töökeskkond | | | | |
| keskkond | seade hakkab olema töökojas koos teiste puutöö masinatega nagu lauasaag, CNC, treipink. Tööpingid on ühendatud ventilatsiooniga | | | |
| töötemperatuur | 15 - 25 | °C | | |
| suhteline õhuniiskus | 30-60 | % | | |
| Elektrisüsteem | | | | |
| Toitepinge | 230/50 või 400/50 | V AC/ HZ | jah | |
| Ergonoomika/Ohutus | | | | |
| töötasapinna kõrgus | reguleeritav | | | jah |
| kergesti purunevad detailid | keelatud | | jah | |
| pritsivad/läbilaskvad ühendused | keelatud | | jah | |
| teravad nurgad | keelatud | | | jah |
| Hoiustamine | | | | |
| võtab vähe ruumi | võimalik liigutada | | | jah |
| Valmistamisaeg | | | | |
| projekt valmis | 31.01.2023 | | | jah |
| materjalide tellimine | 28.02.2023 | | | jah |
| masina kokkupanek | 15.03.2023 | | | jah |
| testimine ja parendused | 01.04.2023 | | | jah |
| Projekti kogumaksumus | | | | |
| liimitussüsteem | 15 000 | eur | | jah |
| lisad | 3000 | eur | | jah |

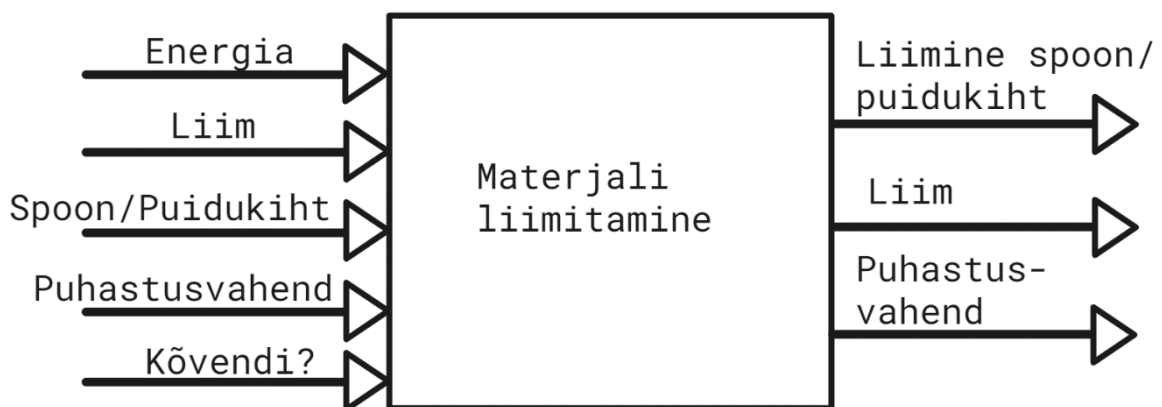
5. PUIDUTEHNOLOOGIA LABORI LIIMITUSSEADME PROJEKTEERIMINE

Kui on kindlaks tehtud, et turul pole vajalikku toodet kas olemas või on hind kõrge, siis hakatakse samm-sammult looma uut toodet või süsteemi.

5.1 Musta kasti diagramm

Lihtsustamaks projekteerimise lähteülesannet, võib kujutada ülesannet musta kasti diagrammina. Musta kasti diagramm näitab kogu süsteemi kõrgeimat abstraktsiooni. Nooled, mis lähevad musta kasti kujutavad süsteemi sisendeid ja nool kastist välja näitab süsteemi väljundit. Musta kast (sele 5.1) kujutab siinkohal projekteeritava süsteemi peamist eesmärki.

Sisendid on nii kliendi poolt saadud esmased nõuded kui ka energiavajadus, mis on vajalik seadme töötamiseks. Väljundiks on liimitatud materjal.



Sele 5.1. Liimitussüsteemi kõrgeim abstraktsioon – must kast

5.2 Morfoloogiline maatriks

Kui musta kasti diagramm näitas süsteemi peamist eesmärki või peafunktsiooni, siis morfoloogiline skeem või korrastusskeem näitab maatriksi abil erinevaid lahendusi valitud alafunktsioonidele. Maatriks on aluseks lõpliku lahenduse väljatöötamiseks kombineerides osafunktsioonide lahendusi omavahel nii, et leitakse tellijale ja projekteerijale kõige rahuldavam lõpplahendus.

Liimitamise osa-eesmärgid on näidatud Tabel 5.

Tabel 5. Morfoloogiline maatriks liimitussüsteemile.

| nr. | Alafunktsioon | Lahendusvariandid | | | | |
|-----|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1. | spooni jõudmine liimitamiseni | manuaalne (inimene viib liimitusjaamani) | konveier | robot liigutab spooni | liigutatav liimitusjaam ehk liimitusjaam liigub spooni juurde | roteeritav süsteem erinevate operatsioonide vahel |
| 2. | liimi jõudmine spoonini | manuaalne (pintsli või rulliga pealekanne) | liimikardin | liimiprits | valts | liimiribad |
| 3. | liimi ühtlane jagunemine spoonil | mitu liimi sissevoolu liimituspeasse | perforeeritud plaat hajutamaks liimi väljalaset | liimikogust jälgitakse voolumõõturiga ja kohandatakse vastavalt | "kleepsu" või kahepoolse teibi süsteem | liimireservuaar on pikem, kui liimituseavad |
| 4. | süsteemi puhastamine | manuaalne (kõik süsteemi osad on võimalik kraani all ära pesta) | puhastusaine pumbatakse süsteemist läbi | harjade süsteem | ühekordne süsteem, peale iga liimitust visatakse liimised osad minema | puhastusaine valatakse manuaalselt süsteemi |
| 5. | liimijoa avamine/lukustamine | manuaalne klapp (inimene avab/suleb) | raskussensoriga klapp (avab/suleb vastavalt liimi kogusele) | roteeritav klapp | liimijuga on katteta | Start/stopp teatud aja tagant |

5.3 Liimitussüsteemide hindamine

Morfoloogilise maatriksi põhjal kombineeritakse osafunktsioonide lahendeid, mida on võimalik lõpplahendi juures kasutada.

Maatriksi põhjal saaks sobivaid variante kokku panna väga mitmeid, aga lihtsuse huvides võetakse valikusse kolm varianti.

Morfoloogilise maatriksi alusel pandi kokku järgmised variandid:

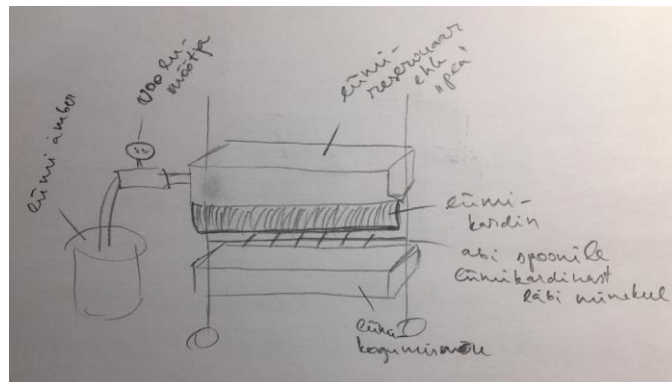
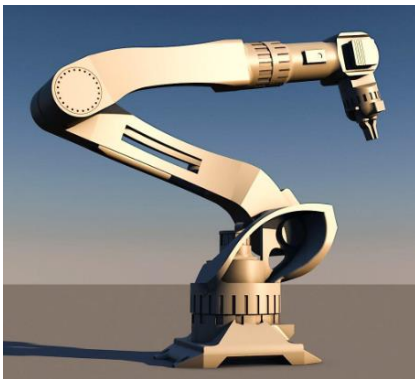
Variant 1: 1.3 – 2.3 – 3.3 – 4.1 – 5.1

Variant 2: 1.2 – 2.5 – 3.2 – 4.2 – 5.3

Variant 3: 1.4 – 2.2 – 3.1 – 4.2 – 5.5

5.3.1 Variant 1

Esimeses variandis (sele 5.2) kasutatakse etteandeks koostööröboteid, kes võtavad spooni ja lasevad selle liimitajast läbi. Peale liimitamist võtaks spooni vastu kas operaator või teine koostööröbot. Spooni liimitamine toimub kardini-liimituse meetodil, kus voolu pealeannet kontrollitakse voolumõõturiga. Operaator jälgib mõõturit ja reguleerib liimi kogust vastavalt vajadusele. Samuti on operaatori töö avada klapp, kui kardini-liimitaja „peasse“ on pumbatud piisavalt liimi, et kardini oleks ühtlane. Süsteemi puhastus toimub valades puhastusainet liimireservuaari (FF-liimi puhastuseks kasutatakse sooja vett).



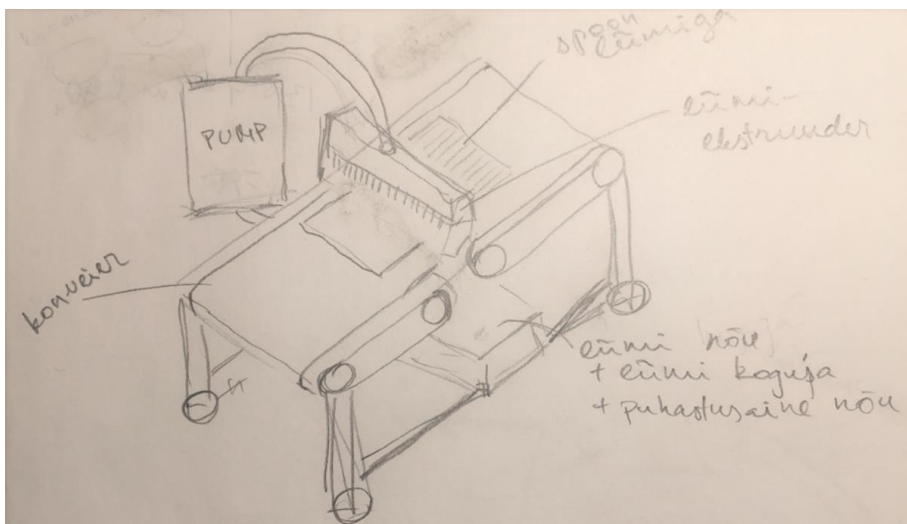
Sele 5.2. Koostööröbotiga kardini-liimitus

Selle süsteemi kasuks räägib tema kompaktsus, sest koostööröbotid võtavad üsna vähe ruumi. Samuti saab neid kasutada teiste protsesside juures. Negatiivne on see, et liim tilgub maha ja koristamine on suure ala peal, pluss koostööröbot on vaja puhastada peale igat kasutuskorda. Samuti võib roboti hind olla üsna kõrge võrreldes teiste süsteemidega.

5.3.2 Variant 2

Variant 2-s viib (sele 5.3) spooni liimituseni konveier. Liimitus toimub ekstrudeerimise meetodil, kus liimi surutakse läbi väikeste avade liimitaja peas ja spoonile jõuavad liimi ribad. Liim pumbatakse reservuaari ja ühtlasemaks jaotuseks pannakse peasse perforeeritud plaat. Sisseveo ja väljaveo konveieri vahel on nõu, kuhu koguneb ülejäänud liim, mis võimalusel pumbatakse süsteemi tagasi. Seda sama süsteemi kasutades saab süsteemi ka puhastada – soe vesi pumbatakse reservuaarist läbi. Sama nõu, mis kogub liimi, kogub puhastamise ajal vett.

Liimitusavad kaetakse roteeritava klappiga, kuni liimitajas on piisav kogus adhesiivi. Operaatori ülesanne on klapp lahti keerata, kui liimi hulk on piisav ja sööta spooni konveieri pealt liimitajasse.

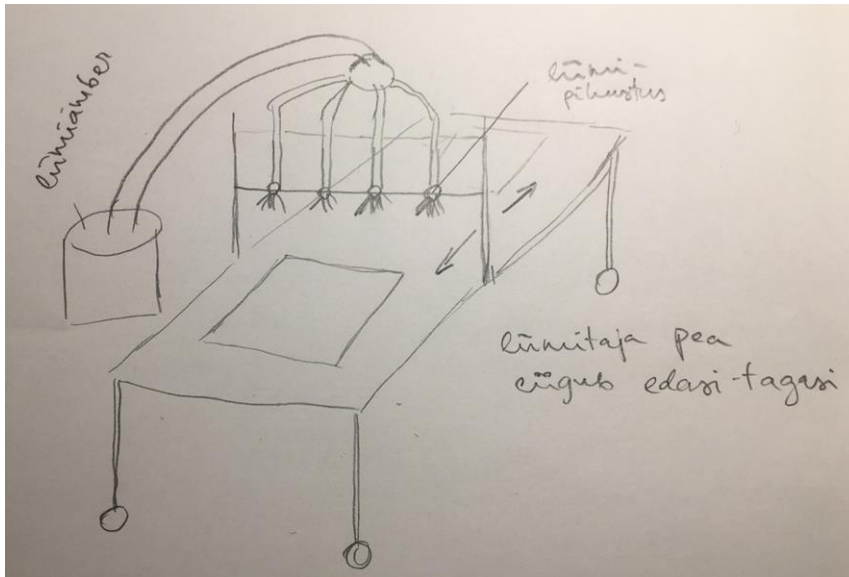


Sele 5.3. Konveieritega liimiekstruuder

See süsteem kasutab vähem liimi kui kardinliimitaja ja on puhtam kui variant 1. Konveieri kiirust on võimalik muuta, muutes sellega liimi jaotamine ühtlaseks. Kuna süsteemis on kaks konveierit, siis võib kogu liimitusjaam kokku olla üsna pikk. Samas saab konveiereid kasutada ka teiste protsesside juures.

5.3.3 Variant 3

Variant 1-s ja 2-s liigub spoon liimitaja alla, variant 3 (sele 5.4) on projekteeritud nii, et liimitaja pea liigub. Spoon või muu liimitatav materjal asetatakse lauale ja pihustid liiguvad üle liimitatava materjali. Operaator korjab liimitatud materjali laualt ja asetab uued lehed asemele. Liimitus toimub pihustusmeetodil, kus igasse pihustisse jookseb oma voolik. Et liimi ei pihustataks nendel hetkedel, kui spooni laotakse, siis on pihustusvoolikud ühendatud start/stopp süsteemiga, millele määratakse aeg.



Sele 5.4. Liikuvate pihustitega süsteem

Variant 3 on hea, sest igasse pihustisse läheb oma voolik ja igast pihustist tuleb sama palju liimi. Hoolikalt peab reguleerima pihustite ülekatet, et kõik kohad materjalil saaksid sama palju liimi.

Pihustamine on liimikulukam kui variant 1 ja 2. Samuti pritsib liimi rohkem ja seega on koristusala suurem. Start/stop on ilmselt kulukam kui klapid.

5.4 Hindamismatriks

Hindamine toimub liht-punkthindamise teel. Liht-punkthindamise aluseks on võetud hindamiskaala standardist VDI 2225, kus punkte antakse 0-4-ni. [17] Punktid on omakorda jagatud alampunktideks 0-st 10-ni, mis täpsustab punktidele vastavat hinnangut. Hindamiskaala sisu on toodud Tabel 6.

Lahendeid hinnatakse valitud kliendi nõuete ja üldiste masina kasutuse ja elueaga seotud aspektide põhjal.

