

**HALL-LEPA (ALNUS INCANA), SANGLEPA
(ALNUS GLUTINOSA) JA HAAVA (POPULUS
TREMULA) BAASVINEERI MEHAANILISTE
OMADUSTE VÄLJASELGITAMINE**

**DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF THE
GREY ALDER (ALNUS INCANA), BLACK ALDER (ALNUS
GLUTINOSA) AND ASPEN (POPULUS TREMULA) BASE
PLYWOOD PANELS
BAKALAUREUSETÖÖ**

Üliõpilane: Erika Kuldla

Üliõpilaskood: 179634EANB

Juhendaja: Dr. Heikko Kallakas, teadur

Tallinn, 2020

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.

"08." jaanuar 2020

Autor: Erika Kuldla

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"08." jaanuar 2020

Juhendaja: Heikko Kallakas

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....." 2020

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Erika Kuldla (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 27.04.1998)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Hall-lepa (*Alnus incana*), sanglepa (*Alnus glutinosa*) ja haava (*Populus tremula*) baasvineeri mehaaniliste omaduste väljaselgitamine,

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on Dr. Heikko Kallakas,

(*juhendaja nimi*)

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

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

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

¹Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

_____ (*alkiri*)

_____ (*kuupäev*)

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane:

Erika Kuldla, 179634

Õppekava, peeriala:

Materjalitehnoloogia, EANB

Juhendajad:

Dr. Heikko Kallakas, teadur, 620 2910

Lõputöö teema eesti keeles: Hall-lepa (*Alnus incana*), sanglepa (*Alnus glutinosa*) ja haava (*Populus tremula*) baasvineeri mehaaniliste omaduste väljaselgitamine

Lõputöö teema inglise keeles: Determination of mechanical properties of the grey alder (*Alnus incana*), black alder (*Alnus glutinosa*) and aspen (*Populus tremula*) base plywood panels

Lõputöö põhieesmärk:

Lõputöö põhieesmärgiks on saavutada sobiv kuumpressi pressimisparameeter survele, et saada võimalikult ühtlane ja väikse paksuse kõikumisega ning hea tugevusega baasvineer nii hall-lepale, sanglepale kui haavale võttes aluseks kase baasvineeri.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Teoreetilise osa kirjutamine - tutvuda töö temaatikaga ja anda ülevaade spoonist, vineerist ning antud töös kasutatavatest puiduliikidest	02. märts 2020
2.	Hall-lepa, sanglepa, haava ja kase pakkude leotamine, koorimine ja treimine spooniks, lõikamine spoonilehtedeks ning spooni kuivatamine	20. aprill 2020
3.	Spoonilehtede sorteerimine kvaliteediklassidesse, fenool-formaldehüüdliimi valmistamine, liimilehtede valtsimine ja vineerplaatide valmistamine erinevatele pressimissurvele	07. mai 2020
4.	Vineerplaatide paksuse mõõtmine ja nende katsekehadeks lahtilõikatus	14. mai 2020
5.	Katsekehade ettevalmistused tõmbe-, painde- ja tiheduse katsetusteks ning vastavad katsetused	08. juuni 2020
6.	Eksperimentaalse osa analüüsimine ja selle kirjutamine	17. august 2020
7.	Lõputöö viimistlemine ja esitamine	08. jaanuar 2021
8.	Lõputöö kaitsmine	15. jaanuar 2021

