



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Materjali- ja keskkonnatehnoloogia instituut

SPOONI JA VINEERI TOOTMINE EESTIS

PRODUCTION OF VENEER AND PLYWOOD IN ESTONIA

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Silvi Treial

Üliõpilaskood: 141895KAOB

Juhendaja: Jaan Kers, prof

Tallinn 2018

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.

“.....” 2018

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetööle esitatud nõuetele

“.....” 2018

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”2018 .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Materjali- ja keskkonnatehnoloogia instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Silvi Treial
Õppekava, peeriala: KAOB02/14 , puidu- ja tekstiilitehnoloogia
Juhendaja(d): prof Jaan Kers, 620 2910
Konsultandid: -

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Spooni ja vineeri tootmine Eestis

(inglise keeles) Production of veneer and plywood in Estonia

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Uurida vineeritööstuse olukorda Eestis
2. Tutvuda vineeri tootmise protsessiga
3. Leida TTÜ puidutehnoloogia laboris spooni kuivatamiseks sobiv režiim

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Spoonilõikamine, kuivatamine ja niiskusproovide võtmine	01.02.2018
2.	Niiskusproovide põhjal andmetöötlus	21.02.2018
3.	Eesti vineeritööstuse olukorraga tutvumine, ülevaate ja analüüsi kirjutamine toimuvatest muutustest	20.04.2018
4.	Spoonilõikamise ja vineeri tootmisprotsessi kirjeldava kirjanduse läbitöötamine	01.05.2018

Töö keel: eesti **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "....."2018 a

Üliõpilane: Silvi Treial "....."2018 a
/allkiri/

Juhendaja: prof Jaan Kers "....."2018 a
/allkiri

Konsultant: -

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. SPOONI JA VINEERI TOOTMINE EESTIS	7
1.1 Tootmismahud ja eksport.....	7
1.2 Eestis spooni ja vineeri tootmisega tegelevad ettevõtted	10
1.3 Nõuded toormaterjalile.....	13
2. SPOONI TOOTMISPROTSESS	15
2.1 Pakkude leotus	15
2.2 Spooni treimine	16
2.3 Spooni kuivatus	17
2.4 Spooni õblemine, paikamine ja piki-jätkamine	18
3. VINEERI TOOTMISPROTSESS	19
3.1 Vineer kui materjal	19
3.2 Liimitamine ja järeltöötlus.....	19
3.3 Vineeri kvaliteediklassid	20
3.4 Vineeri kasutusala	22
4. SPOONI KUIVATUSE UURIMINE EKSPERIMENTAALSELT	24
4.1 Seadmed vineeri valmistusliinil TTÜ puidutehnoloogia laboris	24
4.2 Katsekehad	25
4.3 Kuivatus ja katsekehade kaalumine	28
4.4 Niiskuse arvutamine	28
4.5 Katsetulemused	29
4.5.1 Kuivatusrežiim 1	29
4.5.2 Kuivatusrežiim 2	31
4.5.3 Hallitanud spoonilehtede niiskus	33
4.6 Katsetulemuste analüüs	34
4.6.1 Spooni treimisjääd.....	34
4.6.2 Spoonilehed	35
KOKKUVÕTE.....	37
SUMMARY	38
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	39

SISSEJUHATUS

Võib öelda, et Eestis on olnud vineeritööstus juba 140 aastat, kuna Eestis tegutses aastatel 1877-1940 Lutheri vabrik, mis oli vineeri valmistamise tehnoloogia suur eestvedaja, arendaja ning vineerist valmistatud kaupade tootja [1].

Aastal 2008 oli Eestis üks tehas, mis valmistas vineeri. Lähiajal on käivitumas mitu uut vineeritehast ning samuti on olemasolevad tehased investeerinud uutesse spooni- ja vineeritootmisliinidesse. Lähiajal peaks Eestis vineeri tootma viis tehast. Seega on lähiajal oodata vineeri tootmiskaotuste kasvu ning ühtlasi ka tööhõive suurenemist selles valdkonnas. Vineeri tootmine muutub puidutööstuses üheks oluliseks suunaks. Sealjuures on tähtis vineeri toormaterjali tootmine – spooni valmistamine.

Antud bakalaureuse töö eesmärkideks on:

- uurida Eesti spooni- ja vineeritööstuse hetkeolukorda, võrrelda seda eelmiste aastatega, prognoosida milline on see paari aasta pärast, kui uued tehased peaksid töötama täisvõimsusel.
- viia läbi esmased tehnoloogilised katsed TTÜ puidutehnoloogia labori spoonikuivatiga, analüüsida katsetulemusi ja pakkuda välja sobiv kuivatusrežiim.

Töö esimeses peatükis keskendutakse tootmis- ja ekspordimahtudele, toorme vajadusele ning vaadeldakse investeringuid.

Töö teises ja kolmandas peatükis kirjeldatakse spooni ja vineeri valmistamise protsessi, vineeri kvaliteedinõudeid ja kasutusalasid.

Töö neljas peatükk kirjeldab katselist osa, mis viidi läbi TTÜ puidutehnoloogia laboris. TTÜ puidutehnoloogia labor hankis aastal 2017 Soomest Aalto Ülikoolist seadmed, millega valmistada spooni ja vineeri. Seadmete paigaldusega seotud ehitustööd algasid 2017 aasta juulis ja jaanuaris 2018 toimus esimene spoonitreimine. Esimeste spoonikuivatuse tehnoloogiliste katsetuste tulemusena ilmnes, et paljud spoonilehed olid peale kuivatusprotsessi edasiseks töötlemiseks liigniisked ning ka paljusid spoonilehti ei oldud jõutud kuivatada kahenädalase perioodi vältel.

Antud bakalaureusetöö raames katsetati ettevõtte Raute spoonikuivatiga erinevaid kuivatusrežiime, et leida sobivad spooni kuivatustingimused ja kuivatuse aeg, mis annaks sobiva niiskussisaldusega spoonilehed vineeri valmistamiseks.

1. SPOONI JA VINEERI TOOTMINE EESTIS

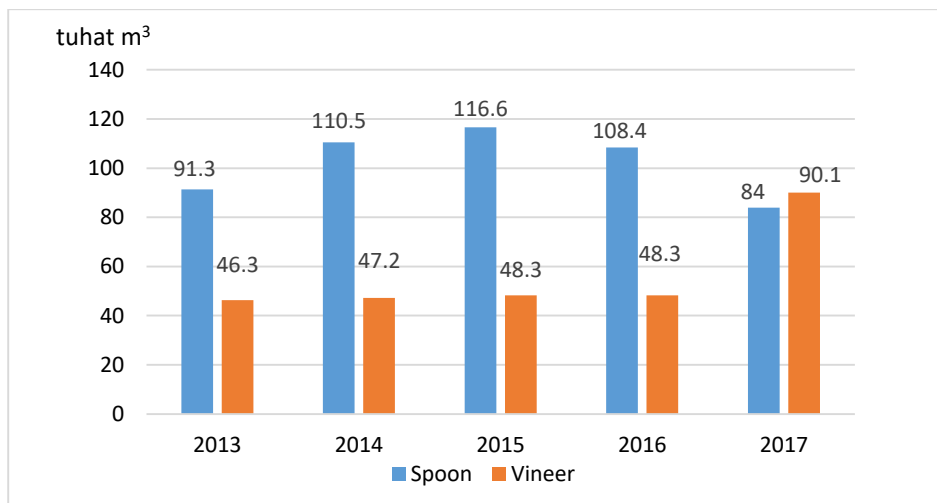
1.1 Tootmismahud ja eksport

Eestil on pikk ajalugu seoses vineeri tootmise ja kasutamisega. Aastail 1877-1940 tegutses Eestis Lutheri vabrik, mis tootis mööblit, kasutades sealjuures ettevõttes kohapeal toodetud vineeri. Rühm Eesti uurijaid on seostanud puidu ringkoorimise leiutamise eelmainitud pliatsivabrikuga (ettevõtte Luther, Buller, Mickwitz & Co). Puidutöötlemise meetodi leiutamist, kus silindrikujulise pliatsipuu tangentsiaalseks lõikamiseks (koorimiseks) kasutatav lõiketera annab õhukese puidukihi, võibki lugeda spooni lõikamise tehnoloogia alguseks. Teisedki allikad väidavad, et rotatsioonil põhinev lõiketehnika ja selle esialgne arendamine toimus Venemaal, mille koosseisu tol ajal Eesti kuulus. [1]

Ka tänapäeval on Eestis vineeri ja spooni tootjaid. Statistikaameti kohaselt toodeti aastal 2017 Eestis vineeri 90 130,2 m³ [2]. Mahud suurenevad arvatavasti järgmise viie aasta jooksul märgatavalt, kuna Eestisse rajatakse uusi vineeritehaseid Pärnusse ja Jõgevale, mille oodatavad tootmismahud kokku on oluliselt suuremad praegustest aastastest tootmismahudest [3] [4].

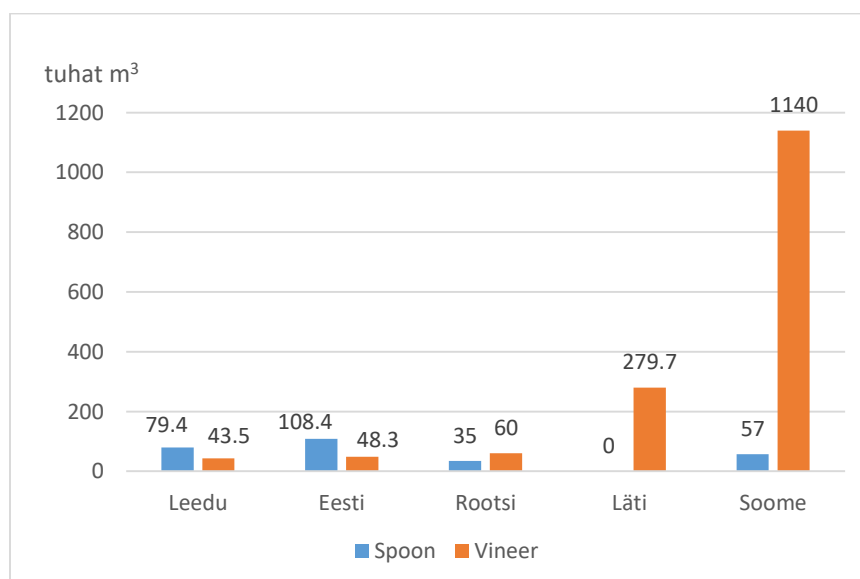
Uutesse spooni- ja vineeritehaste loomisesse ning olemasolevate täiustamiseks lähiaastatel tehtavad investeeringud on ligi 199 miljoni euro suuruses. Suurimad investeeringud on seotud just vineeritehaste loomisega [5] [6] [7] [8] [9].

Järgnevalt on toodud graafiliselt Eesti spooni ja vineeri tootmismahud viimase viie aasta jooksul. Ühtlasi on ka näidatud vineeri ja spooni tootmismahud Eesti lähiriikides aastal 2016 (Soome, Rootsi, Läti, Leedu). Eesti andmete puhul on kasutatud allikana Eesti Statistikaameti andmetabeleid, välisriikide puhul FAOSTAT andmeid (ÜRO Toidu- ja Põllumajanduse Organisatsiooni statistika andmebaas).