Tabel 6. Hindamiskaala numbrilisi väärtusi tutvustav tabel

| Hindamisskaalad | | | |
|-----------------|------------------------------|--------|-------------------------------------|
| Punkte | Sisu | Punkte | Sisu |
| 0 | absoluutselt kasutuskõlbmatu | 0 | ebarahuldav, palju alla keskmist |
| 1 | suurte puudustega | | |
| 2 | nõrk | 1 | kuidagi rahuldav, alla keskmist |
| 3 | talutav | | |
| 4 | kõlbulik | 2 | kõlbulik, keskmine |
| 5 | rahuldav | | |
| 6 | hea väikeste puudustega | 3 | hea, üle keskmise |
| 7 | hea | | |
| 8 | väga hea | 4 | väga hea, palju üle keskmise |
| 9 | sihiasetusi ületav | | |
| 10 | ideaalne | | |

Hindamiskriteeriumid:

1. Funktsioon - kliendi nõuetele vastavus
2. Liimi kulu – kõige väiksema kuluga süsteemile antakse kõige kõrgemad punktid, aluseks võetakse Tabel 1
3. Ühtne liimi pealekanne
4. Kompaktsus - süsteemi ruumi kasutus, kui süsteem seisab jõude (mida rohkem ruumi vajab, seda väiksem on punktide arv)
5. Hooldus- ja puhastusmugavus - hoolduse ja puhastamise lihtsus ja vajaduse vähesus, osade vahetamise lihtsus
6. Lisakulud – konveier, robot jne.

Järgnevas tabelis on erinevad lahendused hinnatud vastavalt kriteeriumile. Viimane veerg näitab lahenduse kogusummat.

Tabel 7. Hindamismaatriks

| Lahendus | Hindamiskriteerium | | | | | | Summa |
|-----------|--------------------|------------|------------|------------|---------|-----------|-----------|
| | Funktsioon | Liimi kulu | Pealekanne | Kompaktsus | Hooldus | Lisakulud | |
| Variant 1 | 2 | 3 | 4 | 3 | 1 | 1 | 14 |
| Variant 2 | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 2 | 20 |
| Variant 3 | 4 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 16 |

Lähtuvalt hindamismaatriksist sai kõrgeima tulemuse variant 2 ehk konveieriga liimiekstruder, mida hakatakse projekteerima.

6. TEOREETILINE JA KATSELINE OSA

Projekteerimise alguses on kasulik teha selgeks mõisted ja kontseptsioonid, mis käivad antud teema kohta. Näiteks on liimitussüsteemi puhul oluline, mis on adhesiivi reoloogilised omadused, nt. viskoossus, kuidas käitub liim rõhu all ja missugused on voolamise režiimid.

Katseline osa ehk prototüübid annavad hea ülevaate, kuidas materjal süsteemis käitub ja kas on vastavuses teooriaga.

6.1 Viskoossus

Viskoossus on vedeliku omadus, mis avaldub liikumises sisemise hõõrdumise kaudu. Ehk omadus takistada osakeste liikumist üksteise suhtes.

Laminaarselt liikuva vedeliku kihtide vahel tekib hõõrdejõud, mis on põhjustatud viskoossusest. Dünaamilist viskoossust saab avaldada läbi hõõrdepinge ja kihtidevahelise kiirusgradiendi. [18], [19]

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{dw}{dy}} \quad (1)$$

Kus

τ – hõõrdepinge (N/m²; Pa)

Dw/dy – kiirusgradient (s⁻¹)

Dünaamilise viskoossuse ühik SI süsteemis on N-s/m², Pa-s või poise. [20]

Hüdraulikaarvutustes eelistatakse tihti kinemaatilist viskoossust, [19] mis võtab arvesse aine tiheduse. Kinemaatiline viskoossus on dünaamilise viskoossuse ja tiheduse suhe.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2)$$

Kus

μ - dünaamiline viskoossus (Pa-s)

ρ – aine tihedus (kg/m³)

Si süsteemis on ühikud m²/s. [20]

Mõlemad viskoossused olenevad vedeliku liigist, temperatuurist ja rõhust. Vedeliku soojenedes viskoossus väheneb, rõhu tõustes suureneb. [19] Dünaamiline viskoossus oleneb rõhust vähem ehk ainult siis kui rõhk on väga suur. Kinemaatiline viskoossus sõltub rõhust, kuna suuremal rõhul muutub ka aine tihedus. [20] Üldiselt avaldub rõhu mõju vaid väga suurte rõhumuutuste puhul, seega tavaliselt seda ei arvestata. [19]

Töös kasutatud vaigu dünaamiline viskoossus teatud temperatuuril ja tihedus on antud tootja poolt, tehnilise info lehel (vt. Lisa ...). Liimi dünaamilist viskoossust mõõdeti Brookfield Ametek DVE viskosimeetriga. Liimi tihedus leiti aine massiga ruumala ühikus katseliselt.

Kinemaatiline viskoossus liimile on

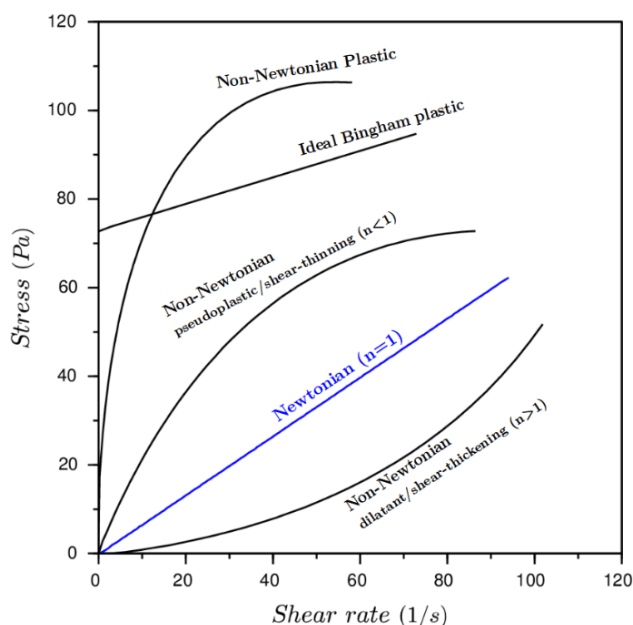
$$\nu = \frac{1,328}{1187,11} = 0,0011 \text{ m}^2/\text{s}$$

6.2 Njuutoni ja mitte-njuutoni vedelikud

Vedelikel on kas njuutonlike või mitte-njuutonlike vedelike omadused. Njuutoni vedelikus on viskoossed pinged lineaarses seoses deformatsioonikiirusega, viskoossus on konstant olenedes ainult temperatuurist. [20]

Mitte-njuutonlikud vedelikud muutuvad jõu rakendamisel kas paksemaks või vedelamaks ehk viskoossus muutub kui deformatsioonikiirus muutub. Mitte-njuutonlikud vedelikud on keerulised süsteemid, mis võivad käituda ebatavaliselt, kui neile rakendada jõudu. Seega ei ole ühest seadust, mille järgi määrata kas vedelik on mitte-njuutonlik. Üldiselt eeldatakse, et nt. vesi on njuutonlik vedelik, aga suure viskoossusega vedelikud on mitte-njuutonlikud. [20]

Selel 6.1 on näidatud njuutonlike ja mitte-njuutonlike vedelike käitumismudelid hõõrdepinge ja deformatsioonikiiruse graafikul.



Sele 6.1. Hõõrdepinge (shear stress) ja deformatsioonikiiruse (shear rate) graafik, mis näitab nii njuutonlike kui ka mitte-njuutonlike vedelike käitumist. n – voolukäitumise indeks

Njuutonlikud vedelikud ei ole adhesiividena soositud, kuna voolavad gravitatsiooni mõjul ja ei püsi seetõttu liimitava materjali peal. [21]

Samas kardinatüüpi liimitajas on njuutonlik vool eelistatud, mille tõttu võib eeldada, et ka ekstrusioonimeetodile eelistatakse njuutonlikku voolu. Liimi omadusi saab muuta lisades nt paksendajaid, mis parandavad liimikardina venitatavust.[22]

Kirjanduse põhjal käitub FF-vaik pigem kui njuutonlik vedelik, kuid säilitab samal ajal ka elastsuse. [23] [24]

Otseselt töös liimi reoloogilisi omadusi ei mõõdetud, kuid liimitootja Prefere esindaja Peter Lingenfelter kinnitas, et nende FF liim käitub peamiselt nagu njuutonlik vedelik. [25]

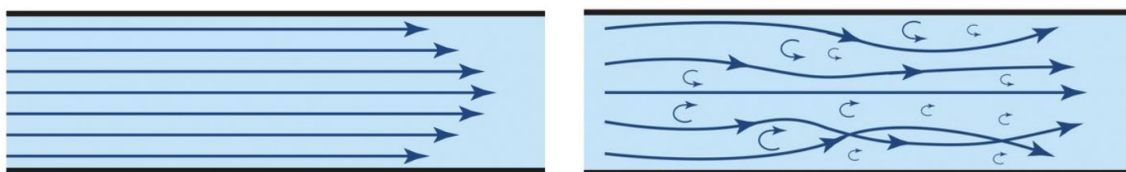
6.3 Voolamise režiimid

Vedelik võib voolata kahel viisil: laminaarsel ja turbulentsel.

Laminaarne vool liigub püsiva kujuga jugadena, mis omavahel ei segune. Turbulentset voolu iseloomustab peaaegu kogu ristlõike ulatuses intensiivne segunemine. Voolamise režiim oleneb voolukiirusest, väga aeglane vool on laminaarne. Mida kiirem on vool, seda rohkem hakkavad joad segunema ja vool muutub turbulentseks. Kuidas vedelikuosakesed käituvad joas, oleneb inertsijõu ja viskoossusjõu (hõõrdejõu) vahekorra. Laminaarses voolamises suudab viskoossusjõud hoida osakesed põhitrajektoril, turbulentses mitte. Voolamise režiimist sõltub voolutakistus. [19]

Looduses ja tehnikas esineb enamasti turbulentsed voolud, laminaarne voolamine toimub peentes torudes (nt. peened veresoone) või kui vedeliku viskoossus on suur (nt. mesi, masuut). [19]

Sele 6.2 toob esile laminaarse ja turbulentsed voolamise erinevuse.



Sele 6.2. Laminaarne voolamine (vasakul) ja turbulentsed (paremal)

Kuidas vedelik voolab, saab määrata dimensioonitu Reynoldsi arvuga, mis väljendab inerti- ja viskoossusjõudude suhet.

$$Re = \frac{V * L}{\nu} \tag{3}$$

Kus

V – voolu iseloomustav kiirus (m/s)

L – voolu iseloomustav pikkus (m)

ν – kinemaatiline viskoossus (m^2/s)

Ümmarguse ristlõigetega torudes saab Reynoldsi arvu arvutada läbi toru siseläbimõõdu ja keskkiiruse.

$$Re = \frac{v * d}{\nu} \quad (4)$$

Kus

v – voolu (toru) ristlõike keskmine kiirus (m/s)

d – toru siseläbimõõd (m)

Voolu keskkiirust otse mõõta ei saa, aga seda on võimalik leida ristlõike keskkiiruse valemiga

$$v = \frac{Q}{A} \quad (5)$$

Kus

Q – ristlõiget ajaühikus läbiva vedeliku maht (l/s; m^3/s)

A – voolu ristlõige ehk voolu risti voolujooni lõikav pind (m^2)

Vooluhulga saab arvutada valemiga

$$Q = \frac{V}{t} \quad (6)$$

Kus

V – vedeliku ruumala (m^3)

t – aeg (s)

Voolu ristlõike pindala saab valemist

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} \quad (7)$$

Kuigi voolamise režiimi vahetus oleneb ka muudest teguritest kui Reynoldsi arv, on katsed näidanud, et voolamine on kindlasti laminaarne kui $Re < 1000$. Kui $Re > 4000$, siis on voolamine tavaliselt turbulentsne. [19]

6.4 Liimiekstruuderid parameetrid kirjandusest

Kardina tüüpi ja ekstrusioonseadme töö parameetrid on üsna sarnased, seega saab tõmmata paralleelse kardintüüpi liimitamisest ka ekstrusiooni.

Sellers on välja toonud tööparameetrid, mis mõjutavad ühepoolset liimitamist [7]:

- 1) spoonile jõudva liimikihi paksuse määravad pumba ja materjali etteande kiirus. Liimi kogus on otseses seoses pumba kiirusega ja kaudselt seotud etteande kiirusega, kuna tootmises on etteandekiirus tihti fikseeritud. Seega peaks saama liimi kogust kontrollida vaid pumbaga.
- 2) Ava suurus mõjutab ribade kvaliteeti: väiksem ava soodustab kiiremat ribade langemist, aga suurematest avadest voolab liim ühtlasemalt. Mida suurem on viskoossus, seda suuremat ava on vaja.
- 3) Vahe spooni ja liimitaja pea vahel mõjutab ribade kiirust: mida suurem on vahe, seda kiirem vool.

Ka Ubal, kes uuris vedelikujoone printimist liikuvale alusele, toob välja, et kui voolukiirus on väga väike, siis vedeliku juga murdub juba väljumisava juures. Mida suurem on otsiku ja aluse vahe, seda suurem peab olema voolukiirus. [26]

Nagu juba eelnevalt välja toodud, siis liimi avade läbimõõt on vahemikus 2,5 – 4mm ja avade vahe on umbes 10mm. Liimi reservuaari rõhk on ca 69kPa/305mm (0,7bar/305mm). [7]

6.5 Katseline osa

Et mõista, kuidas etteantud viskoossusega liim käitub nõuetele vastavates parameetrites, ehitati esmased lihtsad prototüübid.

Prototüüpideks kasutati ehituspoodides saadaolevaid torusid ja toruühendusi. Esmane prototüüp ehitati valgetest läbipaistmatutest sisekanalisatsioonitorudest. Kuna maksimaalne liimitatav pind on 900mm, siis esmane prototüüp ehitatigi sellele laiusele. Järgnevad prototüübid ehitati läbipaistvast voolikust, et saaks jälgida, kuidas liim süsteemis voolab.