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "08." jaanuar 2021a

Lõputöö kaitsmise tähtaeg: "15." jaanuar 2021a

Üliõpilane: Erika Kuldla "....." 2021a

/allkiri/

Juhendaja: Dr. Heikko Kallakas "....."
2021a

/allkiri/

Programmijuht: Tiia Plamus "....." 2021a

/allkiri/

SISUKORD

Lühendite ja tähiste loetelu	8
Jooniste loetelu	9
Tabelite loetelu	11
SISSEJUHATUS	12
1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE	14
1.1 Spooni ja vineeri ülevaade	14
1.1.1 Spooni ülevaade	14
1.1.2 Vineeri ülevaade	17
1.1.3 Fenoolliimiga vineeri pressimisparameetrid erinevatel puiduliikidel	21
1.2 Hall-lepa, sanglepa ja haava ülevaade	22
1.2.1 Hall-lepp ja selle omadused	22
1.2.2 Sanglepp ja selle omadused	23
1.2.3 Haab ja selle omadused	25
2 MATERJALID JA MEETODID	28
2.1 Eksperimentaalse töö etapid	28
2.2 Vineerplaatide liimikulu	32
2.3 Vineerplaatide paksus	32
2.4 Liimühenduse kvaliteet	34
2.5 Paindetugevuse ja -elastsusmooduli määramine	35
2.6 Tiheduse katsed	38
3 TULEMUSED JA ANALÜÜS	40
3.1 Vineerplaatide liimikulu	40
3.2 Vineerplaatide paksus	41
3.3 Liimühenduse kvaliteet	43
3.4 Paindetugevuse ja paindeelastsusmooduli määramine	47
3.4.1 Paindetugevuse määramine	47
3.4.2 Paindeelastsusmooduli määramine	50
3.5 Tiheduse katsed	51
3.6 Järeldused	53
KOKKUVÕTE	57
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	59
LISAD	62
Lisa 1 Metsa tagavara hulk Eestis	62
Lisa 2 Puidupõhiste toodete eksport ja nende toodangumahud	64
Lisa 3 Paksuse mõõtmise tulemuste ANOVA statistiline analüüs	67
Lisa 4 Tõmbekatsekehad enne ja pärast katseid	68
Lisa 5 Tõmbekatsete keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed nihketugevused	69
Lisa 6 Tõmbekatsete tulemuste ANOVA statistiline analüüs	71
Lisa 7 Paindekatsekehad pärast katset	72

Lisa 8 Paindekatsete keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed paindetugevused ja kirjanduslike viidete tabelid	73
Lisa 9 Paindekatsete tulemuste ANOVA statistiline analüüs	75
Lisa 10 Paindetugevusmoodulite ANOVA statistiline analüüs	77
Lisa 11 Tiheduse mõõtmise tulemuste ANOVA statistiline analüüs	79

Lühendite ja tähiste loetelu

A - Haab (ingl k *Aspen*)

B - Kask (ingl k *Birch*)

BA - Sanglepp (ingl k *Black Alder*)

f_m - Paindetugevus, ühikuks N/mm²

f_v - Nihketugevus, ühikuks N/mm²

GA - Hall-lepp (ingl k *Grey Alder*)

TKA - Tõmbekatsekeha plaadi keskelt, sisselõiked pealt alumise kihini, alt ainult alumisse kihti

TKK - Tõmbekatsekeha plaadi keskelt, sisselõiked mõlemast kohast keskosani välja

TKP - Tõmbekatsekeha plaadi keskelt, sisselõiked pealt pealmisse kihti, alt kuni ülemise kihini

TSA - Tõmbekatsekeha plaadi servast, sisselõiked pealt alumise kihini, alt ainult alumisse

TSK - Tõmbekatsekeha plaadi servast, sisselõiked mõlemast kohast keskosani välja

TSP - Tõmbekatsekeha plaadi servast, sisselõiked pealt pealmisse kihti, alt kuni ülemise kihini

\perp - Plaadil puidu süüga/pikkusega risti asetatud paindekatekeha

// - Plaadil puidu süüga/pikkusega paralleelselt asetatud paindekatekeha

Jooniste loetelu

Joonis 1.1.1.1 TalTech'i Puidutehnoloogia labori spoonikoorimistreipink Raute 3HV66 (vasakul) ja treitud spoon (paremal)

Joonis 1.1.1.2 Spooni pikkuse näide

Joonis 1.1.1.3 Hõövelspooni pind ja spooni lõikamine kas radiaalselt (vasakul) või tangentsiaalselt (paremal)

Joonis 1.1.1.4 Puidu tüve ristlõige näitamaks maltspuidu ja säsi osa palgis

Joonis 1.1.1.5 Lõiketera ja survenoa asetus paku suhtes

Joonis 1.1.1.6 Spooni treimine ekstsentrilisel viisil

Joonis 1.1.2.1 Vineerplaadi struktuur (vasakul) ja erinevate paksustega vineerplaatide näiteid (paremal)

Joonis 1.1.2.2 Üldine vineeri tootmise skeem Põhjamaades

Joonis 1.1.2.3 Vineerplaadi märgistamine

Joonis 1.2.1.1 Hall-lepa üks alaliike - *Alnus Incana Tenuifolia*

Joonis 1.2.1.2 Hall-lepp

Joonis 1.2.2.1 Sanglepp - *Alnus Glutinosa*

Joonis 1.2.2.2 Sanglepp

Joonis 1.2.3.1 Haab - *Populus Tremula*

Joonis 1.2.3.2 Haab

Joonis 2.1.1 Eksperimentaalse töö etapid

Joonis 2.3.1 Schmidt-i DMD-3-1 paksuse mõõtja

Joonis 2.3.2 Vineerplaadi paksuse mõõtmise kohad

Joonis 2.4.1 Tõmbekatsekeha peale ettevalmistust vahetult enne katset (vasakul) ja tõmbekatsekeha enne ettevalmistust (paremal) hall-lepa näitel