Joonis 1.1 Spooni ja vineeri tootmismahud Eestis 2013-2017 [2] [10]

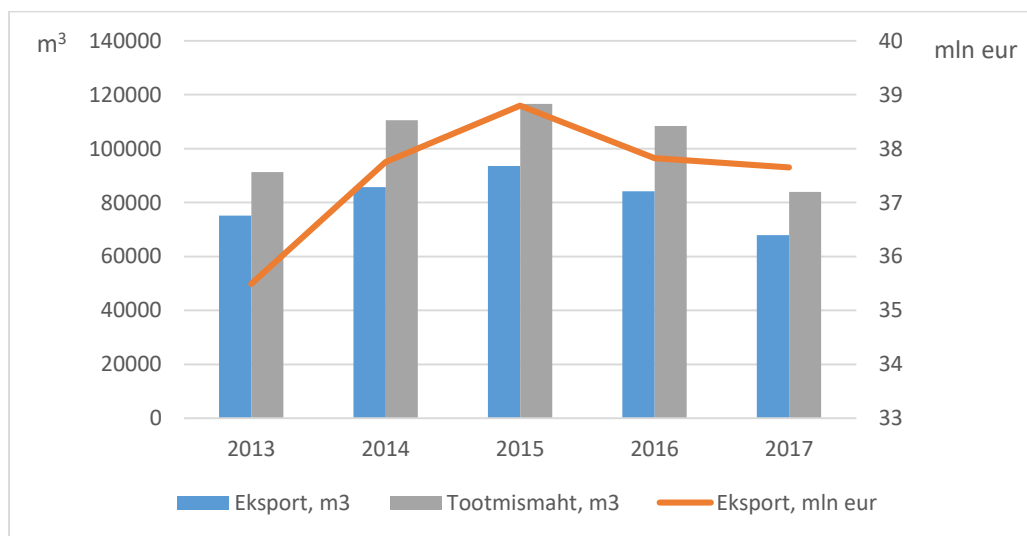
Nagu näha joonisel 1.1, on spooni tootmiskaht Eestis aastatel 2013-2015 läbi teinud kerge tõusu ning seejärel aastatel 2015-2017 languse; 2017 aasta tootmiskaht (84 000 m³) oli juba väiksem kui 2013 aasta (91 000 m³) oma. Osati võib olla langus põhjustatud sellest, et treitud spooni tootmine, mis läheb omatarbeks tehases vineeri valmistamiseks, ei kajastu spooni tootmiskahtude statistikas. Vineeri tootmiskaht püsis aastatel 2013 kuni 2016 ühtlasel tasemel (ligikaudu 46 000–48 000 m³), kuid aastal 2017 tegi järsu tõusu: vineeritootmine suurenes lausa 87% (48 300-lt 90 100 kuupmeetriini). Põhjus selleks oli Kohila Vineer OÜ uue vineeritehase ja spooni- ja vineeri tootmise laiendamine ning UPM-Kymmene Otepää AS-i vineeritehase laienduse valmimine ja käivitumine [6]. Kui turunõudlus püsib, on lähiaastatel oodata vineeri tootmiskahtude kasvu.



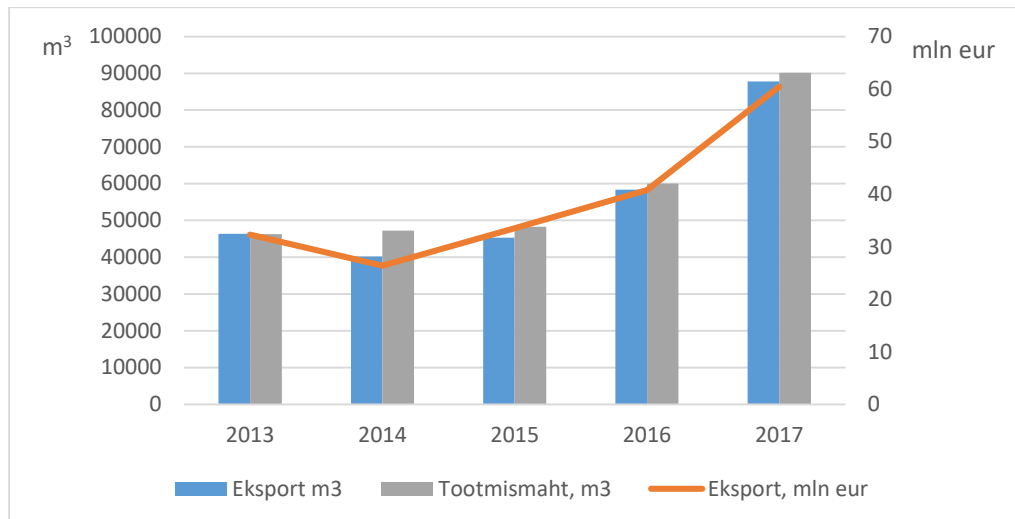
Joonis 1.2 Spooni ja vineeri tootmine Eesti lähiriikides aastal 2016 [11]

Joonis 1.2 näitab kuivõrd tugev on vineeritööstus Soomes võrreldes teiste lähiriikidega. Kuna lähiriikide statistikaandmete jaoks on kasutatud FAOSTAT allikat, kus andmed on avaldatud hetkel vaid kuni 2016. aastani, on graafikul Eestis spoonitootmine maht suurem kui vineeritootmisel, aga nagu eelnevalt kirjeldatud, on tulevastel aastatel Eestis vineeritootmine märgatavalt tõusmas ning sarnaselt Rootstile ja Soomele ületab see spooni tootmiskahte. Eesti lähiriikidest on muidugi ka üks suurtootja Venemaa. Venemaa ületab oluliselt ka Soome tootmiskahte olles vastavalt vineeri puhul 3 759 000 m³ (Soome 1 140 000 m³) ning spooni puhul 888 000 m³ (Soome 57 000 m³) [11]. Läti statistika eripäraks on, et spooni ja vineeri tootmiskahtud on arvestatud kokku, seega ei ole eraldi andmeid spooni ja vineeri kohta. Sellest tulenevalt on antud graafikul spooni tootmiskaht 0, kuid tegelikkuses see nii ei ole, ning ka vineeri tootmiskaht on graafikul suurem tegelikkusest, kuna see sisaldab ka spooni tootmiskahte [12].

Järgnevatel joonistel 1.3-1.4 on võrreldud vineeri ja spooni puhul nende aastaseid tootmiskahte kuupmeetrites, ekspordi miljonites eurodes ning ekspordi mahtu kuupmeetrites viimase viie aasta ulatuses Eestis (2013-2017). Jooniste 1.3-1.4 koostamisel on ekspordiantudmete puhul kasutatud Eesti Statistikaameti tabelitest vaid Eesti päritolu kaupade näitajaid.



Joonis 1.3 Spooni eksport ja tootmiskahtud [2] [11] [10]



Joonis 1.4 Vineeri eksport ja tootmismahud [2] [10]

Graafikutelt järeldub, et pea kogu vineeri ja spooni toodang Eestis läheb ekspordiks. Aastal 2017 olid 5 suurimat ekspordimaad vineeri puhul Saksamaa, Korea Vabariik, Läti, Soome ja Rootsi; ning spooni puhul Poola, Läti, Ameerika, Saksamaa ja Soome [2]. Vineeri puhul on ekspordi osa suurem kui spooni tootmisel. Vineeri ekspordi osakaal on alates aastast 2014 vaikselt suurenenud, aastal 2017 suurenes ekspordimaht oluliselt ning nagu eelnevalt mainitud, on oodata edasist tõusu tulevaste vineeritehaste loomise ja käivitumise tõttu.

1.2 Eestis spooni ja vineeri tootmisega tegelevad ettevõtted

Eestis on seitse ettevõtet, mis tegelevad või hakkavad tegelema spooni ja vineeri tootmisega.

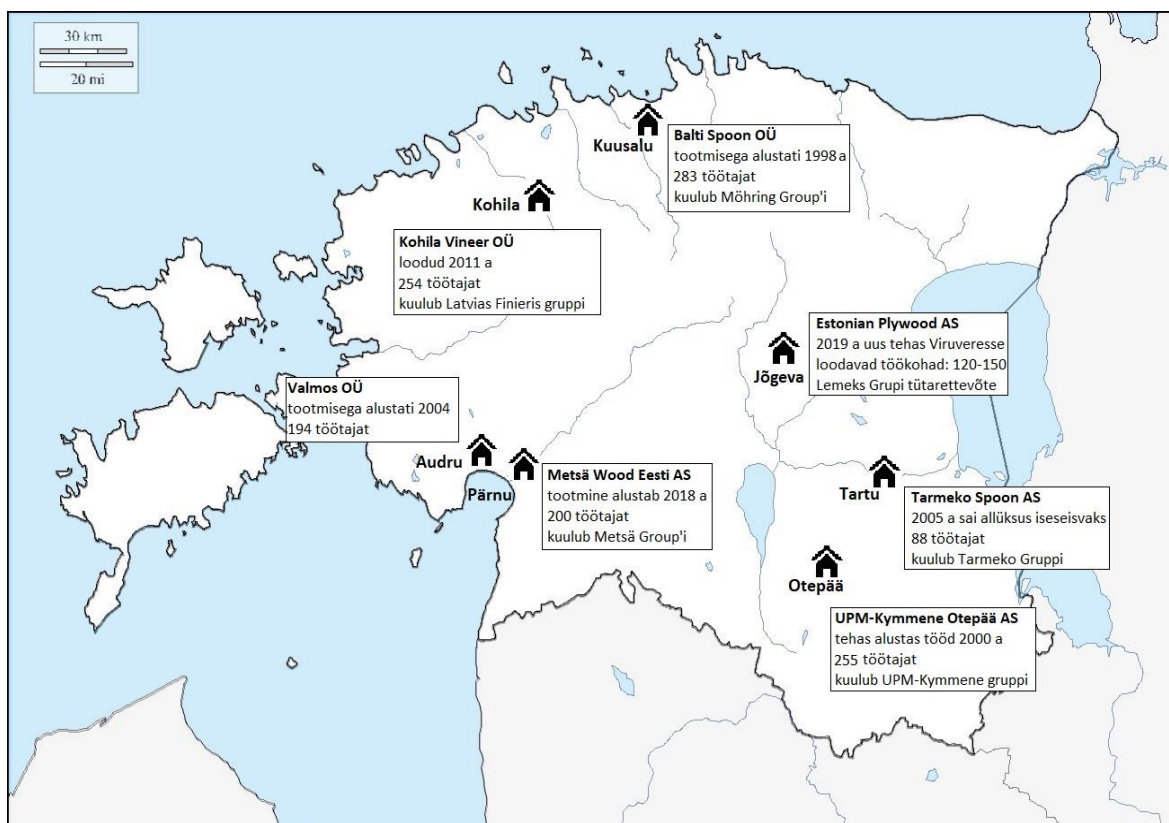
Ainult spooni toodavad: Balti Spoon OÜ ja Valmos OÜ. Balti Spooni põhiliseks tootegruppideks on kase trei- ja hõvelspoon (toodetakse lisaks kasele ka tammest, pöögist, saar jt. puuliikidest) ning spoonisärgid. Valmos OÜ-l on põhitoodanguks kase trei- ja hõvelspoon. Valmos OÜ oli IKEA suurim hõveldatud spooni tarnija, kuid viimasel ajal on turu olukord suunanud ettevõtte vineerispoonide tootmise osakaalu suurendamisele. [6] [13] [14]

Spoonide ja vineeri toodavad: Kohila Vineer OÜ, Tarmeko Spoon AS, UPM-Kymmene Otepää AS. Kohila Vineer OÜ tootis kuni 2015. aastani kase treispoonide, alates 2016 on alustatud vineeritootmisega ning järgmise kahe aasta jooksul soovitakse vineeri toota juba täisvõimsusel. Tarmeko Spoon AS puhul on tootegruppideks kase treispoon ja kasevineer. Tarmeko LPD valmistab spoonist

erinevaid liimpaindtooteid – voodilippe, istemööblit ja teisi mööbliesemeid. UPM-Kymmene Otepää AS toodab kase treispoonid, mida kasutatakse kasevineeri tootmiseks, hiljuti valmis ka tehase laiendus, mis suurendab esialgset projekteeritud tootmiskahtu ligi 2 korda. [6] [15] [16] [17]