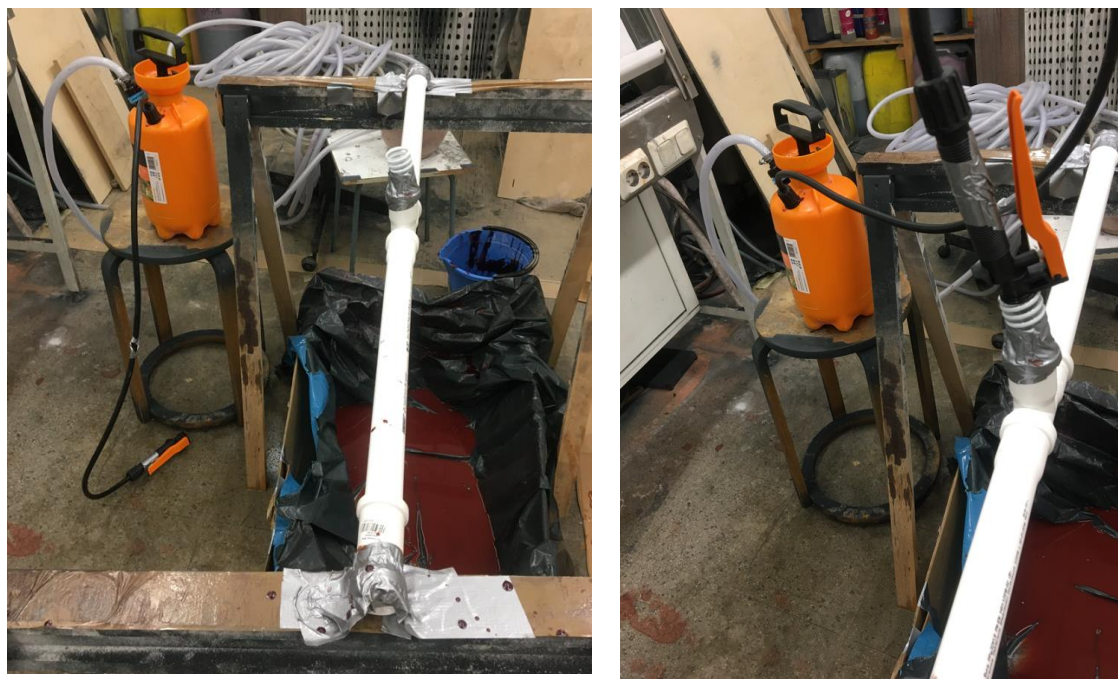
Liimi süsteemi juhtimiseks kasutati Fiskarsi aiapritsi (selel 6.1 oranž anum). Aiaprits koosneb vedeliku anumast, voolikust, mis viib vedeliku anumast välja (asub anuma sees) ja voolikust, mis juhib vedelikku (asub anumast väljas). Liim valati aiapritsi nõusse, mis ühendati laboris oleva suruõhuvoolikuga. Surve määrati 2 bari. Kolmanda prototüübi puhul suurendati survet 4 barini, kuna ühe katse ajal oli liimi viskoossus liiga suur, mis ilmnis peale katset. Peale katset viidi viskoossus vastavusse nõutavaga, aga survet uuesti ei reguleeritud.

Enne igat katset määrati liimi voolukiirus (flow rate) DIN 53211 #6 anumaga ja kohandati see tootja ettemääratud voolukiirusele (22 - 28°C juures 32 ± 5 s) lisades kas vett või kõvendit, olenevalt sellest, kas liim oli liiga suure või liiga väikese viskoossusega.

6.5.1 Esimene prototüüp

Tabel 8. Esimese prototüübi parameetrid

| | | |
|-------------------------|--------|---|
| pikkus | 1020 | mm |
| äärmiste avade vahe | 900 | mm |
| ava läbimõõt | 4 | mm |
| avade vahe | 40 | mm |
| toru läbimõõt | 32 | mm |
| toru seina paksus | 1,8 | mm |
| toru ots | 38 | see on ühes otsas 5,5cm. Teine ots tavamõõdus |
| sissesöödu avasid | 1 | tk |
| sissesöödu asukoht | keskel | |
| sissesöödu ava läbimõõt | 32 | mm |



Sele 6.1. Esimene prototüüp

Esimest prototüüpi (näidatud seel 6.1, parameetrid antud tabelis 8) katsetati esmalt veega, et näha kas selline süsteem üldse toimib. Vesi jõudis süsteemi keskmisest avast äärmiste aukudeni peaaegu koheselt (aeg 1s) ehk väikese viskoossusega vedeliku puhul saaks sellist süsteemi kasutada (vee viskoossus 20°C juures on 1,005 mPa s [19] või voolukiirus ca 5 s DIN 53211 #6 anumaga).

Liimiga testides jõudis ka liim prototüübi äärmistesse aukudesse, aga selleks kulub rohkem aega, keskmisest avast äärmise avani oli 20s. Siin mängib rolli ka see, et avad olid lahti katse algusest saati, nii et osa liimi juba voolas välja, kui osa alles roomas süsteemi äärtesse.

Selel 6.2 on näha moodustunud liimijoad keskmisest avast äärmiseni. Kuigi pildil tundub, et joad on ühtlased, siis mõõtes avadest väljuvat kogust, selgus, et keskmisest avast tuleb rohkem liimi kui kõige äärmisest avast (15,9g vs 9,0g, mõõtmise aeg 20s).



Sele 6.2 Liimi väljavool

Kui voolukiirus oli 55s, siis pidevaid jugasid ei tekkinud, liim vaid tilkus aukudest välja.

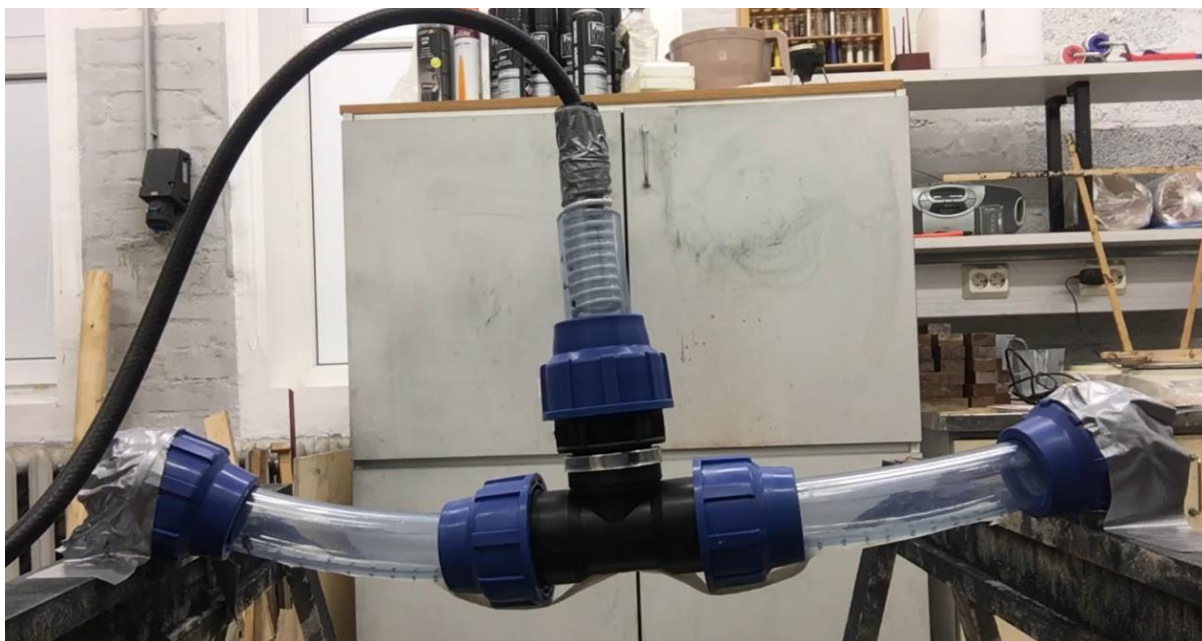
6.5.2 Teine prototüüp

Tabel 9. Teise prototüübi parameetrid

| | | |
|-------------------------|--------|----|
| pikkus | 550 | mm |
| äärmiste avade vahe | 450 | mm |
| ava läbimõõt | 2,5 | mm |
| avade vahe | 10 | mm |
| toru välisläbimõõt | 38 | mm |
| toru siseläbimõõt | 35 | mm |
| läbipaistva osa pikkus | 130 | mm |
| sissesöödu avasid | 1 | tk |
| sissesöödu asukoht | keskel | |
| sissesöödu ava läbimõõt | 35 | mm |

Esimesest prototüübist selgus, et 900mm on liiga pikk ainult ühe sisselaskeava jaoks. Teine katseseade ehitati selliste mõõtudega, et äärmiste avade vahe oleks 450mm. Kuna kirjanduses märgitakse avade mõõtudeks 2,5 – 4mm, siis katseseadme 2 jaoks tehti avad diameetriga 2,5mm. Katseseade on näha seel 6.3, parameetrid antud tabelis 9.

Enne katsetamist kaeti avad teibiga. Teip eemaldati, kui kogu seade oli liimi täis valgunud, et näha, kas selline tegevus ja lühem maa, mille liim peab läbima, annab ühtlasema väljavoolu.



Sele 6.3. Prototüüp 2

Peale teibi eemaldamist ei hakka liim siiski kohe ühtlaselt avadest välja voolama: esimestena tekivad ühtlased joad sissevoolu all ja alles 30s pärast on näha enam-vähem ühtlast voolu (sele 6.4). Osadest avadest ei taha liim hästi välja tulla ja see tuleneb ilmselt aukude puurimise ebaühtlasest kvaliteedist.



Sele 6.4. Liimi väljavool avadest

Teisel prototüübil mõõdeti samuti avade väljalaset keskmisest ja äärmisest avast. Mõõtmise ajal hakkas liim otsa saama, mistõttu ei ole mõõtmise tulemused usaldusväärsed.

6.5.3 Kolmas prototüüp

Tabel 10. Kolmanda prototüübi parameetrid

| | | |
|-------------------------|--------|----|
| pikkus | 600 | mm |
| äärmiste avade vahe | 420 | mm |
| ava läbimõõt | 2,5 | mm |
| avade vahe | 10 | mm |
| toru välisläbimõõt | 38 | mm |
| toru siseläbimõõt | 35 | mm |
| läbipaistva osa pikkus | 440 | mm |
| sissesöödu avasid | 1 | tk |
| sissesöödu asukoht | keskel | |
| sissesöödu ava läbimõõt | 10 | mm |



Sele 6.5. Prototüüp 3

Kolmas prototüüp (parameetrid antud tabelis 10) ehitati, et kontrollida, kas vool võiks olla ühtlane, kui liim täidab ära toru enne, kui puutub kokku väljumisavadega. Teip mida kasutati prototüübis 2, ei olnud liimi kinnihoidmisel piisavalt efektiivne. Seega disainiti kolmas prototüüp nii, et väljavooluavad ja sissevoolutoru ei oleks kohakuti: väljavooluavad sai keerata nii, et liim ei voola kohe avade peale; sissevoolutoru paigutati nii, et liim ei peaks voolama torusse alt üles. Näidatud seel 6.5 ja 6.6.

Kolmanda prototüübi puhul paigutati väljavoolu avad nii, et üks ava ei asetseks täpselt sissevooluvooliku all, nagu oli eelnevatel prototüüpidel.

Samuti oli hüpotees, et prototüübis 2 on sissevoolu teekond liiga pikk ja annab seetõttu rohkem liimi keskmistele avadele. Seega paigutati sissevoolutoru otse liimireservuaari.



Sele 6.6. Väljavoolu avade keeramine liimi sissevoolamisel

Sele 6.7 näitab, kuidas liim on täitnud vooliku enne, kui väljavooluavad keeratakse väljalaske positsiooni



Sele 6.7. Liim täidab pool toru, enne kui liimitusavad õigesse asendisse keeratakse.

Peale väljavooluavade keeramist õigesse asendisse, ei hakka liim kohe välja voolama nagu algselt oletati. Ilmselt on liim liiga viskoosne ja augud liiga väikesed toru materjali kohta (materjal: PVC). Näidatud seel 6.8 Ühtlaste jugade tekkeks kulub ca 45s ja isegi siis ei taha liim igast august välja tulla. See on ilmselt aukude puurimise ebaühtlase kvaliteedi pärast.



Sele 6.8. Liimi välja „tilkumine“ liimitusavadest

Möödeti ka keskmiste ja äärmiste avade väljavoolu, et teada saada, kas liimi vool on ühtlane. Tulemused näitavad, et reservuaari keskel (sissevoolutoru lähedal) on väljavool suurem kui äärmistest avadest (6,08g vs 4,41g ava kohta). See tulemus on protsentuaalselt parem kui 900mm (esimese) prototüübi puhul (keskmise ja äärmise väljavoolu vahe: 44% vs 27%), aga siiski ebaühtlane.

Kõikide katsete puhul oli näha, et liimi lõppemisel aiapritsi anumast, läks surve tugevamaks, mille tõttu tugevnesid ja ühtlustusid ka liimijoad. Seega ilmselt oleks võinud ka katsetamisel kasutada suuremat survet.

6.5.4 Voolamise režiim katseseadmes

Et määrata voolamise režiimi katseseadmes, siis seadme töötamise ajal täideti silindrikujuline anum liimiga teatud aja jooksul. Anuma, katseseadme vooliku parameetrid ja mõõdetud aeg on antud Tabel 11.

Tabel 11. Katseseadme parameetrid

| Parameetrid | tähis | arvväärtus | ühik |
|-----------------------------|-------|------------|------|
| silindri diameeter | d_s | 0,035 | m |
| silindri raadius | r | 0,018 | m |
| liimiga täidetud osa kõrgus | h | 0,13 | m |
| aeg | t | 27 | s |
| vooliku diameeter | d_v | 0,006 | m |

Esiteks arvutatakse vedeliku maht, mis 27s jooksul süsteemist välja jooksis.

$$V = \pi * r^2 * h = 3,14 * 0,018^2 * 0,13 = 0,00013 \text{ m}^3$$

Kui on teada ruumala ja aeg, saab arvutada vooluhulga Q valemi 6 järgi

$$Q = \frac{0,00013}{27} = 0,0000046 \text{ m}^3/\text{s}$$

Toru ristlõike pindala avaldatakse valemist 7

$$A = \frac{3,14 * 0,006^2}{4} = 0,000028 \text{ m}^2$$

Keskkiiruse saab leida valemiga 5

$$v = \frac{0,0000046}{0,000028} = 0,164 \text{ m/s}$$

Kui on arvutatud kõik need suurused, on võimalik leida Reynoldsi arv katseseadmes. See leitakse valemiga 4. Kinemaatiline viskoossus on leitud alapeatükis 6.1.

$$Re = \frac{0,164 * 0,006}{0,0011} = 0,88$$

Reynoldsi arvu 0,88 puhul saab kindlalt väita, et voolamine katseseadmes on laminaarne.

6.5.5 Järeldused

Katsetest järeldati:

- 1) Kuna liim voolab avadest ebaühtlaselt, on vaja paremat jaotussüsteemi. Esmased võimalikud lahendused:
 - a) 450mm pikkusega liimitusele panna kaks liimi sissevoolutoru

- b) Teha liimireservuaar pikemaks kui 450mm jaoks vajalik ehk mõlemasse reservuaari otsa lisada pikkust väljalaskeavadeta. Sel juhul, kui liimireservuaar täitub, hakkab ka äärtest liimi peale jooksuma ja ühtlustab voolu
 - c) Sissevooluvooliku alla, liimireservuaari sisse, panna perforeeritud lisaplaat, mis jaotab liimi reservuaaris ühtlasemalt
 - d) Liimi väljavoolu ette disainida klapp, mis avaneb, kui liimireservuaar on liimi täis. Klappiga saab ka vajadusel sulgeda liimi väljavoolu protsessi käigus.
 - e) Liimireservuaar peab olema teise kujuga, nt. kolmnurk või riidepuu, mille puhul liim valgub rohkem otstesse
- 2) Kui avad on väikesed, siis on avade kvaliteet väga oluline
 - 3) Süsteemis peab ringlema piisav kogus liimi, muidu võib lõpus liimitus jääda ebaühtlane
 - 4) Hea puhastussüsteem on väga oluline. Kui süsteem ei ole korralikult puhastatud, võivad osad avad kinni „liimuda“ ja liimitus jääb ebaühtlane

Esimese punkti puhul on ilmselt mõttekas kokku sobitada mitu väljapakutud varianti.