Joonis 2.4.2 TSK tõmbekatsekehad (vasakul) ja TKP tõmbekatsekehad (paremal) enne katsetusi

Joonis 2.4.5 Kõik tõmbekatsekehad peale katsetusi

Joonis 2.5.1 Ühe surve jagu paindekatseskehad enne katseid (vasakul) ja katsekehade pikkuste erinevused (paremal)

Joonis 2.5.2 Paindekatseskehad peale katseid

Joonis 2.5.3 Paralleelselt ja risti asetsevate paindekatseskehade purunemine (vasakul) ja paindegraafikud (paremal)

Joonis 2.5.4 Koormuse läbipaindekõver elastse deformatsiooni piirides

Joonis 2.6.1 Tiheduse katseskehad (vasakul) ja kõik katseskehad (paremal)

Joonis 2.6.2 Paksuse mõõtmine (vasakul) ja kaalumine (paremal) ja kõik katseskehad (paremal)

Joonis 3.1.1 Reaalne liimikulu liigiti hall-lepa, sanglepa, haava ja kase puhul

Joonis 3.1.2 Haava spoonilehe pealispind

Joonis 3.2.1 Vineerplaatide paksuse kõikumine mm-tes maksimaalse ja minimaalse väärtuse vahel liigiti hall-lepa, sanglepa, haava ja kase puhul sõltuvalt pressimissurve

Joonis 3.2.2 Vineerplaatide suurimad paksuse kõikumised mm-tes liigiti hall-lepa, sanglepa, haava ja kase puhul sõltuvalt pressimissurve

Joonis 3.3.1 Tõmbekatsete tõmbegraafikud

Joonis 3.3.2 Keskmised nihketugevused liigiti hall-lepa, sanglepa, haava ja kase puhul sõltuvalt pressimissurve

Joonis 3.3.3 3-kihilise kasevineeri nihketugevuste sõltuvus pressimisparameetritest

Joonis 3.4.1.1 Keskmised paindetugevused risti asetsevatel paindekatekehadel liigiti hall-lepa, sanglepa, haava ja kase puhul sõltuvalt pressimissurve

Joonis 3.4.1.2 Keskmised paindetugevused paralleelselt asetsevatel paindekatekehadel liigiti hall-lepa, sanglepa, haava ja kase puhul sõltuvalt pressimissurve

Joonis 3.4.2.1 Keskmised paindeelasutusmoodulid risti asetsevatel paindekatekehadel liigiti hall-lepa, sanglepa, haava ja kase puhul sõltuvalt pressimissurve

Joonis 3.4.2.2 Keskmised paindeelasutusmoodulid paralleelselt asetsevatel paindekatekehadel liigiti hall-lepa, sanglepa, haava ja kase puhul sõltuvalt pressimissurve

Joonis 3.5.1 Keskmised tihedused liigiti hall-lepa, sanglepa, haava ja kase puhul sõltuvalt pressimissurve

Lisad:

Joonis 1 Eesti metsa tagavara jagunemine puuliigiti

Joonis 2 Puidupõhiste toodete eksport aastatel 2017-2019 suuremate kaubagruppide alusel, miljonit eurot

Joonis 3 Vineeri eksport 2019. ja 2020. a märtsi omavahelises võrdluses riikide kaupa

Joonis 4 Vineeri tootmismahud Eestis 2019. ja 2020. a esimese 9 kuu omavahelises võrdluses

Joonis 2.4.3 Haava ühe plaadi jagu tõmbekatekehasid enne katseid

Joonis 2.4.4 Hall-lepa, haava ja kase tõmbekatekehad peale katseid

Joonis 2.5.4 Sanglepa paralleelselt asetsev paindekatekeha peale katset

Joonis 2.5.5 Haava risti asetsev paindekatekeha peale katset

Tabelite loetelu

Tabel 1.1.3.1 Kuumpressi parameetrid vineeri tootmisele

Tabel 3.5.1 Vineerplaatide kirjanduslike ja katseliste tiheduste ning puidu tiheduse võrdlus