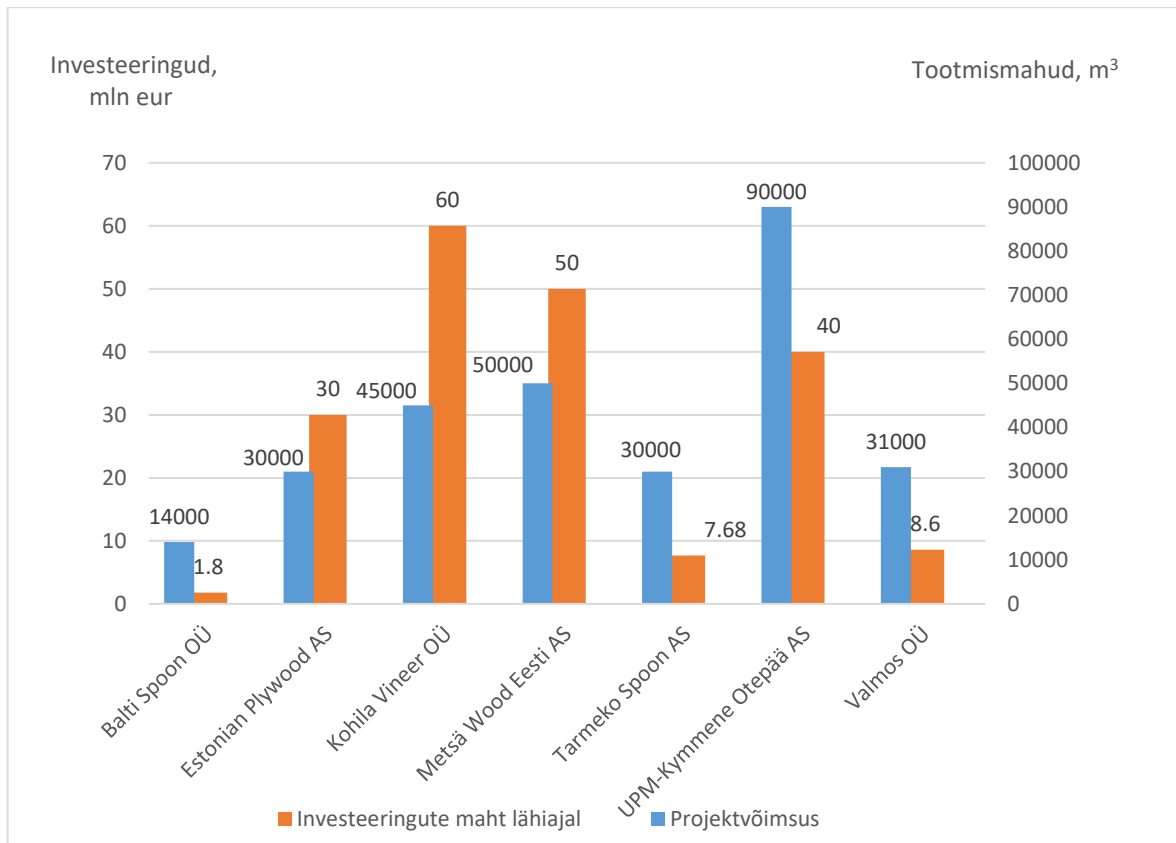
Ainult vineeri hakkab Pärnus tootma Metsä Wood Eesti AS. Metsä Wood Eesti AS on Pärnus käivituv vineeritehas, mis impordib spoonid oma grupi teistest tehastest Soomes ning Pärnus toimub vaid vineeri valmistamine. Vineeri tootmisega alustatakse 2018 aasta teises pooles. Ühtlasi hakkab vineeri tootma Jõgeval Estonian Plywood AS. See on 2017. aastal loodud ettevõte, mille eesmärgiks on toota Eestis kase treispoonid ja sellest valmistada vineeri. Uus tehas rajatakse aastal 2019. [3] [4] [8]

Järgnevalt on toodud näitlik joonis 1.5, kus on Eesti kontuurkaardile märgitud tehaste asukohad; aasta, millal loodi ettevõte või alustati tootmisega; töötajate arv ning kuuluvus gruppi.



Joonis 1.5 Tehaste asukohad Eesti kontuurkaardil koos lisaandmetega. Kaardil olevate andmete allikad: [3]-[6] ning [13] - [18]. Kontuurkaardi ja maja ikooni allikas: [19] [20].

Joonis 1.6 näitab ettevõtete tootmiskahtu projektvõimsusel ning tehtud või lähiajal tehtavaid investeeringuid.



Joonis 1.6 Projektvõimsusel spooni ja vineeri tootmismahud ja lähiaja investeeringud. Allikad: [3]-[6] ning [10]-[16].

Antud joonisel 1.6 on välja toodud investeeringud, mis on tehtud tehase laiendamiseks, järgmised: UPM-Kymmene Otepää AS 40 mln eur, Balti Spoon AS 1,8 mln eur; spooni tootmiseks Tarmeko Spoon AS 7,68 mln eur ning Valmos OÜ 8,6 mln eur. Ülejäänud investeeringud on tehtud uute tehaste loomiseks. Nagu ka jooniselt 1.6 näha, on enamasti uutel, loodavatel tehastel, investeeringud märksa suuremad kui juba töötavatel tehastel, et saavutada suuremat tootmistahtu. Kuigi Kohila Vineer OÜ tootmistaht on väiksem, on nende investeeringud suuremad kui Metsä Wood Eesti AS omad. See on arvatavasti tingitud sellest, et Kohila Vineer OÜ on investeerinud ka spooni tootmisesse, samas kui Metsä Wood AS kavatseb spooni importida oma grupi teisest tehastest Soomes [3]. Balti Spoon OÜ tegelikult arvestab oma toodangut pindala - m², mitte mahu - m³ järgi, kuna nende toodetud spoon on tehnilise ja visuaalse kvaliteedi poolest väga kõrge kvaliteediga, palju toodetakse hõövelspooni interjööriks. Joonise tarbeks tehti ümberarvutused kuupmeetritesse, ühtlasi on joonisel näidatud kuupmeetrites tootmistaht 2017. aastal, aga mitte tehase projektvõimsus. [9]

Eelkirjeldatud andmetest, kui ettevõtted saavutaksid oma projektvõimuse, oleks Eestis aastane spooni ja vineeri tootmistaht kokku üle 290 000 m³. Aastal 2017 oli spooni ja vineeri tootmistaht

kokku Eestis 174 000 m³ [21]. See tähendab, et soodsate majandusolude korral võiksid spooni ja vineeri tootmismahud lähiaastatel Eestis suurenda ligi 150%. See omakorda tähendaks Eesti puiduvaldkonnas olulise tööstussuuna esile tõusu, tööhõive suurenemist selles valdkonnas ja sellega seotud tegevusaladel. Need muutused omakorda suurendaksid kasepuidu vääristamist spooni- ja vineeri tootmisel.

1.3 Nõuded toormaterjalile

Vineeri toodetakse Põhjamaades ja Eestis peamiselt sookasest (*Betula pubescens*) ja arukasest (*Betula pendula*). Kask hõlmab kogu Eesti metsapindalast 29,5%, ehk 681 300 ha, mis on suuruselt teine puiduliik peale mäнди (31,8% ehk 736 000 ha). Aastal 2015 oli kase metsatagavara 104 135 000 m³ ning raiemaht 2 210 000 m³, mis moodustas 2,2% kase metsatagavarast. Kogu raiemahust moodustas aga kaseraiet 23,0%. Aastal 2016 oli kase tagavara 103 509 000 m³, mis on 626 000 m³ vähem võrreldes 2015. aastaga. [22]

Ühe kuupmeetri kasevineeri tootmiseks kulub ca 2,6-3 m³ kasepuitu ja sama koguse kuusevineeri valmistamiseks kulub 2-2,5 m³ kuusepuitu [23]. Kui võrrelda kase vineeripaku toorme vajadusi tehaste kaupa, siis näiteks UPM-Kymmene Otepää AS tehase puhul on 90 000 m³ vineeri tootmiseks vaja 234 000 m³ toormaterjali, Kohila Vineer OÜ puhul 45 000 m³ vineeri ja spooni jaoks üle 120 000 m³ toormaterjali, Valmos OÜ puhul spooni tootmiseks (mööbli-, formaat-, ja vineerispooni jaoks) 60 000 m³ kasepakku [8]. Toorme vajadus Eestis raiutava kasepuidu kohta eelmises alapeatükis nimetatud kuue ettevõtte puhul kokku (Metsä Wood impordib vajaliku spooni vineeri valmistamiseks Soomest) on hinnanguliselt üle 582 000 m³, millest enamuse moodustab kasepakk. See moodustaks näiteks ligikaudu 25% kogu kase raiemahust 2015. aastal.

Ettevõtted ise arvavad, et toormega ei tohiks probleeme tekkida, kuna suurenenud nõudlus sunnib metsa paremini majandama ning metsast tulev materjal suudetakse efektiivsemalt kätte saada ning praaktoodang väheneb [6]. Kasepaku hind võib tõusta, kuna nõudlus suureneb, kuid juba näiteks praegu on kasepakk Eesti metsadest kõige kallim tooraine. Erametsades oli 2017. aasta detsembris kasepaku hinnaks lõpplaos 99,71 eurot/m³; Riigimetsa Majandamise Keskuse vahelaos 112,94 eurot/m³. Hinnatõus oli 2017. aasta detsembris võrreldes eelneva aastaga erametsades 26,3% ning RMK puhul 2,7%. Sellise kõrge hinna detsembris 2017 tingis ka asjaolu, et talv oli väga sademete rohke, kuid puudus külm ilm ja pehme pinnase tõttu oli mitme kuu jooksul äärmiselt keeruline materjali metsast kätte saada. [24]

Kasepakk jagatakse kvaliteedi järgi erinevatesse kategooriatesse, mille eest pakutakse ka vastavalt madalamat ja kõrgemat hinda. Järgnevalt näitlik tabel 1.1. Tarmeko Spoon AS kodulehel olevast metsamaterjali ostu hinnakirjast; tähed A, E, BC tähistavad kvaliteediklasse.

Tabel 1.1 Tarmeko Spoon AS metsamaterjali hinnakiri 13.01.2018-13.03.2018 [25]

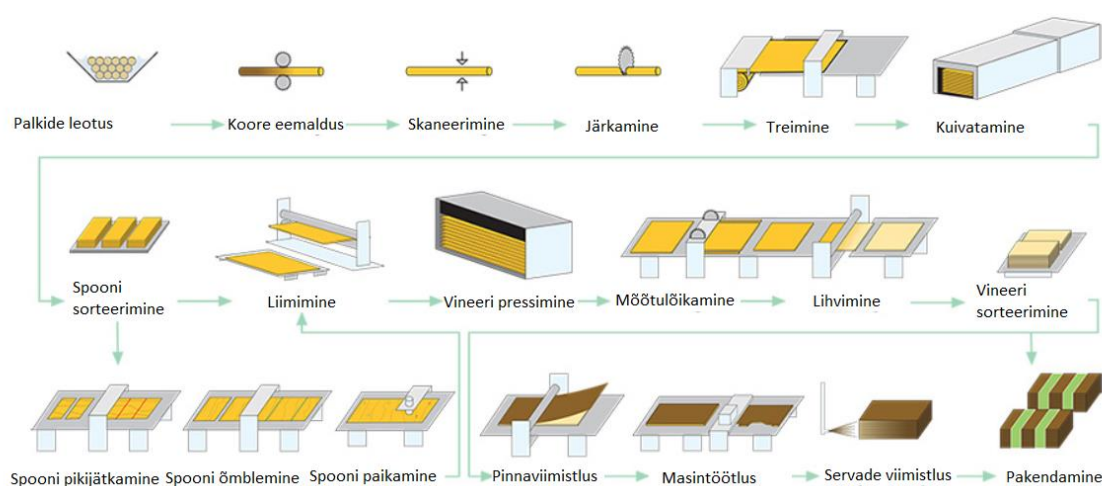
Kasepalk

kask	Hind EUR/tm					
palkide arvestuspikkus m	A Ø 24 - 28	E Ø 29 - 40	BC Ø 24 - 40	BC Ø 22 - 23	BC Ø 18 - 21	BC Ø 16 - 17
3,2 dm	115	135	80	70	60	52
4,8 dm	115	135	82	74	64	54

Eristatakse ka spoonipakku ja vineeripakku. Kuna höövelspoon läheb enamasti pealistuseks, näiteks mööblidetailidele, siis on väga oluline just spoonipaku kvaliteediklass. Vineeri puhul aga võib sisemistes kihtides kasutada madalama kvaliteediga treispoonini ning välimistes kihtides parema pinnakvaliteediga treispoonini [26]. Igal ettevõttel on tingimused veidi erinevad ning ettevõtete kodulehtedel on olemas kvaliteeditingimused kasepakkude ostmiseks. Peamised kriteeriumid mille alusel määratakse kasepaku kvaliteediklassi on erinevad puidurikked ja nende esinemise piirmäärad. Nendeks on tavaliselt: kasepaku diameeter (ilma kooreta), väärülipuidu olemasolu ja ulatus, oksakohad (terved oksad, umboksad, tulioksad), tüüakus, paku kõverus, pahk ja lõhed (ringlõhed, otsalõhed) [27].