7. LIIMITUSMASINA OSADE PROJEKTEERIMINE MATERJALI VALIKUGA

Lisaks nõuete loetelus (Tabel 4) välja toodud kriteeriumitele peab masina detailide ja nende materjali valikul arvestama ka muid parameetreid, nt.:

- Adhesiiviga kokkupuutuvad materjalid ei tohi korrodeeruda ja peavad olema lihtsasti puhastatavad
- Masin peaks olema võimalikult kerge ja lihtsasti koostatav
- Materjalide hind ja saadavus
- Taaskasutus ja ümbertöödeldavus

7.1 Liimitaja pea ehk liimireservuaar

Liimitaja pea on masina juures üks olulisemaid osasid, kuna selle abil jaotatakse liim spoonile.

7.1.1 Materjal

Liimitootja Prefere on ette andnud, millistes anumates võib hoida vaiku ehk fenooli, milleks on teras, betoon ja vineer. Tsink ja alumiinium nõud ei sobi, kuna korrodeeruvad (Lisa 1).

Fenoolitootjate liit soovib fenooli hoidistamiseks roostevaba terast markidega 304L või 316L (L tähendab, et keevisliited ei korrodeeru kergesti). [27] [28]

Kui juhinduda Ameerika Raua ja Terasse instituudi disaini soovitustest, siis võib valida aldehyüdide jaoks roostevaba terase margi 304. [29] Ka hinna poolest on 304 soodsam valik kui 316. [28]

7.1.2 Vooluhulk avadest ja ava suurus

Telliija on ette andnud liimi koguse m^2 kohta (140-160 g/m^2) ja liimitatava osa maksimum laiuse (900mm), millest saab hakata arvutama liimi kogust avadest ja sealt edasi reservuaari suurus. Liimitusavade vaheks võetakse kirjandusest leitud liimitusavade vahe: 10mm [7], mida kasutati ka katseseadmes.

Liimitaja eelduseks on see, et liim jaguneb spoonile ühtlaste ribadena. Kuna on teada m^2 antav liimikogus, saab esiteks vaja välja arvutada liimiriba massi (m_{lr}) 1m peale.

$$m_{lr} = \frac{\text{liimi kogus}}{99}$$

(8)

Kus

Liimi kogus – soovitud liimi kogus (g/m^2)

99 - avade arv 1m peale

$$m_{lr} = \frac{140}{99} = 1,41 \text{ g}$$

Edasi saab arvutada liimi koguse soovitud spooni laiusele

$$m = m_{lr} * (n - 1)$$

(9)

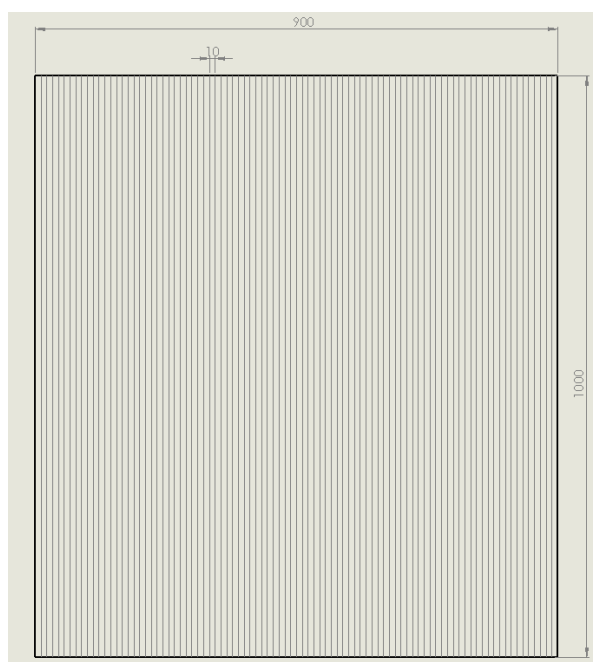
n - liimitatava spooni pikkus (cm)

Kui spooni laius on 900mm (90 cm), siis liimi kogus 1m peale tuleb

$$m = \frac{140}{99} * (90 - 1) = 125,86 \text{ g}$$

Seega kui liimi koguse vahemik on $140 - 160 \text{ g}/\text{m}^2$, siis plaadile mõõduga $900 \times 1000 \text{ mm}$ oleks liimi kogus $1,41 - 1,62 \text{ g}$ ava kohta ja 89 ava kohta $125,86 - 143,84 \text{ g}$.

Viimasest kahest katseseadmest voolas ühest avast välja vähem (ava läbimõõt $2,5 \text{ mm}$ ja keskmiselt $0,52 \text{ g}/\text{s}$ ava kohta). Kuna katseseade on teisest materjalist kui päris masin, siis seda üks ühele ei saa aluseks võtta. Samuti saab kogust reguleerida etteande kiirusega. Tööstuslikud masinad lubavad kiirusi kuni $5 \text{ m}/\text{s}$. [14] Laboris on vineeri tegemine rohkem manuaalne ja selliseid kiiruseid pole vaja. Kui arvestada, et vaja on $1,41 \text{ g}/\text{m}$, aga avast väljub $0,5 \text{ g}$, siis tuleb reguleerida etteanne kiirusele $0,33 \text{ m}/\text{s}$.



Sele 7.1 Liimiribade jaotus $900 \times 1000 \text{ mm}$ plaadile

Teoreetiliselt saab välja arvutada avast väljuva vooluhulga erinevatele ava läbimõõtudele. Väikeste avade ja muutumatu rõhu juures saab voolujoa kiiruse arvutada Torricelli valemiga

$$v = \varphi * \sqrt{2 * g * H} \quad (10)$$

Kus

φ – kiirustegur

g – raskuskiirendus (m/s^2)

H – vedelikusamba kõrgus (m)

Kiirusteguri saab leida valemist

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta}} \quad (11)$$

Kus

ζ – kohttakistustegur

Ava vooluhulga saab arvutada valemist

$$Q = \mu * A * \sqrt{2 * g * H} \quad (12)$$

Kus

μ – ava vooluhulgategur

Nii kiirustegur kui ka vooluhulgategur sõltuvad Reynoldsi arvust, mida ümmarguste ristlõigetega avade jaoks saab arvutada valemist

$$Re = \frac{d * \sqrt{2 * g * H}}{\nu} \quad (13)$$

Kus

d – ava läbimõõt (m)

Kui tahaks teada saada Reynoldsi arvu seose mõjuvast rõhust, siis tuleks arvesse võtta ka rõhku. Hüdraulikas on rõhku sageli otstarbekas väljendada vedelikusamba kõrgusega, mida saab tuletada vedelikusambast tingitud rõhu valemist.

$$p_ü = \rho * g * H \Rightarrow H = \frac{p_1 - p_{at}}{\rho * g}$$

Kus

p_1 – vedeliku pinnale mõjuv rõhk (Pa)

p_{at} – atmosfäärirõhk (98100 Pa)

Võtame aluseks katses kasutatud suurused ja eeldame, et rõhk mõjub igale avale võrdselt. Avasid oli katsesüsteemis 42tk. Sel juhul

$$H = \frac{(400000 - 98100)/42}{1187 * 9,8} = 0,62 \text{ m}$$

Reynoldis arv on

$$Re = \frac{0,0025 * \sqrt{2 * 9,8 * 0,62}}{0,0011} = 7,79$$

Kui $Re < 25$, siis saab vooluhulgateguri leida valemist

$$\mu = \sqrt{Re/(25,2 + Re)} = 0,49$$

Avale läbimõõduga 2,5mm, kui mõjub rõhk 4bari on sel juhul vooluhulk

$$Q = 0,49 * 0,0000049 * \sqrt{2 * 9,8 * 0,62} = 0,0000083 \text{ m}^3/\text{s}$$

Seega teoreetiliselt arvutades väljub avast 8,3 cm³/s. Kui arvutada eelnevalt saadud kogused vooluhulgaks ümber, kuna liimi tihedus on teada (1,19 g/cm³), on näha palju erineb vajalik kogus (1,19 – 1,36 cm³/s) teoreetilisest ja katseseadme kogusest (0,44 cm³/s).

Teoreetilise arvutuse juures tehti mööndusi nagu ühtne rõhk igale avale, seega ei saa seda lugeda päris täpseks. Arvutus annab aga vähemalt indikatsiooni, et voolamine avast on laminaarne ja kuna Reynoldsi arv on väike, võib eeldada, et ka projekteeritavas seadmes on voolamine avadest laminaarne.

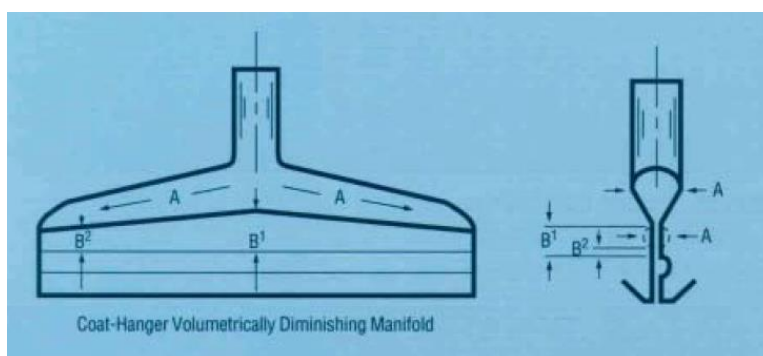
Ava läbimõõdu võib eelnevale põhinedes jätta esialgu 2,5mm. Vajadusel saab ava suuremaks puurida.

7.1.3 Reservuaari suurus ja kuju

Eelnevaid arvutusi vaadates, on näha, et rõhul 4bari võib olla reservuaari kõrgus 0,62m. Seega oleneb reservuaari suurus pigem sellest, kui ruttu täitub reservuaar liimiga, mis oleneb pumpamise kiirusest ja pumba võimekusest.

Katseseadmetest oli näha, et liimi sissevool ühest avast 450mm (ega 900mm) peale ei ole piisav ühtlaseks vooluks. Peatükis 5.2.4 on välja toodud parandusettepanekud.

Üks variant on teha reservuaar riidepuu-kujuline, nagu kasutatakse termoplastide ekstrusioonkatmises. Riidepuu tüüpi (näha seel 7.2) jaotab sulatatud plasti üle pidevalt laieneva ala. Probleem selle tüübi puhul on see, et kaetava ala äärtesse võib jõuda rohkem plasti. [30]



Sele 7.2. Riidepuu tüüpi reservuaar

Kuna masin peaks olema võimalikult lihtne ja valmistatud kättesaadavatest materjalidega, siis variant on edasi arendada katseseadet ja teha reservuaar roostevabast ümartorust, millele saab avad sisse puurida. Roostevaba terast markidega 304L ja 316L (L tähendab, et keevisliited ei korrodeeru kergesti) soovitab Fenoolitootjate liit fenooli hoiustamiseks. [27] [28]

Roostevabasid ümartorusid markidega 304 ja 316 pakub näiteks Metallikeskus, kust saab valida sobiva diameetriga toru. Kuna sinna külge ühilduvad voolikud, on vaja toru valida piisava diameetriga. Hilisemates peatükkides on arvatud voolikute mõõdud ja nendele vastavalt võib valida ümartoru läbilõikega 60,3mm ja margiga 304.

Ümartoru on mugav ka puhastada, kuna tal ei ole nurki, kuhu liim võib jääda.

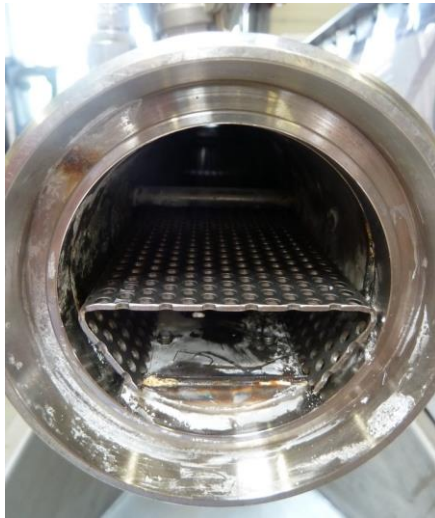
Kui teha reservuaar pikkusega 900mm, siis tuleks panna vähemalt kolm sissevoolu ava, et ühtlustada voolu torus. Liitmike puhul aga kui valida kolmene, siis üks ava viiks liimi otse läbi, samal ajal kui kõrvalharudes toimub pidurdus. Seetõttu on parem panna neli sissevoolu ava.

Kuna liimitusse laius on 900mm, siis reservuaar ise peab olema pikem, et saaks seda otstest sulgeda hermeetilise korgiga. Ka lisapikkus peaks kaasa aitama ühtlasemale jaotusele.

Takistused nagu võrgud, sõelad, kangad jne, mis on jaotatud ühtlaselt üle vooliku või kanali ristlõike loovad ühtlase vastupanu voolamisele. Vedelik tõmbub kokku võrguavade läbimisel ja avadest väljumise kiirus suurem kui sisselaskekiirus.

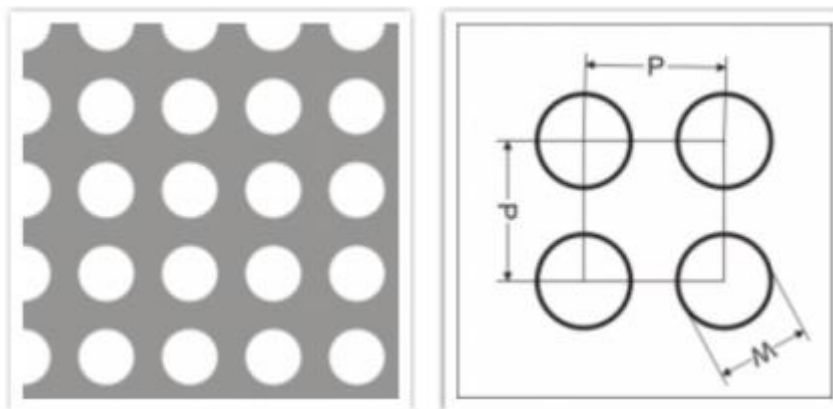
Tulemuseks on kaotused, mis on seotud nii avasse sisenemise kui ka ava järsu laienemisega väljumisel. [18]

Liimitusseadmete tootja Oest kasutab oma reservuaarides perforeeritud plaati, mis asub liimitaja pea keskel (sele 7.3).



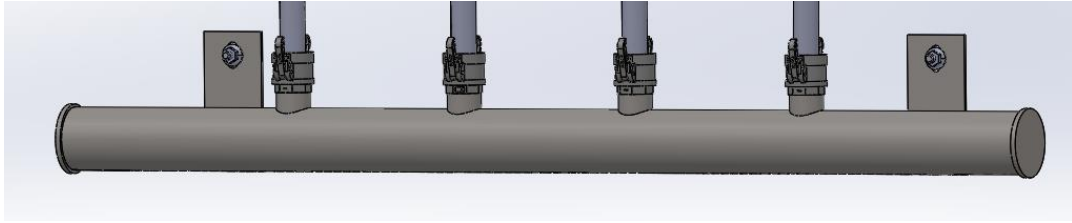
Sele 7.3. Perforeeritud plaat liimi reservuaaris, et ühtlustada liimi väljavoolu

Labori seades võetakse kasutusele Metal Disaini perforeeritud plaat, mille ava läbimõõt (W) on 10mm ja avade keskpunktide vahe (P) 15mm (sele 7.4).