2. SPOONI TOOTMISPROTSESS

Kvaliteetne spoon ja vineer saavad alguse kvaliteetsest toormaterjalist. Iga töötlemise samm on oluline, et saavutada kvaliteedis maksimaalne tulemus. Laias laastus võib vineeri valmistamise jagada nelja etappi: pakkude hüdrotermiline töötlemine spooni treimiseks, spooni saamine ja töötlemine, vineeri saamine spoonilehtedest ning vineeri järeltöötlus/viimistlus [28]. Alljärgnevalt on näitlik joonis 2.1 vineeri ja sealhulgas vineeri tarbeks spooni valmistamise etappidest. Tasub märkida, et muidugi igas tehases on omad eripärad. Antud peatükis keskendutakse spooni saamisele.



Joonis 2.1 Vineeri valmistamise etapid [29]

Nagu näha jooniselt 2.1, pärast seda kui puit on metsast kätte saadud, on esimeseks etapiks pakkude leotus. Seejärel koore eemaldamine, spooni koorimine, spooni kuivatamine, spooni kvaliteediklassi määramine, vajadusel spoonilehtede parandamine ja jätkamine. Edasised etapid joonisel võib lugeda juba rohkem vineeri valmistamiseks (liimimine, pressimine, viimistlus), millest tuleb juttu järgnevas peatükis.

2.1 Pakkude leotus

Kui kasepakud on sorteeritud, on järgmiseks etapiks pakkude leotus kuumas vees või paku temperatuuri tõstmine auru teel. Leotamise eesmärk on puidu plastsemaks ja töödeldavamaks muutmine edasise lõikeprotsessi jaoks. Kuna välistemperatuur võib oluliselt erineda leotusvee omast, siis ka paku sisemine temperatuur on kõikuv. Näiteks on tõestatud, et 30 cm diameetriga

paku sisemine temperatuur saavutab leotusvee 40°C oma 18-24 tunni jooksul. Kasepakkude leotus kestab tavaliselt 24 tundi, temperatuuril 40 °C [30]. Tavaliselt pannakse ka sama diameetriga kasepakud ühte kimpu, mis tagab hiljem treimisel ühtlase kvaliteedi.

2.2 Spooni treimine

Treispoonid kasutatakse vineeri valmistamiseks, see on treimise (koorimise) teel saadud spoon. Treimisel saadakse pikk spoonilint.

Spoonid treimisel on treitera esinurk tavaliselt umbes 70° ja teravdusnurk 20°. Kõige tavalisem treitera paksus on 16 mm. Treitera kuulub peamiselt kolmel põhjusel: kokkupõrge, korrosioon, abrasiivne kulumine. Mehhaanilise kokkupõrke korral saab treitera vigastada kokkupuutel, näiteks kivi satub treitera ja paku vahele ning vigastab tera või näiteks kui mõni oksakoht pole piisavalt soojenenud eeltöötlemisel. Korrosiooni võib tekitada asjaolu, et puit on looduslikult happelisem aine ning võib reageerida treitera materjaliga. Treitera ja vastutera positsioneerimine mängib olulist rolli kvaliteetse spooni tootmisel. Parimate tulemuste saamiseks asetatakse treitera enam-vähem paku keskjoonega tasa. [31]

Kui spoonid treitakse, on puit treitera ja vastutera poolt avaldatava suure surve all. Treimise käigus tekivad spooni alumisele küljele, mille vastu treitera puutub, väikesed treilõhed. Vastutera funktsiooniks ongi aidata kontrollida treitava spooni paksust, tagada, et treilõhed oleksid võimalikud väikesed ning aidata siledama pinnakvaliteediga spooni treimisele kaasa. [31]

Oluline faktor on ka paku tsentreerimine, seda tehakse tavaliselt laserkiirte või skännerite abil. Tarkavara otsustab, kuidas pakku tsentreerida [31]. Spooni kvaliteet oleneb treipingi võimalikult täpsest seadistamisest. Spoonid lõigatakse kiirusel 2,5-6,0 m/s [32].

Tavaliselt spooni paksus kasevineeri valmistamise puhul on 1,5 mm ja okaspuidu puhul ca 3 mm. [30].

2.3 Spooni kuivatus

Tavaliselt vineeri tootmiseks kuivatatakse spooni 4-7% niiskussisalduseni. Spooni niiskussisaldus kõigub suuresti ning seetõttu on väga oluline jälgida üksikute spoonilehtede niiskussisaldust pisteliselt. Mõnikord peab materjali ka ülekuivatama ehk taaskuivatama [33].

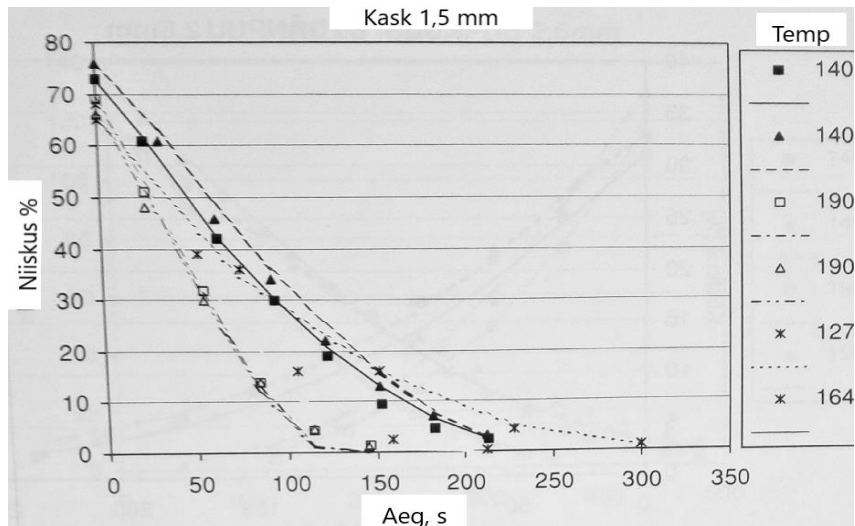
Spoonide kuivatusprotsessis kulutatakse üle poole vineeritehase soojusenergiast, seetõttu on oluline selle protsessi jälgimine, et majanduslikud kulud kontrolli all hoida. [23]

Kasespoonide kuivatatakse temperatuuridel 165 °C kuni 190 °C. Kuivatamise temperatuuri ülempiiri määrab puidu tumenemine ja tuleohutus. Tööstuslikult kasutatakse kahte peamist kuivati tüüpi: võrkkuivateid ja rullkuivateid. Võrkkuivatites on spoonide kuivatamiskiirus 60-90 m/min ja rullkuivatites 5-12 m/min. Võrkkuivati on spoonide tootmisel pudelikaelaks, kuna pikk spoonilint kuivatatakse tervikuna võrkkuivatis kohe treimisjärgselt ja seejärel sorteeritakse kaamera abil kvaliteedi järgi ja lõigatakse spoonilehtedeks. Rullkuivatid on suurema tootlikkusega, sest toimivad treimisest autonoomselt. Spoonid jaotatakse eri mõõtude ja niiskuse järgi klassidesse ja tuuakse pakettidena rullkuivati sööte platvormidele (4-6 korrust), kus spoonid söödetakse kuivatisse lehtede kaupa ja jaotur jaotab spoonide kuivati eri korruste vahel. [23]

Kuivatites kasutatakse küttepindade kuumutamiseks kuuma veeauru, gaasi või termoõli, mida saab kuumutada kõrgemale temperatuurile. Kuivatusõhu niiskuse parameetrik on veeaurusisaldus grammides ühe kilo kuiva õhu kohta. Näiteks võrkkuivatites on see suhe 400-500 g/kg kohta. Kõrgem õhuniiskus kuivatis sees soodustab kuumuse juhtimist spooni sisse ja kuivatatud spoon on parema kvaliteediga ja ühtlasema niiskuse jaotusega. Liiga kiire kuivatus ja vee aurustumine spooni seest põhjustab ebaühtlast niiskuse jaotust spoonis, kuivamislõhesid ja deformatsioone (lainelisust). Liiga kuiv spoon on edasisel töötlemisel habras. [23]

Kuuma õhu liikumise kiiruseks on kuni 20 m/s. Aeg, mis kulub spoonide kuivatamiseks, oleneb muidugi puuliigist, kuivatist ja spoonilehe paksusest, aga tavaliselt see ei ületa 8 minutit. [33]

Järgnevalt joonisel 2.2 on kujutatud kasespoonide niiskusprotsendi muutumist ajas erinevate kuivatustemperatuuride juures (140 °C, 190 °C, 127 °C ja 164 °C). Tabel on võetud soomekeelsest uurimustööst spoonide kuivatamise kohta ja kuivatamisprotsessi mõjust toote omadustele [34].



Joonis 2.2 Niiskuse muutus ajas kasespooni kuivatamisel erinevatel temperatuuridel [34]

Vineeri kuivatamisel on riskifaktoriks lenduvad orgaanilised ühendid (*volatile organic compounds – VOC*) ja ohtlikud lenduvad õhusaastajad (*hazardous air pollutants – HAP*, nt metanool ja formaldehüüd). Tänapäeval kasutatakse märga elektrostaatilist sadestust, et vähendada lenduvaid ühendeid spooni kuivatamisel. [33]

2.4 Spooni õmblemine, paikamine ja piki-jätkamine

Olenevalt kuivatusmeetodist, on spoon, kas juba enne kuivatust lõigatud parajasse mõõtu või tehakse seda pärast kuivatust. Seejärel hinnatakse spooni kvaliteediklassi ning spoonilehed jaotatakse vastavalt kvaliteedile erinevatesse virnadesse. Seejärel saab spooni ka parandada (ühtlasi parandades ka kvaliteediklassi) ja erinevate suurustega tükke ühendada sobivaks mõõduks. Kasutatakse liimniit ühendust, termoniiti, kusjuures vineeri tugevus hiljem sellest ei sõltu, kui on kasutatud kihtides ühendatud spoonilehti. See tuleneb sellest, et puidu tugevus tangentsiaalsuunas on madal ja seega liimühendus samas suunas ei muuda oluliselt spoonilehe üldisi tugevusomadusi. Samuti piki-jätkatakse spooni vajadusel. Tihtipeale stantsitakse ka defektsed kohad spoonist välja (nt oksakohad) ning paigatakse sobiva kvaliteetse spooniga. [31]

3. VINEERI TOOTMISPROTSESS

3.1 Vineer kui materjal

Vineer koosnebki paaritust arvust spoonilehtedest, mis on vaheldumisi omavahel asetatud kiudude suunaga risti ning liimitud kokku. Paaritu arvu spoonilehti vineeris tingib asjaolu, et puit on väga anisotroopne materjal. See tähendab, et näiteks puidu tugevusomadused on nii radiaal-, tangentsiaal-, ja pikisuunas väga erinevad, seega paaritu arvu kihtide kasutamine tagab võimalikult ühesugused näitajad plaadi erinevates suundades (nt vees paisumine - mõõttude stabiilsus, tugevusomadused). Vineeriplaat on sümmeetriline oma kesktelje suhtes ning enamasti moodustatakse vineer 3-st, 5-st või 7-st spoonilehe kihist, muidugi olenevalt kasutuselast võib neid olla rohkem. [31]

Vineeri valmistatakse väga paljudest puuliikidest; ligi 70-st. Ameerikas valmistatakse vineeri peamiselt okaspuidust, Põhjamaades on väga levinud kask, mänd ja kuusk toormaterjalina. Juhul kui plaadis kasutatakse mitmeid erinevaid puuliike, siis antakse plaadile tavaliselt nimetus (nt kasevineer) just selle puiduliigi järgi, mis asetseb plaadi välimistel kihtidel. [30] [35]

Soomes on 4 standardset liiki vineeri:

- Kask: kõik spoonilehed vineeriplaadis on kasespoonist
- Kombineeritud: välimistes kihtides kummalgi pool plaati on kaks kasespoonilehte, sisemistes kihtides on aga kase ja okaspuidu spoonid vaheldumisi
- Kombineeritud peegelpilt: välimises kihis kummalgi pool plaati on üks kasespoonileht, sisemistes kihtides on aga kase ja okaspuidu spoonid vaheldumisi
- Okaspuu: kõik spoonilehed vineeris on okaspuidust [36]

3.2 Liimitamine ja järeltöötlus

Pärast seda, kui spoonilehed on kuivatatud, on nad valmis liimitamiseks, et valmiks vineer. Enim kasutatavaks liimiks on fenoolformaldehüüdvaik (PF). Fenoolformaldehüüdvaik võeti kasutusele 20. sajandi alguses ning seda kasutatakse laialdaselt, kuna see on väga ilmastikukindel. Teistest liimidest on veel näiteks kasutusel karbamiid-formaldehüüdvaik (UF) ja melamiin-karbamiid-formaldehüüdvaik (MUF), mis on mõeldud kasutamiseks pigem sisetingimustes. UF ja MUF eeliseks

on see, et need on värvuselt valged liimid ning seega liimivuuk ei ole väga silmatorkav. PF puhul aga on liimitud koht nähtavalt tumepruun-punakas. [30]

Kuna kõik eelmainitud liimid sisaldavad formaldehüüdi (karbamiid-formaldehüüd liimides on rohkem vaba formaldehüüdi kui fenoolformaldehüüdlimis), mis on klassifitseeritud kantserogeenseks aineks, on olemas trend otsimaks teisi liime. Ühe näitena võib tuua sojaproteiinist toodetud liimi Ashland's Soyad™, kuid see ei ole leidnud laialdast kasutust tööstuses. [30] Siiamaani on ikkagi PF liim enim kasutusel oma vastupidavate omaduste poolest. Euroopas on olemas regulatsioonid, mida vineeri- ja liimitootjad peavad täitma, et vineeris kasutatav liim ei mõjutaks inimeste tervist. Regulatsioonist tulenevad standardite klassid on E0, E1 ja E2. Näiteks UPM Plywood'i kodulehelt leiab deklaratsiooni, mis ütleb, et kõik ettevõttes toodetud vineeridel on vabaformaldehüüdi levik oluliselt väiksem kui E1 standardis märgitud [37].

PF liim vajab pressimisel kuumust umbes 125-135°C, UF ja MF liimidel on aga temperatuurivahemikuks 100-120 °C. Pressimisel kasutatav surve on ligi 1,6-2,0 MPa, väiksema tihedusega puuliikidel on see väiksem, suurema tihedusega puuliikide puhul suurem. Pressimise tsükli alguses on surve suurim ning aja möödudes surve vaikselt väheneb, et säilitada plaadi paksust. Üldiselt võib pressimistsükli aja välja arvutada sellise reegli järgi: 1 minut pluss 30 sekundit iga millimeetri kohta sõltuvalt sellest kui paks on plaat. [31]

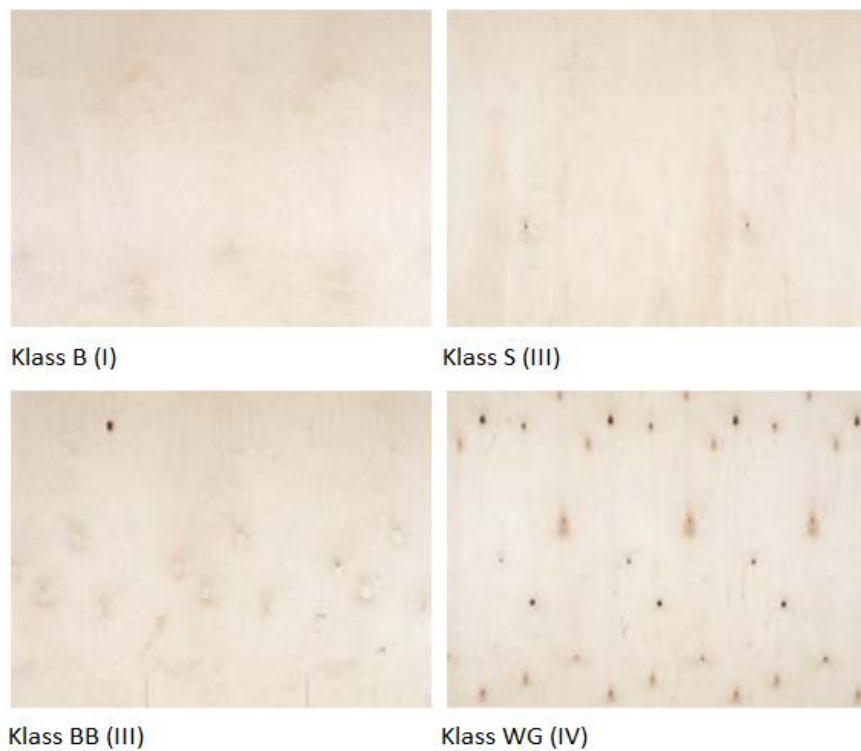
Pärast liimimist plaadid lihvitakse ja lõigatakse vajalikku mõõtu, kontrollitakse, et servad oleksid sirged ja nurgad täpselt 90° [31]. Selles staadiumis antakse ka vajalik pinnaviimistlus – nt lamineeritakse vineeri pind, et oleks võimalik kasutamine erinevates nõudlikes tingimustes, antakse pinnale tekstuuri, teistsugune värv, või nt antakse pinnaviimistlusega suurem tule- ja mikroorganismide kindlus.

3.3 Vineeri kvaliteediklassid

Vineeri kvaliteediklassi määratakse üldiselt vaadeldes vineeri väliskihete või määrates sobilikkust erinevatel kasutuseladel [33]. Igal kvaliteediklassil on oma lubatud puidurikete piirmäär. Ka kvaliteediklasse tähistatakse erinevalt, kuid Euroopas juhitudakse standardist EN 635. Puiduriketeks loetakse erinevaid oksakohti, liimimisel tekkinud vigu, lõhesid, värvuse muutust, lamineerimisvigu. [36]

Kui määrata kvaliteediklassi vastavalt kasutusale, siis selle puhul on oluline teada tugevusomadusi ning missugust liimi on vineeri valmistamisel kasutatud (kas on sobilik kasutamiseks välitingimustes).

Järgnevalt on joonisel 3.1 toodud näiteid Soomes kasutusel olevatest vineeri pinnakvaliteedi klassidest.



Joonis 3.1 Kasevineeri pinnakvaliteedi klasse Soomes [38]



Joonis 3.2 Kuusevineeri pinnakvaliteedi klasse Soomes [38]

Nagu näha, siis Soomes on kasutusel nii tähed kui ka Rooma numbrid erinevate kvaliteediklasside määramiseks erinevate liikide puhul. Ameerikas näiteks aga on enim levinud süsteem tähtedega A, B, C ja D, kus A on kõrgeima kvaliteediga ja D madalaima kvaliteediga vineer. Näiteks vineer tähisega A-B tähendab, et üks pool on pinnakvaliteediga A ning teine (tagumine) pool plaadist on pinnakvaliteediga B, vineer märgistusega B-B aga tähendab paigutatud spooni [33].

3.4 Vineeri kasutuslad

Vineer leiab väga laialdast kasutust tänu suurele tootevalikule ja erinevate omadustega plaatidele. Samuti on see hea hinna-kvaliteedi suhtega ning puit ning puittooted on üleüldiselt väga tuntud materjal, mida inimesed on harjunud kasutama. Lühidalt on toodud nimekiri vineeri võimalikest kasutusladest.

- Ehitus – seinad, betooni raketised, laed, põrandad
- Transport – *non-slip* kattega nt kaubikute põrandad – ka autotööstus üldiselt, hobutreilerid, raudteevagunid, LNG (vedeldatud maagaas) transpordimahutid, laevaehitus
- Pakendid
- Mööbel – eriti kasutatakse painutatud vineeri
- Dekoratiivne kasutus [39] [40]

Kui võrrelda UPM-Kymmene, Metsä Wood ning Latvijas Finieris erinevaid tooted, siis UPM-Kymmene kodulehel WISA Plywood on kokku erinevaid vineeritooteid 34, Latvijas Finierise kodulehel 28, Metsä Woodil 25 toodet [41] [42] [43]. Kõikidel eelnimetatud gruppidel on nüüdseks tehased Eestis ja võib väita, et paljudest toodetest, mis kirjeldatakse nende kodulehtedel, valmistatakse ka Eestis.

UPM-Kymmene kodulehel WISA Plywood on hetkel kirjas kõige rohkem erinevaid tooteid. Need on jaotatud nelja kategooriasse: lamineeritud pinnaga vineer (14 toodet), lamineeritud krobeline pinnaga vineer (7 toodet), tavaline puidupinnaline vineer (13 toodet), spoon (1 toode – kasutamiseks parketis). Lamineeritud pinnaga vineeri puhul on enamasti kasutusladeks erinevad raketised, enamasti betoonivaluks (nt WISA-Form Beto või siis WISA-Form Slab), kuid veel ka erinevad transpordi ja siseviimistluses kasutamise jaoks mõeldud tooted (nt WISA-Bus Floor ja WISA-Ply Transparent). Krobeline pinnaga lamineeritud vineer on enamasti suunatud kasutamiseks erinevates valdkondades põrandana, et vähendada libisemisohtu (hobuste treilerite põrandad, sõidukite põrandad, tellingud, spordihallide põrandad – tootena nt WISA-Multifloor). Tavaline

puidupinnaline vineer leiab kasutust aga mööbli valmistamisel, ehitustööl. Sealhulgas on nii kuuse- kui ka kasevineeritooted (nt WISA-Birch Maxi või WISA-Spruce). [41]

Latvijas Finierise kodulehel olevast tootekataloogist leiab sarnaseid tooteid, mis UPM-Kymmene kodulehel WISA Plywood on olemas. On palju lamineeritud krobelse pinnaga vineeritooted (14 toodet), peamiseks kasutusvaldkonnaks põrandad erinevatel aladel. Kuid erinevalt UPM-Kymmene grupist toodab Latvijas Finieris ainult kasevineerist tooteid. Teise erinevusena võib välja tuua, et WISA-Plywoodi kodulehel oli paljud tooted suunatud raketisteks kasutamiseks, kuid Latvias Finieris kodulehel seda suunda ei ole esile toodud. Lisaks sellele leiab Latvijas Finieris kodulehelt teistsuguste toodetena 'värvimiseks valmis' vineeri (nt Riga Preprime või Riga Paint) , mis on juba eelnevalt töödeldud kruntvärviga, tulekindlat vineeri (Riga Ignisafe) ning kauni pealispinnaga vineeri (Riga Decor) interjööris kasutamiseks. [42]

Metsä Wood toodab nii kuuse- kui ka kasevineeri. Peamisteks vineeri kasutusaladeks on välja toodud betooniraketised, mööbel, ehitus, kasutamine transpordivahendites. Kasevineeri puhul on jällegi palju tooteid krobelse pinnaga, enamasti mõeldud põrandateks (nt Metsä Wood Floor, Metsä Wood Deck). Helisolatsiooniks on mõeldud Metsä Wood Sonex Light – transporditööstuses ja ehituses, 'värvimiseks valmis' on toode Metsä Wood SP ja palju teisigi lamineeritud pinnaga vineeritooted. Kuusevineeri tõstetakse kodulehel esile kui head ehitusmaterjali põrandates, lagedes, seinades ja interjööris kasutamiseks (nt Metsä Wood Spruce Fire Resist, Metsä Wood Spruce MouldGuard). [43] [44]

4. SPOONI KUIVATUSE UURIMINE EKSPERIMENTAALSELT

2016. aastal hankis TTÜ Puidutehnoloogia labor endale laboratoorse spooni- ja vineeri tootmise seadmed. Ehitusprotsess seadmete paigalduseks algas 2017 a juulis ja seadmete paigaldus toimus 2017 aasta sügisel. 2018. aasta jaanuari keskel toimus esimene spoonitreimine kasepakust, selle mõõtu lõikamine ning seejärel ka osaliselt kuivatus. Kuivatati kuivati kõige madalamal temperatuuril 150°C ning tsükli pikkuseks oli paar minutit. Kuivatamise tulemusena aga jäid paljud spoonilehed käega katsutavalt veel liiga niiskeks ning ka paljusid mõõtu lõigatud spoonilehti ei olnud jõutud veel veebruaris kuivatada. Mõningatel spoonilehtedel oli hallitus tekkinud. Antud bakalaureuse töö raames oligi üheks ülesandeks spoonilehtede niiskuse mõõtmine enne ja pärast kuivatust ning soovitus andmine, millist kuivatusrežiimi valida pärast seda, kui lõigatud spoonilehed peaksid TTÜ puidutehnoloogia laboris seisma jääma kuivatamata pikemaks ajaks või kui spoonilehti on vaja taaskuivatada. Soovitud lõppniiskus peale kuivatust spoonilehtedel, et saaks edasi vineeri valmistada, oli 4-7%.