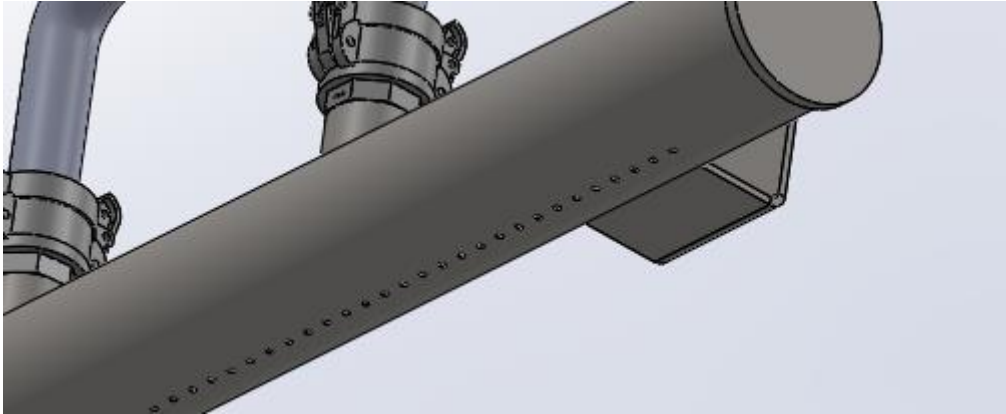


Sele 7.4. Perforeeritud plaat liimireservuaari ühtlustamiseks liimi jaotust

Labori liimitusmasina pea esmane mudel on näidatud seel 7.5. Liimitusavade asetus on toodud seel 7.6.

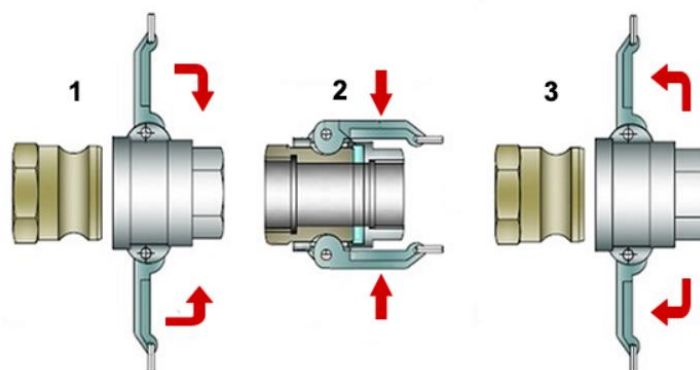


Sele 7.5. Liimitaja pea



Sele 7.6. Liimitusavade asukoht ja vahed

Voolikud kinnitatakse liimitaja pea külge Cam-Lock kiirliitmikega (sele 7.7), mis koosnevad pistikust ja pesast. Cam-lock liitmikud on sobivad, sest nendega saab voolikuid mugavalt pea küljest eemaldada. Neil ei ole keermeid, seega sobivad hästi ka tolmusesse keskkonda. Samuti on nende läbivoolu ava suurem kui paljudel teistel kiirliitmikel mistõttu ei mõjuta nad palju liimi voolamist. [31] Cam-lockid valitakse ka roostevabast terasest.

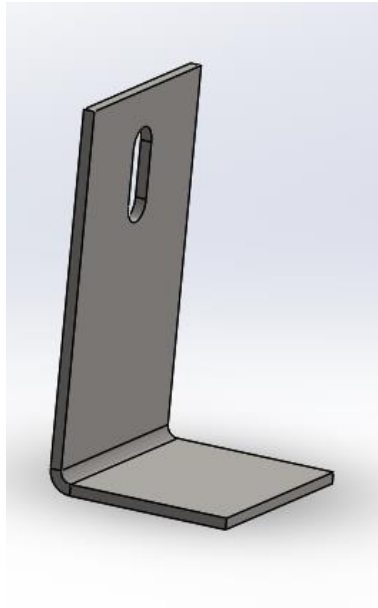


Sele 7.7. Camlock kiirkinnitus ja selle sulgemine

7.1.4 Kinnitamine raami külge

Liimitaja reservuaari olulised aspektid on peale suuruse, kuju ja materjali ka see, et seda saaks mugavalt raami küljes liigutada ja vajadusel raami küljest ära võtta, nt. pesemiseks.

Selleks saab kasutada L-kujulisi terasest kinniteid, mis on keevitatud reservuaari külge. Kinnitused ei pea olema roostevabad, kuna ei puutu liimiga kokku. L-kujuliste kinnituste otsa tehakse avad, millega saab need raami külge kruvida. Näidatud seel 7.8.



Sele 7.8. Liimitaja pea raamile kinnitus

7.2 Liimikogumise anum

Liimikogumise anum on masina osa, kuhu esialgu valatakse liim, mis sealt pumbatakse edasi liimireservuaari. Seega peab olema anum piisava pikkusega, et katta ära kogu liimireservuaari avade riba. Kogumisvann peaks olema võimalikult kitsas, et spoon saaks sellest üle libiseda, ühelt konveierilt järgmisele. Samal ajal peab vann mahutama piisavalt liimi, mida ringlusse lasta.

Kuigi anum ei ole mõeldud liimi hoiustamiseks, puutub see siiski piisavalt liimiga kokku. Samuti on vaja anum peale iga kasutuskorda puhastada. Seetõttu tuleb valida materjal, mis ei korrodeeru ja mida saab hõlpsasti pesta.

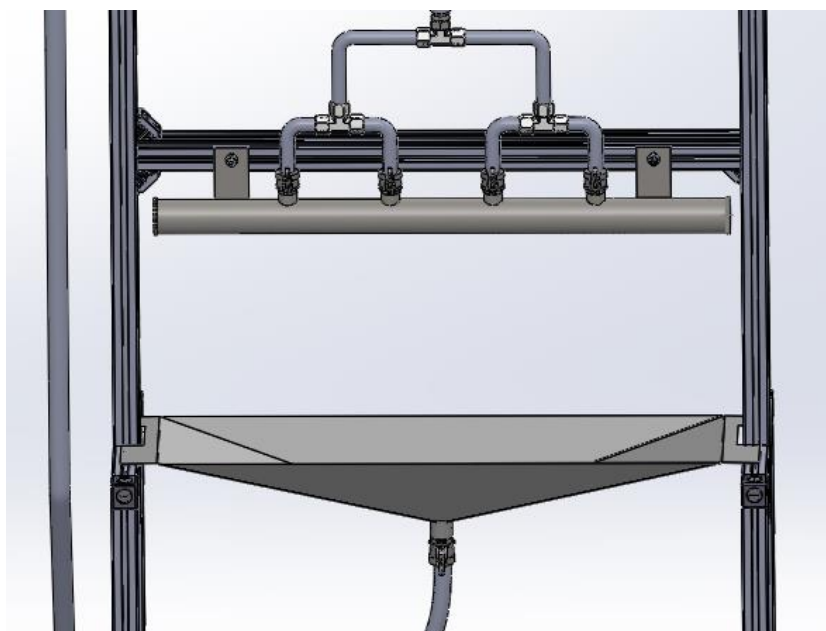
Nagu eelnevalt mainitud, soovitab Fenoolitootjate liit fenooli hoida roostevabast terasest markidega 304L või 316L nõudes. [27] [28]

Kui juhinduda Ameerika Raua ja Terasi instituudi disaini soovistest, siis võib valida aldehyüdide jaoks roostevaba terase margi 304. [29] Ka hinna poolest on 304 soodsam valik kui 316. [28]

Vann valmistatakse sellise pikkusega, et vanni ääred saab asetada raami peale. Vanni raami külge pole vaja kinnitada, kuna vann ei „liigu“ masina töö ajal. Vajadusel saab vanni raamist kergelt välja tõsta ja ära pesta kraani all.

Vanni külge kinnitatakse voolik, mis on ühendatud pumbaga, kui masin töötab. Selleks, et liimitamise lõppedes saaks ülejäänud liimi kokku koguda, on võimalik voolik vanni küljest eemaldada. Voolik ühendatakse Cam-lock liitmikuga. Kui liim on vannist välja lastud, saab süsteemi ära pesta sooja veega, ühendades vooliku vanni külge ja valades vanni vesi.

Vann raamiga on näidatud seel 7.9.



Sele 7.9. Liimivann raamil

7.3 Masina raam

Masina raam peab tagama masina stabiilsuse, suutma kanda erinevaid masina osasid ja olema piisavalt kerge, et masinat saaks liigutada.

Raam ei puutu otseselt kokku adhesiiviga, seega pole korrosioonikindlus raami puhul peamine parameeter. Siiski on oluline, et seda oleks mugav puhastada, juhul kui liim pritsib.

Raami puhul on oluline ka see, et liimitaja pead on võimalik liigutada (peamiselt üles-alla), kuna see on üks võimalus, kuidas reguleerida liimi kogust.

Plussiks on see, et masinat on kerge kokku panna ja vajadusel lahti võtta. Oma rolli mängib ka materjalide kättesaadavus ja hind.

Kuigi näiteks puit on kerge, aga tugev, ja sobib hästi konstruktsioonimaterjaliks, siis siinkohal peab arvestama ka sellega, et puidust osade tihe liigutamine üksteise suhtes vajab eraldi disaini. Samuti on puit poorne, mis teeb tema puhastamise raskeks. [6]

Madala süsiniku sisaldusega konstruktsiooniterased sobivad seadmetesse, mille koormus pole suur ja millel pole kõrgeid kulumisnõudeid. [32] Peale selle on konstruktsiooniteras kergesti kättesaadav, odav ja kergesti töödeldav - sobib erinevateks lõikamis- ja katmismeetoditeks ning on hea keevitatavusega. [33]

Variant on raami ehitamiseks kasutada ka alumiiniumprofiile, nt. MiniTec. [34] Alumiiniumprofiilid on väga levinud tööstustes, kuna on kergesti kokkupandavad ja kõiki profiile saab omavahel sobitada. Kuna Al-profiilid pole omavahel kokku keevitatud, siis on lihtne muuta nii masina kui ka liimitaja pea kõrgust.

Al-profiilide kasuks räägib ka nende kergus võrreldes terasprofiiliga – Al tihedus on ca 3x väiksem terase omast (2700 kg/m^3 Al; $6920 - 9130 \text{ kg/m}^3$). [35]

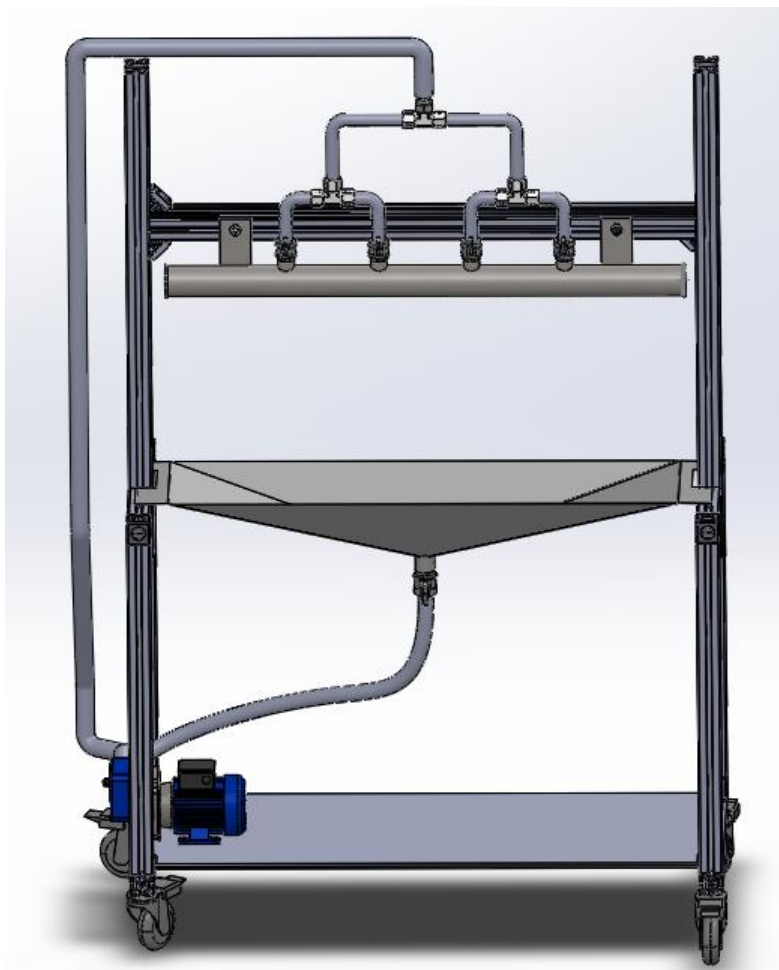
Just tänu materjali kergusele ja koostamise lihtsusele valitakse raami materjaliks Al-profiilid. Al-profiilide puhul saab liimitaja pea asukohta valida vabalt. Kui koostada raam terasest, siis tuleks raamile ette märkida kõrgused, kuhu pead tõsta soovitakse. See aga ei anna enam nii palju vabadust. Peale selle tuleks enne avade tegemist katsetada, mis kõrgused sobivad. Al-raami puhul jääb see tegevus ära. Hilisemas hinna arvutamise peatükis selgub, et eelarves on piisavalt varu Al-profiilide jaoks.

Raami stabiilsuse jaoks projekteeritakse alumine osa mitmest profiilist (näidatud sele 7.10). Sellele saab toetada ka liimitusvanni (sele 7.10)



Sele 7.10. Al-profiilidest raam

Liimitussüsteemi liigutamiseks laboris, pannakse raamile piduritega rattad alla. Raami alumisele osale kinnitatakse plaat, kuhu saab asetada pumba ja nõu, kuhu ülejäänud liim kogutakse protsessi lõpus. Kogu süsteem on näidatud seel 7.11.



Sele 7.11. Kogu süsteem Al-profiilidel

8. PUMBA ARVUTUSED JA VALIK

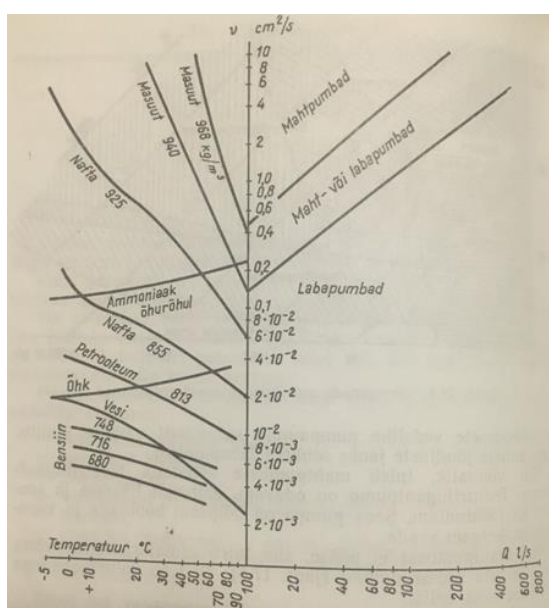
Pump on seade, millega vedelik süsteemis liikuma pannakse ehk tõstetakse madalamalt tasemelt kõrgemale. Neid liigitatakse kasutusala, pumbatava vedeliku, tööpõhimõtte jne järgi. Tööpõhimõtte järgi saab liigitada pumbad kaheks: dünaamilisteks ja mahtpumpadeks. [19]

Pumba tööd iseloomustavad parameetrid:

- Jõudlus Q , s.o. pumba ajaühikus läbiva vedeliku maht (m^3/h ; cm^3/s jne)
- Tõstekõrgus ehk surve H (m)
- Võimsus P (kW)
- Kasutegur η (%)
- Kavitatsioonivaru Δh
- Tööorgani liikumissagedus n

8.1 Pumba valik

Pumba valimiseks on vaja teada vedeliku omadusi, millega pump peab töötama (liik, viskoossus, keemiline koostis, tihedus). Esimese valiku saab teha viskoossuse järgi. Seel 8.1 on toodud erinevad pumbatüübid ja nende võimekuse järgi töödelda viskoosseid vedelikke.