4.1 Seadmed vineeri valmistusliinil TTÜ puidutehnoloogia laboris

Vineeri valmistamise liin koosneb TTÜ puidutehnoloogia laboris järgnevatest seadmetest:

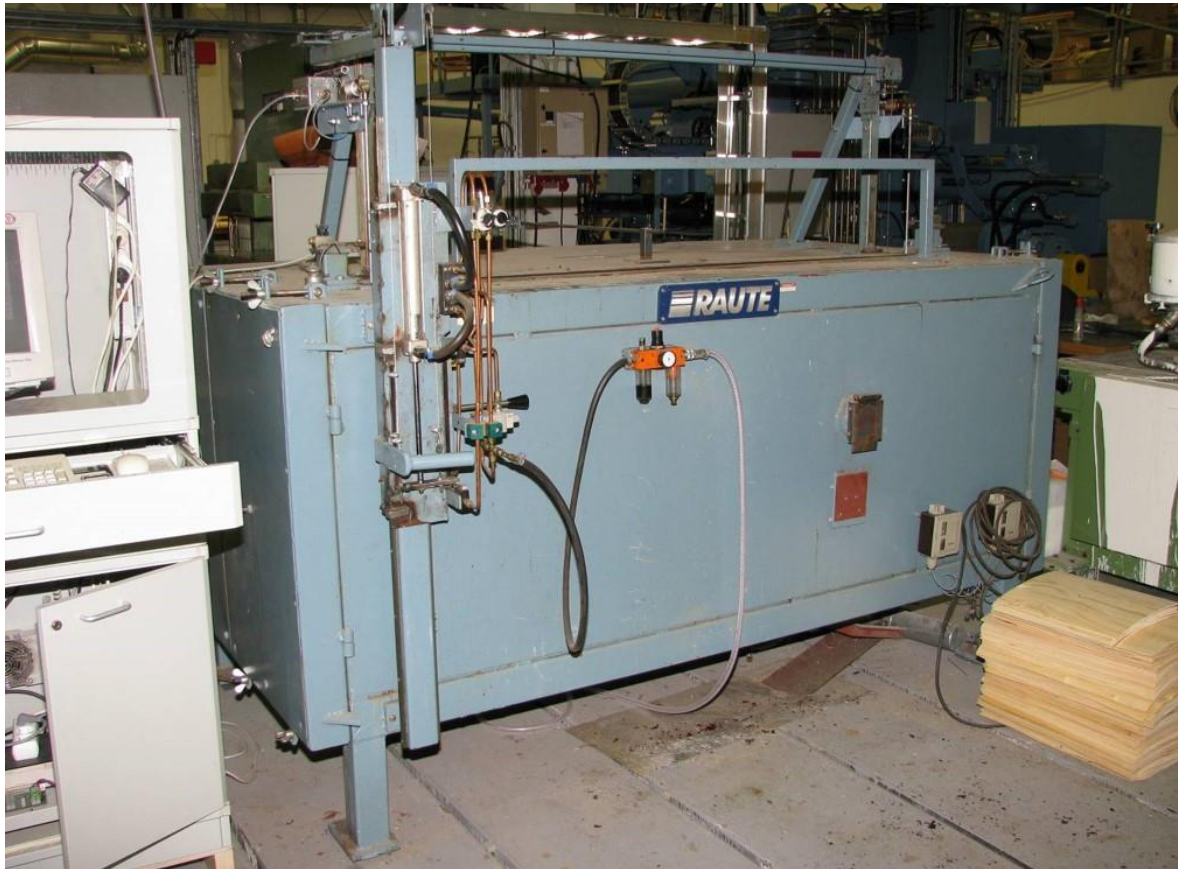
1. Leotusbassein
2. Pakutsentreerija
3. Spoonitreipink Raute 3HV66
4. Spoonigiljotiin Wärtsilä VAL1000CP
5. Spoonilehe kuivati Raute
6. Aurugeneraator Fulton
7. Liimvaltsid Black Bros 22-D

Antud bakalaureusetöös kasutati katsete läbiviimisel spoonigiljotiini, spoonilehekuivatit, lisaks katsekehade kuivatamiseks kuivatusahju ning kaalumiseks elektronkaalu.

Kuna spoonilehekuivati oli olulisim seade antud katsete läbiviimisel, siis järgnevalt kirjeldatakse lühidalt selle tööpõhimõtet.

Kuivatil on kaks temperatuurivahemikku, millega spooni kuivatada. Nendeks on 150°C - 170°C ja 170°C - 190°C. Ühtlasi on võimalik reguleerida ka õhu liikumise kiirust kuivatis. Kuivatamisel

asetatakse spoonileht raami vahele ning suunatakse kuivati sisse veeauruga küllastunud keskkonda, mis aitab vältida spooni liigset kuivatamist. Kuivatis sees suunab ventilaator küttepindadelt kuuma õhu spooni pinnale. Spoonileht liigub raamiga kuivati sees pidevalt üles-alla, et pind saaks ühtlaselt kuivada. Kuivati sees on kaal, mis kaalub spoonilehte koos kinnitusraamiga, iga kord kui see on alumises asendis (kaalul). Kaalu näitude registreerimiseks on olemas arvutiprogramm, kuid antud katsetuste ajaks ei olnud kaal veel töökorras.



Joonis 4.1 Spoonilehe kuivati Raute TTÜ puidutehnoloogia laboris. Allikas: Jaan Kers

4.2 Katsekehad

Esmalt oli vaja valida spoonilehed, millest lõigata katsekehad, mida kuivatada. Eelnevalt oli TTÜ puidutehnoloogia laboris treitud spoon ja lõigatud giljotiiniga tükkideks (950x450 mm), erinevad seeriad olid nummerdatud (nt 1.1, 2.10 jne).

2 nädalat hiljem hinnati erinevaid seeriaid ja üksikuid spoonilehti, et teha kindlaks, millised lehed on kuivatamata ja millised on jäänud pärast kuivatust niiskeks. Lisaks valiti välja hallitanud

spoonilehed (joonis 4.2) ning ka paku esmasel treimisel tekkinud jäägid (joonis 4.3) alg- ja lõppniiskuse (peale kuivatamist) võrdlemiseks.

Katsekehade valik oli selline, kuna lisaks taaskuivatamise aja määramisele sooviti teada saada, mis on hallitanud lehtede niiskussisaldus ning ka värskelt treitud spooni niiskus ning selle muutus peale lühiajalist kuivatamist. Spoonipaku treimisel tekkinud spoonijääkide niiskust arvestati vaid veidi väiksemaks värskelt treitud spooni niiskusest, kuna antud juhul treimisjääd olid ladustatud tihedalt üksteise peale, mistõttu võis eeldada, et niiskussisaldus ei olnud oluliselt muutunud.

Taaskuivatuseks või siis esmaseks kuivatuseks 2 nädalat peale treimist valiti katsekehade lõikamiseks välja 15 spoonilehte, spoonitreimisel saadud jäägist 20 katsekeha ning hallitanud spoonilehtedest 10 katsekeha.

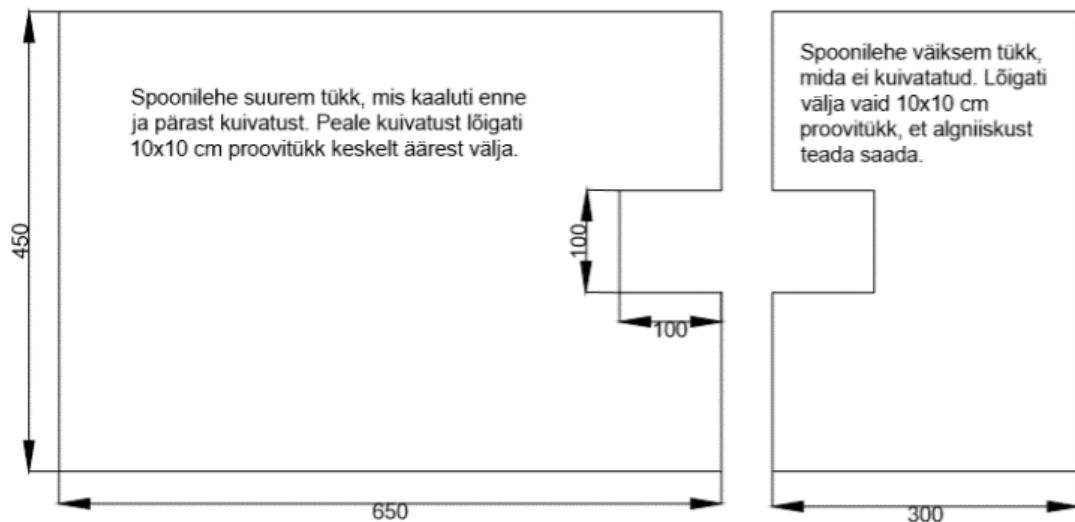


Joonis 4.2 Hallitanud spoonileht TTÜ puidutehnoloogia laboris



Joonis 4.3 Paku treimise jäägid

Edasi lõigati giljotiiniga spoonilehed ja paku treimisjääd sobivasse väiksemasse mõõtu, et oleks võimalik võtta lehe keskelt 10x10 cm proovitükk, kuid katsekeha moodud pidid olema piisavalt suured, et kuivatusel leht kuivatusraami vahel välja ei kukuks. Lõikeskeem on joonisel 4.4. Väiksemate 10x10 cm proovitükkide väljalõikamiseks kasutati kääre.



Joonis 4.4 Spoonilehe lõikeskeem

4.3 Kuivatus ja katsekehade kaalumine

Juhendaja ettepanekul valiti katsetatavateks kuivatusrežiimideks 30 sekundit 180°C juures (kuivatusrežiim 1) ja 60 sekundit 180°C juures (kuivatusrežiim 2). Katsekehad asetati spoonikuivatisse ja kuivatati ühekaupa.

Enne kuivatust kaaluti spoonileht mõõtudega 450x650 mm (vt joonis 4.4) niiskena ning sama spoonileht kaaluti ka pärast kuivatust. Seega saadi teada kaal enne ja pärast kuivatust ning hiljem oli võimalik saadud andmetest niiskuse muutuse protsenti määrata. Pärast katsekeha kaalumist lõigati 10x10 cm proovitükk lehe keskelt äärest välja. Spoonilehe osa, mis tükeldati mõõtu 300x450 mm, ei kaalutud, vaid sealt võeti ainult 10x10 cm proovitükk lehe keskelt äärest, et teada saada algniiskusprotsent.

Samasugust lähenemist kasutati ka spoonitreimise jääkide puhul. Ainukese erinevusega võrreldes spoonilehtedega, varieerus neil laius, kuid pikkus lõigati giljotiiniga samasse mõõtu, mis spoonilehtedelgi. Laius oli siiski piisav, et välja lõigata keskelt 10x10 cm proovitükk.

Edasi proovitükke suurusega 10x10 cm kaaluti elektronkaaludega, seejärel kuivatati kuivatusahjus temperatuuril 103°C juures 60 minutit. Pärast kuivatust ahjus kaaluti neid uuesti ja arvutati niiskusprotsent.