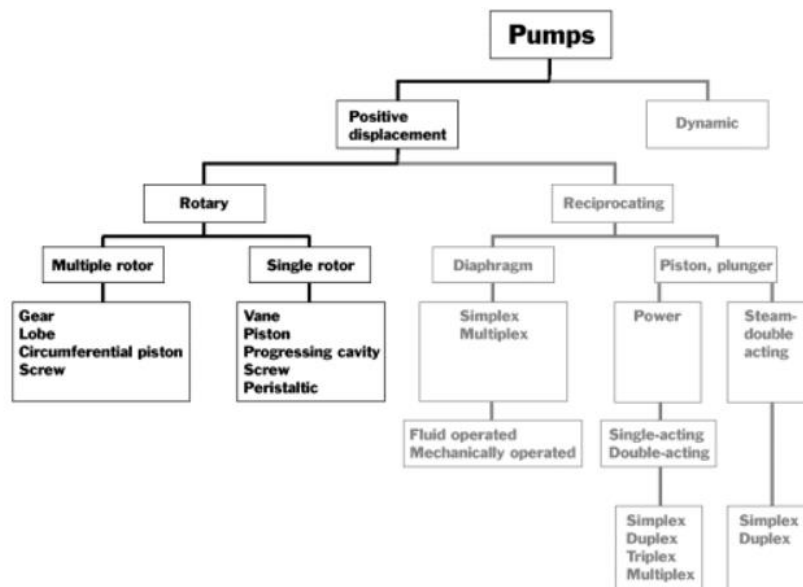


Sele 8.1. Pumba valik sõltuvalt vedeliku viskoossusest

Laboris kasutatava FF-liimi viskoossus on ca 11 cm²/s, seega jäävad valikusse mahtpumbad. Ka kirjanduses tuuakse välja, et ekstrusiooniprotsessis kasutatakse just mahtpumpa, põhiliselt hammasrataspumpa. [7], [30]

Mahtpumbad jagunevad kahte suurde klassi: rootor ja edasi-tagasi liikuva tööorganiga pumbad. Kuna projekteeritavas süsteemis on vaja ühtlast voolu, mitte pulseerivat, siis jäetakse edasi-tagasi süsteemiga pumbad kõrvale.

Rootor pumbad jagunevad omakorda mitme rootoriga ja ühe rootoriga pumpadeks. Ülevaade toodud seel 8.2.



Sele 8.2. Pumpade perekonnad

Peale hammasrataspumpade on levinud nii puidu- kui ka keemiatööstuses voolikpumbad (peristaltiline). Hammasrataspumpade puhul liigub vedelik hambavahedes imipoolelt survepoolele. Pumbas on kaks ühesuurust teineteisega hambuvat hammasratat, millest üks on ühendatud ajamiga ja teine jookseb kaasa. Voolikpumbas liigub vedelik elastses kummi- või plastvoolikus, mida veerevad rullid vastu pumba sisepinda kokku suruvad ja niimoodi vedelikku edasi tõukavad. [19]

Voolikpump sobib hästi protsessidesse, kus vedelik võib pumba sisemust kahjustada või kus pumbatav vedelik peab säilitama puhtuse. Hammasrataspumbad sobivad hästi kõrge temperatuuriga kõrge viskoossustega vedelike transpordiks. Voolikpumbad suudavad pumbata nii paksemaid kui vedelamaid vedelikke sama kasuteguriga. [36]

Hammasrataspumba kasuks räägib ühtlane vool ja vähene müratase. Samuti on nad töökindlad, lihtsa disainiga ja hoolduse kulud on väikesed. Voolikpumba hooldus on lihtsam, kuna vahetama peab vaid pumba sees olevat voolikut. [36], [37]

8.2 Pumba töökarakteristikud

Et otsustada, milline on sobiv mahtpump projekteeritavale süsteemile on vaja teada võrgukarakteristikut ehk on vaja teada, kui suur survet on vaja torustiku alguses, et selle lõppu jõuaks vooluhulk Q. Survet peab piisama staatilise tõstekõrguse ja torustikus tekkiva survekao ületamiseks. [19]

Pumba täissurve ehk dünaamiline tõstekõrgus on staatilise tõstekõrguse ja survekadude summa.

$$H = H_{st} + h_t \quad (15)$$

Kus

H_{st} – staatiline tõstekõrgus (m)

h_t - survekadu

Survekadu saab arvutada läbi hõõrde- ja kohtsurvekadude summa:

$$h_t = \sum h_l + \sum h_k = \sum \lambda * \frac{l}{d} * \frac{v^2}{2 * g} + \sum \zeta * \frac{v^2}{2 * g} \quad (16)$$

Kus

λ – hõõrdetakistustegur

l ja d – toru pikkus ja läbimõõt (m)

v – voolukiirus torus (m/s)

ζ – kohttakistustegur

Labori süsteemi saab jagada kolmeks osaks:

- 1) Voolik, mis viib liimi manifoldini
- 2) Manifoldist liimitaja peani
- 3) Liimitaja pea ehk reservuaar

Et leida kogu süsteemi H, on vaja leida survekaod nendes kolmes osas. Süsteemi kohta on teada järgmised andmed (Tabel 12). Maksimaalne kiirus on võetud arvestusega, et takistused ei läheks ebamõistlikult suureks ja et vähendada müra.

Vooluhulk on valitud liimikoguse 200g/m² peale arvestusega, et etteandekiirus on 0,33m/s. 200g/m² on võetud varuga, sest tellija maksimum määr oli 170g/m².

Tabel 12. Teadaolevad liimitaja arväärtused

| Parameeter: | Tähis | Arvväärtus | ühik |
|-------------|-------|------------|------|
|-------------|-------|------------|------|

| | | | |
|--|-------------------|----------|-------------------|
| maksimaalne kiirus voolikus | V | 1,5 | m/s |
| vooliku pikkus pumbast manifoldini | l ₁ | 2 | m |
| vooliku pikkus manifoldist liimitajani | l ₂ | 0,5 | m |
| liimitaja pea pikkus | l ₃ | 1 | m |
| liimitaja pea läbimõõt | d _{liim} | 0,06 | m |
| liimitaja pea avade läbimõõt | d _{ava} | 0,0025 | m |
| liimitaja pea avade arv | n ₁ | 89 | tk |
| perforeeritud plaadi ava läbimõõt | d _{perf} | 0,1 | m |
| perforeeritud plaadi avade arv | n ₂ | 264 | tk |
| vooluhulk liimitajast | Q | 0,000052 | m ³ /s |
| Liimi kinemaatiline viskoossus | v | 0,00112 | m ² /s |

8.2.1 Vooliku materjal

Taaskord on oluline, et vooliku materjal oleks sobiv transporditavale vedelikule. Tubes International toob välja materjalid, mis sobivad fenooli ja fenool-formaldehüüdi transpordiks. Sobivad voolikud on näiteks ristseotud polüetüleen (XLPE), polütetrafluoroetüleen (PTFE), fenoolile ka kõrgmolekulaarne polüetüleen (UPE). [38] Variant on kasutada ka metallvoolikuid, kuhu saab vooliku otsad külge keevitada, kuid kui soovida süsteemi, mida saab ilma keevituseta ümber ehitada, tuleb valida kas XLPE või UPE voolik. XLPE voolikul on sees metallspiraal, mis teeb vooliku raskemaks ja vähem painduvaks, seega valitakse esmaseks vooliku lahenduseks UPE voolik. Tehnilised parameetrid antud lisa 2.

8.2.2 Survekaod pumbast manifoldini

Vooliku diameetri valimiseks koostatakse tabel erinevatest vooliku sisediameetritest ja leitakse liimi keskkiirus voolikus ja Reynoldsi arv valemite (4)(5)(6)(7) abil, mis on näidatud alapeatükis 6.3. Kõik väärtused ja arvutused on kogutud tabel 13. Reynoldsi arv näitab, et voolamine voolikus on laminaarne ning hõõrdetakistusteguri λ saab leida valemiga

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (17)$$

Hõõrdesurvekao saab leida valemi 16 esimesest poolest ja on näidatud tabelis 13. Kohtsurvekadude arvutamise aluseks võetakse enamesinevate kohttakistuste ζ -väärtused, mis leitakse „Hüdraulika ja pumbad“ raamatust [19] ja summeeritakse need. Sissevool pumbast voolikusse võetakse $\zeta = 0,5$. Lihtsustades võetakse manifoldist läbivoolu jaoks aluseks valem, mis katab järsku ahendit, kuna vool jagatakse mitmeks osaks.

$$\zeta = 0,5 * (1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2)$$

(18)

Kus

d – aheneva osa läbimõõt (m)

D – sissevoolutoru läbimõõt (m)

Kui on teada kohttakistusteguri väärtused, saab arvutada kohtsurvekaod valemi 16 teise poolega. Kui on arvatud nii hõõrde- kui ka survekaod, saab need summeerides kätte survekaod osale pumbast manifoldini.

Tabel 13. Survekaod pumbast manifoldini

| Vooliku välisläbimõõt (m) | Vooliku siseläbimõõt D (m) | keskkiirus v (m/s) | Reynoldsi arv Re | hõõrdetakistustegur λ | hõõrdesurvekadu hl (m) | järskahend d (m) | kohttakistustegur ζ | kohtsurvekadu hk | ht (m) |
|---------------------------|----------------------------|--------------------|------------------|-------------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|--------|
| 0,002 | 0,010 | 0,66 | 5,92 | 10,81 | 48,39 | | | | |
| 0,002 | 0,019 | 0,18 | 3,12 | 20,54 | 3,71 | | | | |
| 0,004 | 0,025 | 0,11 | 2,37 | 27,02 | 1,24 | 0,019/0,025 | 0,71/0,50 | 0,00041/0,00029 | 1,24 |
| 0,005 | 0,032 | 0,07 | 1,85 | 34,59 | 0,46 | 0,019/0,025 | 0,82/0,70 | 0,00018/0,00015 | 0,46 |
| 0,005 | 0,038 | 0,05 | 1,56 | 41,07 | 0,23 | 0,019/0,025 | 0,88/0,78 | 0,000093/0,00008 | 0,23 |
| 0,007 | 0,051 | 0,03 | 1,16 | 55,12 | 0,07 | 0,019/0,025 | 0,93/0,88 | 0,00003 | 0,07 |
| 0,009 | 0,080 | 0,01 | 0,74 | 86,47 | 0,01 | 0,019/0,025 | 0,97/0,95 | 0,00001 | 0,01 |

8.2.3 Survekaod manifoldist liimitaja peani

Manifoldist jaotatakse liimi vool mitmeks osaks, et tagada ühtlasem jaotus spoonile. Lihtsustamiseks arvestatakse ainult esimest manifoldi, kust jagatakse liimi kogus neljaks. Esialgu arvutatakse kaod ühele osale ja korrutatakse see neljaga läbi. Kuna ei ole teada täpne sobiv vooliku läbimõõt, tehakse tabel mitme väärtusega. Tabel 14 annab ülevaate arvutatud kadudest erinevatele diameetritele.

Hõõrdesurvekadu arvutatakse samade valemitega mis eelnevale osale. Kuna nüüd voolab liim voolikust suuremasse nõusse, arvutatakse kohttakistustegur järsole laiendile. Laiendi mõõt võetakse lihtsustatult jagades liimitusavadega osa pikkus kolmeks ehk 0,23m. Vastav valem võetakse Maastiku jt. järgi. [19]

$$\zeta = (1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2)^2$$

Kus

d – sissevoolu toru diameeter (d)

D – laieneva ala läbimõõt (m)

Kui kohttakistustegur on leitud, saab arvutada kohtsurvekaod ja kõik survekaod.

Tabel 14. Survekaod manifoldist liimitaja peani

| Vooliku välisläbimõõt (m) | Vooliku siseläbimõõt D (m) | keskkiirus v (m/s) | Reynoldsi arv Re | hõõrdetakistustegur λ | hõõrdesurvekadu h_l (m) | Järsklaiend d (m) | kohttakistustegur ζ | kohtsurvekadu h_k | h_t (m) |
|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------|---------------|
| 0,0024 | 0,01 | 0,22 | 1,97 | 32,43 | 4,03 | 0,23 | 0,996 | 0,002 | 3,026 |
| 0,0024 | 0,019 | 0,06 | 1,04 | 61,61 | 0,31 | 0,23 | 0,986 | 0,0001 | 0,23 |
| 0,0038 | 0,025 | 0,04 | 0,79 | 81,06 | 0,10 | 0,23 | 0,977 | 0,00003 | 0,08 |
| 0,0046 | 0,032 | 0,02 | 0,62 | 103,76 | 0,04 | 0,23 | 0,962 | 0,00001 | 0,03 |
| 0,0052 | 0,038 | 0,02 | 0,52 | 123,21 | 0,02 | 0,23 | 0,904 | 0,00001 | 0,005 |

8.2.4 Liimitaja pea ehk reservuaari survekaod

Liimitaja pea survekaod arvutatakse nii, et esimesena arvutatakse kogu reservuaarile hõõrdekadu. Kohtsurvekadu arvutatakse liimitaja avadele, kust liim väljub, ja perforeeritud plaadile, mis on liimitaja pea sees.

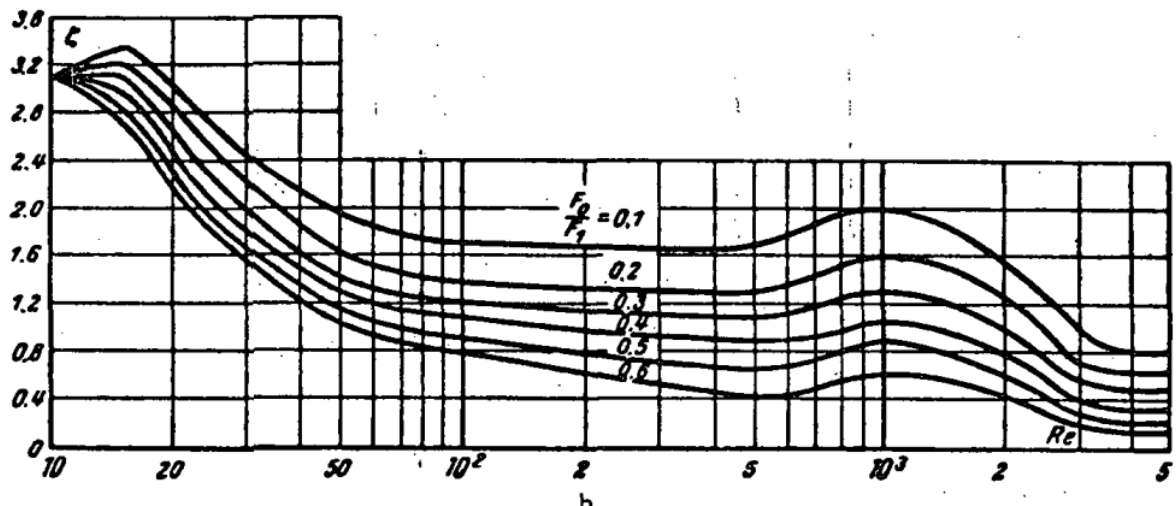
Hõõrdesurvekaod arvutatakse samamoodi nagu arvutati hõõrdekaod voolikutele. Erineva diameetriga torude kaod on leitud Tabel 15.