4.4 Niiskuse arvutamine

Niiskusprotsentide arvutamiseks kasutati masside erinevuse meetodit. Kasutati kahte valemit – ühte niiskuse muutuse protsendi leidmiseks, ning teist niiskusprotsendi leidmiseks.

$$\text{Niiskuse muutuse \%} = \frac{m - m_0}{m} \cdot 100 \quad (4.1)$$

kus m - katsekeha kaal niiskena, g

m_0 - katsekeha kaal peale kuivatust spoonilehekuivatis, g

Valemit 4.1 kasutati suurte katsekehade puhul (450x650 mm) niiskuse muutuse protsendi leidmiseks, kui katsekehasid kaaluti enne ja pärast kuivatust spoonilehekuivatis.

$$\text{Niiskus \%} = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad (4.2)$$

Kus m – proovitüki algkaal

m_0 – proovitüki kaal pärast 60 minutit kuivatusahjus kuivatamist 103°C juures

Valemit 4.2 kasutati 10x10 cm proovitükkide niiskusprotsendi leidmiseks, see on üldtuntud valem puidu niiskusprotsendi arvutamiseks masside erinevuse meetodil. [45]

4.5 Katsetulemused

4.5.1 Kuivatusrežiim 1

Antud alapeatüki punkt esitab paku treimise jääkide ja spoonilehtede niiskuse muutuste arvutustulemused, kui neid kuivatati 180°C juures 60 sekundit.

Spoonitreimise jääkide niiskuse muutused.

Spoonitreimise jääkide niiskuse muutuse protsent (arvutatud valemi 4.1 järgi).

Tabel 4.1 Treimise jääkide niiskuse muutuse protsent kuivatusrežiimil 1

Nr	Niiskuse muutuse %
1	11,60
2	19,28
3	19,74
4	19,21
5	20,60
6	21,76
7	21,91
8	20,01
9	12,49
10	16,38
Keskmine:	18,30
Standardhälve:	3,64

Paku treimise jääkide niiskusprotsent enne ja pärast kuivatust 10x10 cm proovitükkidelt (arvutatud valemi 4.2 järgi).

Tabel 4.2 Niiskusprotsent enne kuivatust ja pärast kuivatust kuivatusrežiimil 1

Nr	Niiskus % enne kuivatust	Niiskus % peale kuivatust
1	20,93	10,00
2	56,75	24,95
3	76,40	27,00
4	81,26	34,41
5	78,24	28,61
6	85,32	28,57
7	79,29	37,16
8	73,38	34,39
9	57,45	23,66
10	22,92	8,77
Keskmine:	63,20	25,75
Standardhälve:	23,72	9,65

Nagu tabelist 4.1 näha, siis suuremate katsekehade niiskuse muutus oli keskmiselt 18,30% ja tabelist 4.3 on näha, et 10x10 cm proovitükkide järgi oli niiskuse muutus samadel katsekehadel antud kuivatusrežiimi juures $63,20\% - 25,75\% = 37,45\%$, mis on väga suur erinevus. Samuti on näha erinevate katsekehade puhul suur algniiskuste ja lõppniiskuste erinevus, standardhälve on eriti suur algniiskuste puhul. Võimalike põhjuseid selliseks andmete erinevuseks analüüsitakse järgmises alapeatükis.

Spoonilehtede niiskuse muutused.

Spoonilehtede niiskuse muutuse protsent (arvutatud valemi 4.1 järgi).

Tabel 4.3 Spoonilehtede niiskuse muutuse protsent kuivatusrežiimil 1

Nr	Niiskuse muutuse %
1	6,92
2	11,08
3	11,77
4	11,16
5	9,71
6	12,49
7	11,67
8	9,82
Keskmine:	10,58
Standardhälve:	1,75

Spoonilehtede niiskusprotsent enne ja pärast kuivatust 10x10 cm proovitükkidelt (arvutatud valemi 4.2 järgi).

Tabel 4.4 Niiskusprotsent enne ja pärast kuivatust kuivatusrežiimil 1

Nr	Niiskus % enne kuivatust	Niiskus % pärast kuivatust
1	10,55	2,87
2	13,82	3,93
3	15,64	3,57
4	15,23	2,63
5	15,38	2,54
6	15,79	3,25
7	14,89	2,93
8	15,21	2,70
Keskmine:	14,56	3,05
Standardhälve:	1,73	0,49

Spoonilehtede suuremate katsekehade kaalu järgi oli niiskuse muutus 10.58%, 10x10 cm proovitükkide järgi aga samade katsekehade niiskuse muutus on $14,56\% - 3,05\% = 11,51\%$, mis on ligilähedane tulemus. Keskmine lõppniiskus on 3,05% peale 60 sekundit 180°C juures spoonilehekuivatis.

4.5.2 Kuivatusrežiim 2

Antud alapeatüki punkt esitab paku treimise jääkide ja spoonilehtede niiskuse muutuste arvutustulemused, kui neid kuivatati 180°C juures 30 sekundit.

Spoonitreimisjääkide niiskuse muutused.

Spoonitreimisjääkide niiskuse muutuse protsent (arvutatud valemi 4.1 järgi).

Tabel 4.5 Treimise jääkide niiskuse muutuse protsent kuivatusrežiimil 2

Nr	Niiskuse muutuse %
1	15,72
2	15,58
3	13,71

Tabel 4.5 järg

Nr	Niiskuse muutuse %
4	14,65
5	11,77
6	4,61
7	4,99
8	8,53
9	8,83
10	12,75
Keskmine:	11,12
Standardhälve:	4,15

Paku treimise jääkide niiskusprotsent enne ja pärast kuivatust 10x10 cm proovitükkidelt (arvutatud valemi 4.2 järgi).

Tabel 4.6 Niiskusprotsent enne ja pärast kuivatust kuivatusrežiimil 2

Nr	Niiskus % enne kuivatust	Niiskus % peale kuivatust
1	45,13	32,38
2	48,79	43,66
3	50,77	39,46
4	41,66	36,29
5	21,89	11,12
6	16,30	7,66
7	20,42	9,48
8	23,49	9,94
9	19,13	11,78
10	20,48	5,22
Keskmine:	30,81	20,70
Standardhälve:	13,90	15,21

Suuremate katsekehade niiskuse muutuse protsent on 11,12% ning 10x10 cm proovitükkide järgi on muutus $30,81\% - 20,70\% = 10,11\%$, mis on jällegi ligilähedased tulemused.

Spoonilehtede niiskuse muutused.

Spoonilehtede niiskuse muutuse protsent (arvutatud valemi 4.1 järgi).

Tabel 4.7 Spoonilehtede niiskuse muutuse protsent kuivatusrežiimil 2

Nr	Niiskuse muutuse %
1	9,82
2	10,84
3	8,87
4	6,74
5	6,56
7	5,76
Keskmine:	7,86
Standardhälve:	1,96

Spoonilehtede niiskusprotsent enne ja pärast kuivatust 10x10 cm proovitükkidelt (arvutatud valemi 4.2 järgi).

Tabel 4.8 Niiskusprotsent enne ja pärast kuivatust kuivatusrežiimil 2

Nr	Niiskus % enne kuivatust	Niiskus % pärast kuivatust
1	15,04	5,46
2	11,61	6,05
3	10,55	5,06
4	10,07	4,42
5	9,42	3,95
6	9,83	4,99
7	8,61	4,16
Keskmine:	10,73	4,87
Standardhälve:	2,11	0,74

Suuremate katsekehade järgi on niiskuse muutuse protsent 7,86% ning 10x10 cm proovitükkide järgi on niiskuse muutus $10,73\% - 4,16\% = 6,57\%$.

4.5.3 Hallitanud spoonilehtede niiskus

Hallitanud spoonilehtede niiskuse mõõtmiste tulemused on kirjas tabelis 4.9. Arvutamiseks kasutati valemit 4.2.

Tabel 4.9 Hallitanud spoonilehtede niiskus

Nr	Niiskus %
1	20,06
2	23,56
3	21,98
4	16,02
5	23,86
6	17,36
7	24,05
8	25,34
9	24,72
10	20,30
Keskmine:	21,73
Standardhälve:	3,20

4.6 Katsetulemuste analüüs

4.6.1 Spooni treimisjäädid

Järguvad tabelid 4.10 ja 4.11 näitavad ja võrdlevad katsetulemuste aritmeetilisi keskmisi.

Tabel 4.10 Keskmine niiskuse muutus, kui spooni kuivatati 180°C juures 60 sekundit, kuivatusrežiim 1

10x10 cm proovitükkide järgi			Suuremate katsekehade kaalu järgi
Materjali algniiskus %	Materjali lõppniiskus %	Niiskuse muutus %	Niiskuse muutus %
63	26	37	18

Tabel 4.11 Keskmise niiskuse muutus, kui kuivatati 180°C juures 30 sekundit, kuivatusrežiim 2

10x10 cm proovitükkide järgi			Suuremate katsekehade kaalu järgi
Materjali algniiskus %	Materjali lõppniiskus %	Niiskuse muutus %	Niiskuse muutus %
31	21	10	11

Nagu eelnevas alapeatükis mainitud, siis erinesid katsekehade algniiskused suuresti ning tabel 4.10 näitab, kuidas saadi väga erinevad tulemused niiskuse muutuse protsendi määramisel. Kuna paku treimise jäägid olid ladestatud tihedalt üksteise peale, siis võis juhtuda, et valitud katsekehad, mis olid natukene pealpool, olid oluliselt kuivemad kui need, mis olid virna keskel. Tabelis 4.10 on materjali algniiskus 63% kuid tabelis 4.11 on algniiskus 31%, mis on kahekordne vahe. Värskest treitud spooni niiskussisaldus peaks olema oluliselt kõrgem. See tähendab, et katsetulemused ei ole usaldusväärsed, kui sooviti näha, mis mõju avaldavad pakutud kaks kuivatusrežiimi värskest treitud spoonile. Kuid samas võib väita, et antud kuivatustsükkel antud temperatuuri juures on liiga lühike, et saavutada vineeri valmistamiseks vajalikku niiskusprotsent 4-7%. On huvitav märkida, et hallitanud spoonilehtede niiskussisaldus oli 22%, mis on väiksem kui paku treimise jääkidel, kuid paku treimise jääkidel ei olnud hallitust tekkinud. Seega võib järeldada, et spooni kuivatamisel toimuvad protsessid, kui spoon jäi liiga niiskeks, ning kuivatatud spoonilehtede ladustamise viis TTÜ puidutehnoloogia laboris löid soodsad tingimused hallituse tekkeks.

4.6.2 Spoonilehed

Hallitanud spoonilehtede niiskus oli 22%. Järgnevad tabelid 4.12 ja 4.13 võrdlevad katsetulemuste aritmeetilisi keskmisi.

Tabel 4.12 Niiskuse muutus, kui kuivatati 180°C juures 60 sekundit, kuivatusrežiim 1

10x10 cm proovitükkide järgi			Suuremate katsekehade kaalu järgi
Materjali algniiskus %	Materjali lõppniiskus %	Niiskuse muutus %	Niiskuse muutus %
15	3	12	11

Tabel 4.13 Niiskuse muutus, kui kuivatati 180°C juures 30 sekundit, kuivatusrežiim 2

10x10 cm proovitükkide järgi			Suuremate katsekehade kaalu järgi
Materjali algniiskus %	Materjali lõppniiskus %	Niiskuse muutus %	Niiskuse muutus %
11	5	6	8

Nagu tabelitest näha, siis nii 10x10 cm proovitükkide järgi kui ka suuremate katsekehade järgi saadi niiskuse muutuseks ligilähedased tulemused. Vaadates materjali lõppniiskuste tulemusi, siis võib anda soovitusi, et kui on vaja TTÜ puidutehnoloogia laboris spooni kuivatada pärast seda, kui see on õppetöökojas seisma jäänud näiteks kahenädalaseks perioodiks, siis piisab kuivatuseks 180°C juures 30 sekundit, mis annab sobiva niiskusprotsendi vineeri valmistamiseks.

KOKKUVÕTE

Hetkel on Eestis mitmed ettevõtted lähiajal investeerinud spooni- ja vineeritootmisliinide laiendamisse või uutesse vineeritehastesse kokku ligi 199 mln eur. Spooni- ja vineeritootmise valdkonnas suureneb tööhõive ning soodsate majanduslike tingimuste korral ületavad tehaste aastased tootmismahud mõne aasta pärast mitmekordselt praeguseid tootmismahute, autori kõige positiivsemal prognoosi kohaselt kuni 150%. Senisest enam hakatakse tootma spooni kõrval just vineeri. Aastal 2019 peaks Eestis olema viis tehast, mis toodavad vineeri, võrdlusena aastal 2009 oli neid vaid üks. See tähendab, et Eesti puidutööstuses saab üheks oluliseks valdkonnaks vineeritootmine, sealhulgas muutub oluliseks kasepuidu kui vajaliku toormaterjali vääristamine.

Spoonid ja vineeri tootmisel on palju erinevaid etappe ning iga töötlemise samm on oluline, et valmiks võimalikult kvaliteetne toode. Kõik algab toormaterjalist ning selle puhul lubatavatest puiduriketest. Edasi toimub paku leotamine, spooni treimine, spooni kuivatus, spooni parandamine ja jätkamine. Vineer saadakse sobiva niiskussisalduse spoonilehtede liimitamise ja pressimise teel. Et laiendada võimalikult vineeri kasutusvaldkondi, siis tihtipeale viimistlusetapis lamineeritakse vineer. Kasutusvaldkond vineeril on äärmiselt lai, enim levinumaks on ehitus, raketised betoonivaluks, transpordivahendid (põrandad, laed, seinad, heliisolatsioon, LNG transpordimahutid), mööbel, pakendid.

TTÜ puidutehnoloogia labor on varasemast rohkem keskendunud vineeri ja spooni uurimisele. Aastal 2016 hangiti Aalto Ülikoolist seadmed, millega valmistada spooni ja vineeri, esimene spoonitreimine ja -kuivatus toimus 2018. aasta jaanuari keskel. Esmene kuivatusrežiim ei olnud sobilik, paljud spoonilehed jäid niiskeks, lisaks jäi suur osa kuivatamata spoonilehti seisma TTÜ puidutehnoloogia laborisse, mõnedel spoonilehtedel tekkis hallitus. Antud bakalaureusetöös leiti sobiv kuivatusrežiim selliste spoonilehtede kuivatamiseks, et saavutada vajalik niiskusprotsent 4-7% vineeri valmistamiseks. Sobivaimaks osutus kuivatusrežiim 2: 30 sekundit 180°C juures.

Antud bakalaureuse töö eesmärgid said täidetud, autor tutvus põhjalikult Eesti ja spooni ja vineeritööstuse hetkeolukorraga, töös toodi välja muutused valdkonnas. Eksperimentaalselt leiti katsetuste teel sobiv spoonikuivatusrežiim TTÜ puidutehnoloogia laboris. Spoonikuivatusprotsessi parameetreid tuleks veel katseliselt edasi uurida, et teha protsessi efektiivsemaks. Lühike kuivatustsükkel põhjustab suuremaid materjali deformatsioone ning kuivatuse kvaliteet mõjutab oluliselt sellest valmistatava vineeri kvaliteeti ja omadusi.

SUMMARY

In recent years several companies have invested in new veneer and plywood production lines or in entirely new factories in Estonia. The investments have been around 199 million euros. This in turn indicates an increase in employment rate in the field and furthermore in case of favourable economic conditions the yearly production values combined could increase by 150%, according to the author's most positive prognosis. More emphasis will be put on plywood production as comparatively in 2009 there was only one factory producing plywood but by 2019 there should be five. This means that plywood production will become more prominent in Estonia's wood industry as well as valuing the hardwood raw material –birch – grows more important.

There are many stages to producing veneer and plywood and each step is important to ensure maximum quality of the end product. It all begins with the raw material properties and quality requirements of the final product. Next the process includes log soaking, cutting, drying, patching and jointing the veneer. Plywood is made of odd number of veneers that are pressed and glued together. Plywood is also often coated in order to maximise its applications. Plywood as a product is very versatile and it is used in many different circumstances. Most common applications include construction, concrete formwork, transport (in walls, ceilings and as floors and sound proofing, LNG tankers, vessels), furniture and packaging.

TUT's Laboratory of Wood Technology has also recently put emphasis on studying veneer and plywood. In 2016 the Laboratory of Wood Technology acquired the necessary equipment from Aalto University to produce veneer and plywood. The first cutting and drying the veneer was carried out in the middle of January 2018. However, it became apparent that the drying regime selected was not suitable as majority of the veneer sheets were too damp after drying and in addition many veneer sheets were still yet to be dried as time management issues emerged over the course of two weeks. Mold had also started to grow on some of the veneers. In this bachelor's thesis a suitable drying regime for this particular situation was determined in order to proceed with plywood production steps. The suitable moisture content 4-7% to produce plywood was achieved by drying the aforementioned veneers for 30 seconds at 180°C.

The goals set in the beginning of the bachelor's thesis were met. They were to study the veneer and plywood industry in Estonia and to find a suitable drying regime in the laboratory.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. J. Kermik, Lutheri vabrik vineer ja mööbel, Harjumaa: Eesti Arhitektuurimuseum, 2004.
2. Statistikaameti andmebaas. [WWW] <http://andmebaas.stat.ee/?lang=et> (10.04.2018)
3. Metsä Wood. [WWW] https://www.metsawood.com/global/news-media/news/Pages/News.aspx?EncryptedId=940F883BC72F22E1&Title=MetsaWoodestablis_hesbirchplywoodmillinParnu,Estonia (13.04.2018)
4. A. Johanson, A. Reimer, „Korralikus kasumis Eesti perefirma teeb Eestis suure vineerivariku“ Postimees, 29.08.2017. [WWW] <https://majandus24.postimees.ee/4225547/korralikus-kasumis-eesti-perefirma-teeb-suure-vineerivabriku> (12.04.2018)
5. Keskonnainvesteeringute Keskus. [WWW] <https://www.kik.ee/et/artikkel/tarmeko-spoonija-klaasimeistri-ressursikasutus-paraneb> (12.04.2018)
6. V. Rozental, „Spoonid ja vineeri tootjad teevad hiiglaslikke investeeringuid“ Äripäev, 20.03.2017. [WWW] <https://www.aripaev.ee/uudised/2017/03/17/spoonid-ja-vineeri-tootjad-teevad-hiiglaslikke-investeeringuid> (12.04.2018)
7. Invest In Estonia. [WWW] <https://investinestonia.com/finlands-metsa-to-invest-e-50-million-create-200-new-jobs-in-estonian-wood-products-industry/> (12.04.2018)
8. „Lemeks rajab 30 miljoni eest uue tehase“ Äripäev, 29.08.2017. [WWW] <https://www.aripaev.ee/uudised/2017/08/29/lemeks-rajab-30-miljoni-eest-ue-tehase> (12.04.2018)
9. P. Reichmann, RE: Palun infot Balti Spoon AS-i kohta lõputöö jaoks. [e-mail] (28.05.2018)
10. Eesti Metsa- ja Puidutööstuse Liit. Väliskaubandus. [WWW] <http://empl.ee/statistika/valiskaubandus/> (17.04.2018)
11. FAOSTAT .[WWW] <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO> (12.04.2018)
12. Latvian Forest Sector - In Facts & Figures [WWW]. https://www.zm.gov.lv/public/ck/files/skaitli&fakti_EN_2017.pdf (30.04.2018)
13. Balti Spoon OÜ. [WWW] <http://www.baltispoon.ee> (12.04.2018)
14. Valmos. [WWW] <http://www.valmos.ee/> (14.04.2018)
15. Tarmeko Veneer. [WWW] <http://tarmeko.ee/kaubamargid/spoon> (12.04.2018)

16. M. Kraun, „Kahjumis Kohila Vineer palkas sada töötajat“ Tööstusuudised, 14.09.2017.
[WWW]. <http://www.toostusuudised.ee/uudised/2017/09/14/kahjumis-kohila-vineer-palkas-sada-tootajat> (12.04.2018)
17. UPM-Kymmene. [WWW] <http://www.wisaplywood.com/Contacts/production-units/otepaa/Pages/default.aspx> (12.04.2018)
18. Inforegister. [WWW] <https://www.inforegister.ee/> (19.05.2018)
19. d-maps. [WWW] http://d-maps.com/carte.php?num_car=5364&lang=en (19.05.2018)
20. Simple Icon. [WWW] <http://simpleicon.com/home-5.html> (19.05.2018)
21. Eesti Metsa- ja Puidutööstuse Liit. Toodangustatistika. [WWW].
<http://empl.ee/statistika/toodangustatistika/mahud-ja-indeksid/> (12.04.2018)
22. Keskkonnaagentuur. Aastaraamat "Mets 2016". [WWW].
http://www.keskkonnaagentuur.ee/sites/default/files/mets2016_08.09.pdf (30.04.2018)
23. R. Varis, Puulevyteollisuus, Porvoo: Bookwell Oy, 2017.
24. OÜ Tark Mets, Heiki Hepner. Ülevaade 2017. aasta IV kvartali puiduturust. [WWW]
<http://www.eramets.ee/wp-content/uploads/2017/01/Puiduhinnad-2017-IV-kv.pdf>
(01.05.2018)
25. Tarmeko Spoon AS. Metsamaterjali ostmine. [WWW]
<http://tarmeko.ee/kaubamargid/spoon/metsamaterjali-ost> (01.05.2018)
26. V. Aitsam, „Kasepaku hind sõltub metsakasvatajast ja ülestöötajast“ Maa Elu 04.02.2016
[WWW] <https://maaelu.postimees.ee/3570217/kasepaku-hind-soltub-metsakasvatajast-ja-ulestootajast> (01.05.2018)
27. OÜ Kohila Vineer. Kohila Vineeri kvaliteedinõuded E ja B sordi kasepakule. [WWW]
<http://kohilavineer.ee/KV%20alates%2014.01.2013%20EST.pdf> (01.05.2018)
28. A. Rohumaa, „The impact of log pre-heating on birch veneer surface quality, bond formation and plywood performance,“ Aalto University, Helsingi, 2016
29. Wisa Plywood. [WWW] <http://www.wisaplywood.com/Products/about-plywood/Pages/default.aspx> (19.04.2018)
30. M. P. Ansell, Wood Composites, Cambridge: Elsevier, 2015.
31. R. M. Rowell, Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, Taylor & Francis Group, LLC, 2013.
32. J. C. F. Walker, Primary wood processing principles and practice, Dordrecht, Springer, 2006.

33. R. Shmulsky, Forest Products and Wood Science: an Introduction, Chichester: Wiley-Blackwell, 2011.
34. P. Pulkkinen, A. Hanhijärvi, A. Rohumaa, S. Sundman, P. Hyttinen, K. Sokka ja T. Paajanen, Viilun kuivaus - Puumateriaalin ja kuivausprosessin vaikutukset tuoteominaisuuksiin, Espoo, 2000.
35. E. Saarman, Puiduteadus, Tartu: Vali Press, 2006.
36. Finnish Forest Industries federation. Handbook of Finnish Plywood. [WWW]
<https://www.metsateollisuus.fi/uploads/2017/03/30041750/887.pdf> (07.05.2018)
37. UPM. Declaration of Formaldehyde. [WWW]
<http://www.wisaplywood.com/SiteCollectionDocuments/Certificates/UPM%20PLY%20E1%20Declaration.pdf#search=formaldehyde> (07.05.2018)
38. UPM. WISA Architects' Guide - Specifying Finnish Plywood. [WWW]
http://www.wisaplywood.com/SiteCollectionDocuments/Brochures/Architect_Guide_EN.pdf (07.05.2018)
39. Sveza. [WWW] <http://www.sveza.com/products> (07.05.2018)
40. Metsä Wood. Products. [WWW]
<https://www.metsawood.com/global/Products/Pages/Products.aspx> (07.05.2018)
41. UPM. Product catalogue. [WWW] <http://www.wisaplywood.com/Products/product-catalogue/Pages/default.aspx> (03.06.2018)
42. Latvias Finieris. All Plywood. [WWW] <https://www.finieris.com/en/products/plywood/all-plywood> (03.06.2018)
43. Metsä Wood. Engineered Wood Products. [WWW]
<https://www.metsawood.com/global/Products/Pages/Products.aspx> (03.06.2018)
44. Metsä Wood. Metsä Wood Birch Plywood Datasheets English. [WWW]
<https://www.metsawood.com/global/Tools/MaterialArchive/MaterialArchive/MetsaWood-Birch-plywood-datasheets-English.pdf> (03.06.2018)
45. U. Veibri, E. Saarman, Puiduteadus, Tartu: Vali Press, 2006.
46. Puiduterminoloogia sõnastik. Tsenter. [WWW]. <http://test.tsenter.ee/terminid/> (07.05.2018)