Tabel 15. Hõõrdesurvekaod erineva diameetriga liimireservuaarile

| Toru siseläbimõõt d (m) | ristlõike pindala A (m^2) | keskkiirus v (m/s) | Reynoldsi arv Re | hõõrdetakistustegur λ | hõõrdesurvekadu h_l (m) |
|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 0,054 | 0,002 | 0,023 | 1,10 | 58,36 | 0,0285 |
| 0,068 | 0,004 | 0,014 | 0,87 | 73,50 | 0,0113 |
| 0,082 | 0,005 | 0,010 | 0,72 | 88,63 | 0,0054 |
| 0,094 | 0,007 | 0,007 | 0,63 | 101,60 | 0,0031 |
| 0,104 | 0,008 | 0,006 | 0,57 | 112,41 | 0,0021 |

Teiseks leitakse kohttakistustegur avadele, kust liim välja voolab. Ava diameeter on eelnevalt määratud – 2,5mm. Leitakse Re arv valemi 13 järgi, erinevatele reservuaari kõrgustele.

Kohttakistustegur sõltub Reynoldsi arvust ja see võetakse Idelchiku graafikult voolu järsk laienemine laminaarses voolus (sele 8.3).[18] Kui arvestada, et 2,5mm ava on 10mm ala peal, siis saame võtta graafikult Re arvu joone $2,5/10 = 0,25 \approx 0,3$ pealt. Kuna Re arv on väike, siis kohttakistustegur ühele avale võrdub 3. Avasid on kokku 89tk, seega korrutatakse tegur läbi kõikide avadega.



Sele 8.3. Graafik järsu laienemise kohttakistustegurite sõltuvus Re arvust

Liimi reservuaari sees on perforeeritud plaat, millele on samuti vaja leida kohtsurvekadu. Kasutatakse sama loogikat kui liimitaja avade puhul: leitakse Reynoldsi arv ja selle järgi loetakse sealt 8.3 kohttakistustegur, perforeeritud plaadis on avasid 264, seega korrutatakse tegur läbi avade arvuga.

Kui on leitud nii hõõrdesurvekadu liimitaja peas kui ka kohtsurvekaod, liidetakse need omavahel ja saadakse kogu surve kadu.

Saadud väärtused on toodud Tabel 16.

Tabel 16. Liimitaja pea survekaod

| Toru siseläbimõõt d (m) | ristlõike pindala A (m ²) | keskkiirus torus v (m/s) | Reynoldsi arv Re | hõõrdetakistustegur λ | hõõrdesurvekadu hl (m) | Kohtsurvekadu hk (liimi ava + perf plaat) | ht (m) |
|-------------------------|---------------------------------------|--------------------------|------------------|-----------------------|------------------------|---|--------|
| 0,054 | 0,002 | 0,023 | 1,10 | 58,36 | 0,028 | 8,95 | 8,98 |
| 0,068 | 0,004 | 0,014 | 0,87 | 73,50 | 0,011 | 11,27 | 11,28 |
| 0,082 | 0,005 | 0,010 | 0,72 | 88,63 | 0,005 | 13,59 | 13,60 |
| 0,094 | 0,007 | 0,007 | 0,63 | 101,60 | 0,003 | 15,58 | 15,58 |
| 0,104 | 0,008 | 0,006 | 0,57 | 112,41 | 0,002 | 17,24 | 17,24 |

8.2.5 Kogu süsteemi survekadu

Kui on eraldi arvatud välja osade survekaod, siis saab need kokku liita, saades terve süsteemi survekao, mille kaudu saab valida pumba. Kui võtta aluseks, et 1,5m/s on maksimaalne kiirus voolikus, siis kõik valitud vooliku suurused sobiksid. Kuna on teada umbkaudne survekadu, siis saab sellest lähtuda pumba valikul ja vooliku diameeter valida pumbale sobivalt.

Näiteks North Ridge Pumps pakub voolikpumpasid, mis sobiks laborisse ja mille sisse ja väljavoolu ava suurused on kas 19mm või 25mm. Sel juhul on mõttekas valida voolik, mille sisediaameeter on kas 19 või 25mm. [39]

Kui valida süsteem, kus pumbast manifoldini läheb voolik läbimõõduga 25mm ja manifoldist edasi voolik mõõduga 19mm, siis tuleks h_t kokku

$$h_{t(kokku)} = h_{t(25)} + 3 * h_{t(19)} + h_{t(60)} = 1,24 + 4 * 0,23 + 8,98 = 11,15m$$

Pumba täissurve on sel juhul valemi 15 järgi

$$H = 2 + 11,15 = 13,15m$$

Pumba kasuliku võimsuse saab arvutada valemist

$$P_k = \frac{\rho * g * Q * H}{1000}$$

(20)

Kus

ρ – vedeliku tihedus (kg/m^3)

g – raskuskiirendus (m/s^2)

Q – vooluhulk (m^3/s)

H – tõstekõrgus (m)

Kasulik võimsus on arvutuslikult

$$P_k = \frac{1187 * 9,8 * 0,000052 * 13,15}{1000} = 0,008kW$$

8.2.6 Pump

Pump valitakse eelnevate arvutuste, sisse- ja väljavoolu voolikute sobivuse ja North Ridge konsultantide soovitude põhjal.

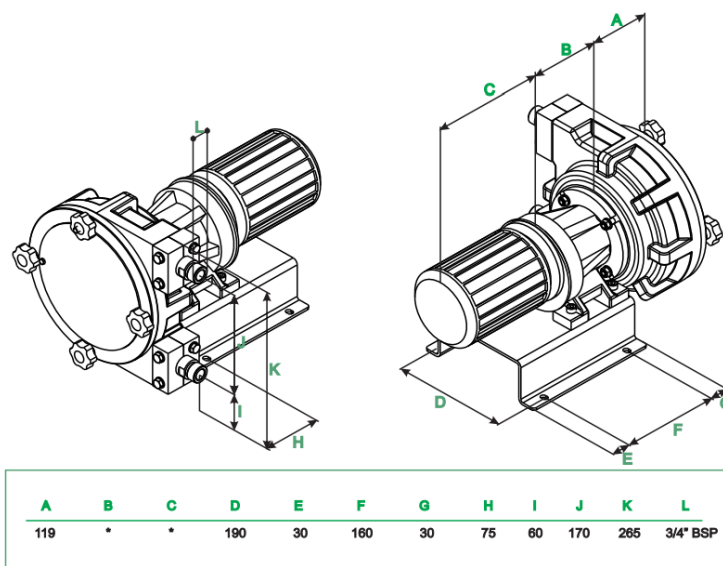
Sobivaks mudeliks valiti voolikpump Boyser AMP-16/D (sele 8.4). Kuna voolikpumba puhul puutub liim kokku vaid voolikuga, siis pumba materjal pole nii oluline. Vooliku saab tellida kemikaalile vastavalt, fenool-formaldehüüdile sobib nt. eteenpropeendieenkumm EPDM. Sisse- ja väljavooluotsad on roostevabast terasest. Otsad on kas 19 või 25mm, mille saab valida vastavalt vooliku arvutustele.

Pumba maksimaalne vooluhulk on $0,58m^3/h$ olenevalt lisadest, aga ta suudab pumbata ka väikseid koguseid nagu $0,005m^3/h$. Maksimaalne survekadu on 80m, mis labori süsteemis on suurem kui vaja, kuid jätab võimaluse tulevikus kas protsessi kiirendada või pumbata viskoossemaid vedelikke. Võimsus on $0,092l/pööre$. [39]

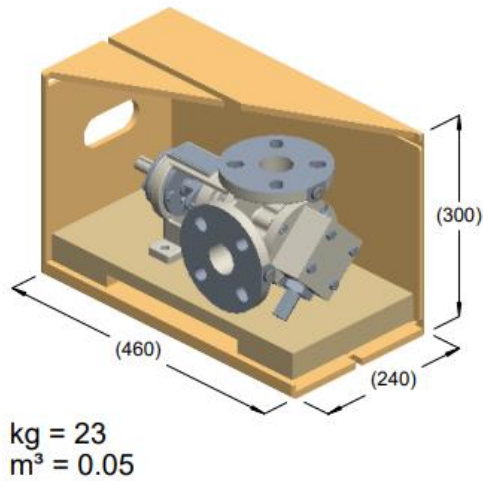


Sele 8.4. Boyser AMP16 seeria voolikpump reduktoriga

Selle seeria pumbad on lihtsa disainiga, kuid mõeldud just erinevate kemikaalide nagu liim, vaik, tint jne., transpordiks. Võrreldes samade parameetritega hammasrataspumbaga, on voolikpump mõõtudelt kompaktsem, mistõttu see sobib laborisse paremini (sele 8.5 ja 8.6).



Sele 8.5. Voolikpumba Boyser AMP mõõdud

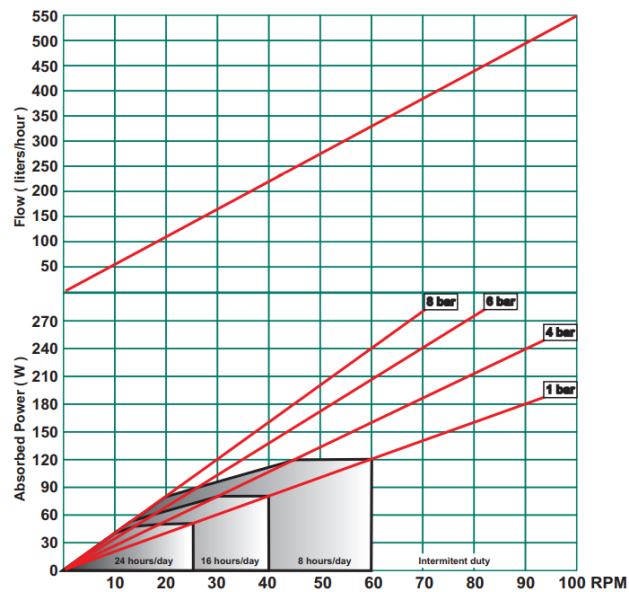


Sele 8.6. Sarnaste parameetritega hammasrataspump. Pumbale lisandub veel mootor.
[40]

Pumbas pole mehhaanilisi tihendeid, seega saab pump töötada tühjalt ilma kahjustusteta.

Boyseri pumba on võimalik tellida juba sisseehitatud sagedusmuunduriga, mis teeb liimi koguse reguleerimise lihtsaks.

Pumba vooluhulga, kasutatud võimsuse ja pöörete graafik on antud seel 8.7.



Sele 8.7. Peristaltilise pumba vooluhulga, võimsuse ja pöörded/min graafik.

9. KONVEIERI AJAMI ARVUTUS

Liimituse ühtlus ja kvaliteet sõltub sellest, kui palju liimi jõuab spoonile. Osaliselt saab seda reguleerida pumba kiirusega. Olulist rolli mängib aga ka etteandekiirus. Etteandekiirust reguleeritakse valitud liimitussüsteemis konveieriga. Konveier on siinkohal standardne lahendus ja töös arvutatakse vaid vajamineva ajami võimsus. Konveierile peab paigaldama ka sagedusmuunduri.

Liimituse laius on 900mm, seega peab ka konveieri lindi laius olema vähemalt 900mm. Konveieri pikkuseks arvestatakse 1000mm.

Konveieri ja lindi parameetrid on välja toodud Tabel 17.

Tabel 17. Lindi ja konveieri andmed

| Lint | | | Transporditav materjal | | |
|-------------------------|------------|--------------------|---|-----|----|
| Pikkus | 1000 | mm | vineer | 0,6 | kg |
| Laius | 900 | mm | clt | 3,6 | kg |
| Paksus | 10 | mm | | | |
| Tihedus | 0,00000136 | kg/mm ³ | | | |
| Lindi ruumala | 9000000 | | | | |
| Lindi kaal | 12,24 | kg | | | |
| | | | Arvestatud on clt kaalu, kuna see on raskem | | |
| Lindi ja materjali kaal | 15,84 | kg | | | |
| Lineaarkiirus | 0,33 | m/s | | | |
| | 19,8 | m/min | | | |
| hõõrde koefitsent | 0,5 | | | | |

Esiteks arvutatakse vajaminev tõmme (required belt pull) kaalu ja hõõrde koefitsendi kaudu.

$$tõmme = kaal * koefitsent = 15,84 * 0,5 = 7,92kg$$

Sellest saab arvutada vajamineva võimsuse

$$P = tõmme * lineaarkiirus = 7,92 * 19,8 = 156,62 m * kg/min$$

Kui võtta varuteguriks 2 ja arvestada võimsus kW-desse ümber, siis tuleb konveieri võimsuseks 0,05 kW ehk ca 0,1kW.

Laborile projekteeritakse analoogne konveier kui näidatud seel 9.1.



Sele 9.1. Lintkonveier.

10. LIIMITUSSÜSTEEMI HIND

Kui süsteemi osad on valitud, siis saab kokku arvutada liimitusmasina hinna. Töö raames ei ole arvesse võetud kõiki hindu vaid ainult suuremate osade. Hinnad ja kogusumma on ära toodud Tabel 18.

Mõnele tootele on toodud alternatiiv ja selle hind, nt. kui liimikogumisvann teha plastikust, siis selle hind 514.-. Kokku on arvatud ka alternatiivne kogusumma.

Tabel 18. Liimitusmasina osade hind ja summa kokku

| Raam | Hind (eur) | |
|--|-------------|-------------|
| Al-profiilid + kinnitused | 450 | |
| Rattad (4tk) | 15 | |
| Vann | | |
| Plastik | | 514 |
| Roostevaba teras | 700 | |
| Hüdraulika osad | | |
| Pump | 3500 | |
| Voolikud | 100 | |
| Klambrid | 25 | |
| Camlock + vastus (5tk) | 90 | |
| PTFE tihend (5tk) | 90 | |
| Liitmik | 20 | |
| Liimitaja pea | | |
| Roostevaba toru | 70 | |
| Töötlus | 200 | |
| Perforeeritud plaat | 10 | |
| Kinnitused raamile | 20 | |
| Süsteemi erinevad lisad | 300 | |
| Projekteerimise ja ehitamise tööjõukulu | 1500 | |
| | | |
| Summa | 7090 | 6954 |

Liimitusmasina ligikaudne hind on 7100.- euri, mis on isegi väiksem kui eelarves. Täis süsteemi lahenduseks on vaja juurde projekteerida konveierid, mis viivad spooni ühtlaselt liimribade alt läbi. Kui lisadele mõeldud 3000 eurost ei piisa, saab osa ülejäägist suunata sinna.

KOKKUVÕTE

Magistritöö eesmärgiks oli leida optimaalne lahendus ühepoolseks liimituseks Puidutehnoloogia laborile.

Esmalt teostati turu-uuring, et selgitada, kas vajalik liimitussüsteem juba eksisteerib. Uuringust leiti, et süsteeme väikestele tootmismahdadele küll leidub, ent üldiselt need ei sobinud, erinevatel põhjustel.

Edasi pandi paika disainiparameetrid ja hakati otsima parimat lahendust. Valituks osutus liimiekstrusioonil põhinev süsteem, kuna selle liimitusmeetodi liimikulu on kõige väiksem ja pealekanne ühtlane.

Esmaste parameetrite teadasaamiseks viidi läbi katsed, mille jaoks ehitati kolm prototüüpi. Esimene oli 900mm lai ja 4mm liimitusavadega, teine oli 450mm lai ja 2,5mm avadega ja kolmas oli muudatus teisest prototüübist. Kõik prototüübid näitasid, et liimi ühtlane jaotus on väljakutse ja liiga viskoosne liim ei lähe väikestest avadest läbi. Ehk tuleb väga täpselt jälgida liimitootja juhendeid.

Peale katsetamist uuriti teooriat ja sarnaseid tooteid, et leida lahendus liimi ebaühtlasele jaotusele. Projekteeritud seadele pandi rohkem liimi sissevoolutorusid kui prototüüpidel. Liimitaja pea sisse pandi perforeeritud plaat, mis aeglustab liimi voolu ja aitab liimi paremini jagada.

Töö käigus valiti ka materjalid masina osadele ja tehti arvutused pumba valikuks. Masina raam ehitatakse Al-profiilidest Minitec, sest Al-profiilidel saab teisi masina osasid mugavalt liigutada, liimitaja pea ja liimikogumisvann tulevad roostevabast terasest, sest see sobib liimisesse keskkonda. Voolikute ühendused tehakse Cam-lock kiirliitmikega, et oleks mugav liimitaja reservuaari masina küljest võtta, nt. pesemiseks. Pump valiti voolikpump (peristaltiline), mis suudab ühtlaselt pumbata nii suuri kui ka väikeseid koguseid. Ühtlase jaotuse tagab ka pumba ja konveieri õiged kiirused.

Töösse ei jõudnud konveieri projekteerimine ja liimiavasid kattev klapp, mis tehakse edaspidi.

Magistritöö käigus selgus teiste tootjatega suheldes, et selliste masinate ehitusega käib kaasas palju katsetamist. Seega on magistritöö vaid üks etapp liimimasina projekteerimises. Magistritöö tulemused on oluline samm masina valmimisel.

SUMMARY

The aim of the master's thesis was to find an optimal solution for one-sided gluing for the Wood Technology laboratory.

First, a market survey was carried out to clarify whether the necessary gluing system already exists. The study found that there were systems for small production volumes, but they were generally not suitable for various reasons.

Next, the design parameters were established and the search for the best solution began. The system based on glue extrusion was chosen because the glue consumption of this gluing method is the lowest and the application is uniform.

To find out the primary parameters, tests were conducted for which three prototypes were built. The first was 900mm wide with 4mm glue holes, the second was 450mm wide with 2.5mm holes and the third was an alteration from the second prototype. All of the prototypes showed that even distribution of the glue is a challenge and too viscous glue will not pass through the small openings. The glue manufacturer's instructions have to be followed very precisely.

After testing, theory and similar products were studied to find a solution to the uneven distribution of glue. More glue inlet tubes were placed on the designed device than on the prototypes. A perforated plate was placed inside the head of the gluer, which slows down the flow of glue and helps distribute the glue better.

During the work, the materials for the machine parts were also selected and calculations were made for the selection of the pump. The frame of the machine is made of Al profiles Minitec, because other parts of the machine can be moved comfortably on Al profiles; the head of the gluer and the glue collection tub are made of stainless steel, because it is suitable for the gluing environment. Hose connections are made with Cam-lock quick couplings, so that it is convenient to remove the glue reservoir from the machine, e.g. for washing.

The pump was chosen as a hose pump (peristaltic), which can pump both large and small quantities evenly.

The design of the conveyor and the valve covering the glue holes did not make it to work, which will be done in the future.

In the course of this master's thesis, it became clear when communicating with other manufacturers that the construction of such machines involves a lot of testing. Thus, the master's thesis is only one phase in the design of the glue machine. The results of the master's thesis are an important step in the completion of the machine.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] J. Kermik, *Lutheri vabrik: vineer ja mööbel*. Tallinn: Eesti Arhitektuurimuuseum, 2004.
- [2] S. Treial, Spooni ja vineeri tootmine Eestis, Materjali- ja keskkonnatehnoloogia instituut, 2018.
- [3] EMPL, Metsa- ja puidutööstus 2021, 2021.
- [4] Global Engineered Wood Market (2022-2027).
- [5] ForestBioFacts. <https://forestbiofacts.com/wood-products/plywood/> (vaadatud dets 04, 2022)
- [6] J. C. F. Walker, *Primary wood processing: Principles and practice*. Springer Netherlands, 2006.
- [7] T. Sellers, *Plywood and adhesive technology*. M. Dekker, 1985.
- [8] V. J. Rinne, *The Manufacture of Veneer and Plywood*. OY Kuopion Kansallinen Kirjapaino, 1952.
- [9] Finnish Woodworking Engineers Association, *Wood-Based Panels Industry*. Kirjakaari Oy, 2018.
- [10] R. F. Baldwin, *Plywood and veneer-based products: manufacturing practices*. Miller Freeman Books, 1995.
- [11] Raute One-sided Liquid Extruder Gluing (LEG): The breakthrough glue saving solution. <https://www.raute.com/blog/solutions/raute-one-sided-liquid-extruder-gluing-leg-the-breakthrough-glue-saving-solution/> (vaadatud dets 04, 2022).
- [12] Latest Development in Gluing, *EWPA Annual General Meeting*. 2008.
- [13] Awutek Oy. <https://awutek.fi/yritys?lang=et> (vaadatud dets 24, 2022).
- [14] Raute Oy. <https://www.raute.com/> (vaadatud dets 16, 2022).
- [15] Huge demand for Raute plywood line in 2022, *Wood&Panel Europe*. <https://www.woodandpanel.com/woodnews/article/hot-demand-for-raute-plywood/> (vaadatud dets 16, 2022).
- [16] Oest GmbH. <https://www.oestgroup.com/mechanical-engineering> (vaadatud dets 16, 2022).
- [17] G. Pahl, W. Beitz, J. Feldhusen, ja K. H. Grote, *Engineering design: A systematic approach*. Springer London, 2007. doi: 10.1007/978-1-84628-319-2.
- [18] I. E. Idelchik, *Handbook of hydraulic resistance*, kd 3rd Ed. Jaico Publ. House, 2008.
- [19] A. , Maastik, H. , Haldre, T. , Koppel, ja L. Paal, *Hüdraulika ja pumbad*. Greif, 1995.

- [20] W. P. Graebel, *Engineering fluid mechanics. International Student Edition*. Taylor & Francis, 2001.
- [21] A. M., N. B., ja L. M., „Polymer Gel Rheology and Adhesion“, *Rheology*, märts 2012, doi: 10.5772/36975.
- [22] BASF Group, Practical Guide to Rheology Modifiers. [Online]. Available: www.basf.com/formulation-additives
- [23] J. C. Domínguez, M. Oliet, M. v. Alonso, E. Rojo, ja F. Rodríguez, „Structural, thermal and rheological behavior of a bio-based phenolic resin in relation to a commercial resol resin“, *Ind Crops Prod*, kd 42, nr 1, lk 308–314, märts 2013, doi: 10.1016/J.INDCROP.2012.06.004.
- [24] S. Laamanen, Defining Surface Chemical and Rheological Properties of Resins for Curtain Coating, Lappeenranta teknillinen yliopisto, 2018.
- [25] P. Lingenfelter, e-kirja teel suhtlus. 2022.
- [26] S. Ubal, B. Xu, B. Derby, ja P. Grassia, „Continuous deposition of a liquid thread onto a moving substrate. numerical analysis and comparison with experiments“, *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME*, kd 134, nr 2, 2012, doi: 10.1115/1.4005668.
- [27] Olin, PHENOL. PRODUCT STEWARDSHIP MANUAL. [Online]. Available: www.cefic.org,
- [28] Mis on erinevus klassi 304 ja 316 roostevaba terase vahel? <https://fractory.com/et/erinevus-klassi-304-ja-316-roostevaba-terase-vahel/> (vaadatud dets 17, 2022).
- [29] NICKEL DEVELOPMENT INSTITUTE, DESIGN GUIDELINES FOR THE SELECTION AND USE OF STAINLESS STEEL.
- [30] A GUIDE TO POLYOLEFIN EXTRUSION COATING, Houston.
- [31] Camlock vs Quick Disconnect Fittings Comparison - Brewery Use. <https://www.pvcfittingsonline.com/resource-center/camlock-vs-quick-disconnect-fittings-in-a-brewery/> (vaadatud jaan 02, 2023).
- [32] Teraste S235, S275, S355, S420 vahe ja omadused. <https://fractory.com/et/terase-s235-s275-s355-s420-vahe-ja-nende-omadused/> (vaadatud dets 17, 2022).
- [33] Mild Steel – All You Need to Know. https://fractory.com/what-is-mild-steel/#Applications_and_Use-Cases (vaadatud dets 17, 2022).
- [34] MiniTec alumiiniumprofiilid ja lahendused. <https://www.alas-kuul.ee/et/minitec-alumiiniumprofiilid> (vaadatud dets 17, 2022).
- [35] S. K. S. R. Schmid, *Manufacturing Engineering and Technology*. Pearson, 2013.
- [36] S. Hooton, „Peristaltic Pumps with Onboard Variable Speed Drive for Water Based Glue and Ink Transfer“, 2021. <https://www.northridgepumps.com/article->

- 307_peristaltic-pumps-with-onboard-variable-speed-drive-for-water-based-glue-and-ink-transfer (vaadatud dets 19, 2022).
- [37] Cole-Parmer, Gear Up: How Gear Pumps Stack Up, 2020. <https://www.coleparmer.com/tech-article/gear-pumps> (vaadatud dets 19, 2022).
- [38] Tubes International - HOSES AND FITTINGS FOR INDUSTRY. <https://www.tubes-international.com/table-of-hose-material-chemical-resistance/> (vaadatud dets 23, 2022).
- [39] Boyser AMP16/C Peristaltic Pumps. https://www.northridgepumps.com/p_229_boyser-amp16-c-peristaltic-pumps (vaadatud dets 24, 2022).
- [40] Victor pumps. <http://www.vicm.de/d/Albero%20libero/R35...BF+Y.pdf> (vaadatud dets 28, 2022).

Lisa 1 Vaigu tehniline spetsifikatsioon

Technical Data Sheet
Prefere® 14J028
 Construction Resins



Application

Prefere 14J028 is a liquid condensation product of phenol and formaldehyde used together with a Prefere powder hardener in the production of plywood. Prefere powder hardeners are proprietary mixtures of hardeners, extenders and fillers that are optimized to work with the resins for superior gluing results. Prefere 14J028 has been developed for liquid extruder, but can be used in roller coater spreading. This resin is also suitable for plywood plants where the lay-up time is short and the time between lay-up and prepress is short.

Prefere 14J028 complies with requirements of standards EN 314-2/class 3 (DIN 68705 BFU 100 and BS 6566 Part 8/Type WBP). Plywood produced with Prefere 14J028 fulfills EN 1084/class A (E1) requirements for formaldehyde.

| Properties | Typical values | Standard |
|----------------------------------|----------------------|----------|
| Appearance | Reddish-brown liquid | |
| Viscosity, 20°C [mPa·s] | abt 450 | |
| Viscosity, Ford cup 20°C [sec] | abt 20 | |
| Solid content, 2g, 3h, 105°C [%] | abt 51 | |
| pH value, 20°C | abt 12 | |
| Density, 20°C [g/cm³] | abt 1.21 | |

Form of delivery and packaging

Tank truck (bulk)

Storage

Recommended storage temperature is 12-20°C, at which temperatures the storage life is at least 2 weeks. Liquid resins age when stored. The condensation continues slowly and the viscosity increases. Storage life depends on storage temperature. The storage life indicated above is a guideline based on our experience. Any user of our products should conduct individual tests to understand the possible changes to product performance owing to transport and storage conditions.

Resin can be stored in steel, concrete and plywood tanks. Zinc or aluminum tanks are not suitable for storage of phenolic resins.

Handling and safety requirements

Detailed information is available in the safety data sheet for the product.

Common indications

We ensure compliance with the indicated parameters at the time of delivery only. Our technical staff is at your disposal. All technical recommendations have to be adjusted to industrial working conditions in each mill. The recommendations given above are based on conscientious experiments and attempts to advise in the best way. Due to the great variety of different applications and of working conditions in the mills we do not guarantee for a certain application but recommend testing prior to use.

| | | | | | | |
|--|---|--|--|--|---|---|
| Prefere Resins Austria GmbH Hafenstrasse 77 A-3500 Krems | Prefere Resins Finland Oy Ölykatamentie 15 PO Box 80 FI-49401 Hamina | Prefere Resins France SAS 10, Rue Comtesse P.O. Box 5 FR-62117 Brebille | Prefere Resins Germany GmbH Berliner Straße 9-10 D-35537 Erker | Prefere Resins Poland Sp. z o.o. Ul. Fabryczna 4 Trzemeszno PL-62-240 | Prefere Resins Romania S.R.L. Strada Gării Nr 4 Râmnic Jui. Braşov RO-505400 | Prefere Resins UK Ltd. Aycliffe Industrial Park Helthorpe Lane DLS 6UE Newton Aycliffe |
|--|---|--|--|--|---|---|

Lisa 2 UPE vooliku tehniline spetsifikatsioon

1451-60 LAHUSTIVOOLIK ALL-COLOR 18 BAR



Konstruksioon

| | |
|-----------------|----------------------------------|
| Sisekiht: | Kõrgmolekulaarne polüeteen (UPE) |
| Väliskiht : | Eteenpropeendieenkumm (EPDM) |
| Tugevdus: | Sünteetiline tekstiil |
| Varutegur: | 3:1 |
| Töötemperatuur: | -35°C .. +100°C |
| Välisilme: | Sile punane või must |



Kasutusala/Omadused

Universaalne voolik värvide ja lakkide ning lahustite käitlemiseks. Voolik on väga vastupidav erinevate lahustite toimele, kerge ja paindlik. Väliskiht kulumise-, osooni- ja ilmastikukindel ning antistaatiline (takistus väiksem kui $10^6 \Omega/m$). Sobilik 90%-le kemikaalidest, nagu naftaproduktid, happed, alused, õlid jne.

| Tootekood | Sisemõõt mm | Välismõõt mm | Maks. töösurve MPa | Lubatud vaakum % | Painde- raadius mm | Kaal kg/m | Rulli pikkus m |
|------------|----------------|-----------------|-----------------------|---------------------|--------------------------|--------------|----------------------|
| 1451-60-06 | 10,0 | 17,0 | 1,8 | 40 | 60 | 0,17 | 40 |
| 1451-60-08 | 13,0 | 20,0 | 1,8 | 40 | 80 | 0,21 | 40 |
| 1451-60-10 | 16,0 | 23,0 | 1,8 | 40 | 100 | 0,24 | 40 |
| 1451-60-12 | 19,0 | 29,0 | 1,8 | 40 | 120 | 0,41 | 40 |
| 1451-60-16 | 25,0 | 35,0 | 1,8 | 40 | 150 | 0,52 | 40 |

Tellida saab mõõte 6-32 mm

GRAAFILINE OSA