Tabel 3.5.2 Sanglepa- ja kasevineeri karakteristikite väärtuseid

Tabel 3.6.1. Kogu eksperimentaalse osa kokkuvõtvad tulemused

Lisad:

Tabel 1. Eesti metsamaa pindala ja tagavara enamuspuiduliigiti omandikategooriate järgi

Tabel 2. Toodangumahud suuremates tootegruppides 2015-2019. aastatel

Tabel 2.2.2.1 ANOVA statistiline analüüs paksuse mõõtmise katsete kohta

Tabel 3.3.1 Keskmised nihketugevused ja standardhälbed sõltuvalt katsekeha asukohast plaadil liigiti hall-lepa, sanglepa, haava ja kase puhul sõltuvalt pressimissurve

Tabel 3.3.2 Keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed nihketugevused liigiti hall-lepa, sanglepa, haava ja kase puhul sõltuvalt pressimissurve

Tabel 2.2.3.3 ANOVA statistiline analüüs vineeri liimühenduse kvaliteedi kohta

Tabel 3.4.1.1 Keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed paindetugevused sõltuvalt katsekeha asendist ja liigiti hall-lepa, sanglepa, haava ja kase puhul sõltuvalt pressimissurve

Tabel 3.4.1.2. Kasevineeri karakteristikite väärtuseid Soome Metsatööstuse Föderatsiooni poolt

Tabel 3.4.1.3 Pöõgi keskmised paindetugevused risti ja paralleelsete katsekehade kohta 1,3 MPa pressimissurvega

Tabel 2.2.4.4 ANOVA statistiline analüüs paindetugevuste kohta (risti asetatud katsekehad)

Tabel 2.2.4.5 ANOVA statistiline analüüs paindetugevuste kohta (paralleelselt asetatud katsekehad)

Tabel 3.4.2.1 ANOVA statistiline analüüs paindeelastsusmoodulite kohta (risti asetatud katsekehad)

Tabel 3.4.2.2 ANOVA statistiline analüüs paindeelastsusmoodulite kohta (paralleelselt asetatud katsekehad)

Tabel 3.5.2 ANOVA statistiline analüüs tiheduse mõõtmise katsete kohta

SISSEJUHATUS

Lõputöö teemaks on "Hall-lepa (*Alnus incana*), sanglepa (*Alnus glutinosa*) ja haava (*Populus tremula*) baasvineeri mehaaniliste omaduste väljaselgitamine", mille raames leitakse antud puiduliikidele ühtlase paksusega vineeri saavutamiseks kuumpressi jaoks sobiv pressimisparameeter survele. Samaaegselt peab olema täidetud tingimused võimalikult väiksele paksuse kõikumisele ja heale tugevusele.

Antud töös keskendub lehtpuudest, hall-lepast, sanglepast ja haavast, valmistatavale vineerile. Tavaliselt on vineeritööstuses kasutusel ka okaspuuliigid, nagu kuusk (lad k *Picea abies*) ja mänd (lad k *Pinus sylvestris*). Samas on lehtpuuit enamikel juhtudel okaspuidust vastupidavam ja ka hinnatum oma suuremate võimaluste poolest värvuse, tekstuuri ja süü variatsioonide puhul. [1]

Varasemalt on samuti uuritud lepast vineeri valmistamist, aga tol korral kasutati pressimiseks kasevineeri pressimisparameetreid ja sellepärast ei vastanud tulemused oodatule. [2] Tegelikult tuleb lisaks arvestada asjaolu, et lepal kui liigil on erinevad puidu omadused (nt tihedus) kui kasel (lad k *Betula*) ja sellest tulenevalt tuleb antud parameetreid korrigeerida ümber leपालe. Puidu omadustelt kehtib sama ka haava kohta.

Lõputöö valik tuleneb sellest, et puitmaterjalid on alati põnev ala tundunud ja on soov silmaringi avardada selles vallas. Esiteks teha selgeks spooni ja vineeri valmistamise, seejärel hakata arendama seda valdkonda. Ühtlasi, kuna lepast vineeri tootmine on üsna päevakajaline ja oluline teema, siis see teema kutsus seetõttu ka rohkem kui teised, mis ette olid antud.

Teema aktuaalsus seisneb selles, et praegusel ajal kasutatakse põhiliselt kasevineeri ja seda aina enam. Selle tõttu majanduslikus võtmes ka selle nõudlus aina suureneb. Sellest tulenevalt aga ettevõtetele läheb aina kallimaks kase kui toorainena sisseost ja selle tagajärjena kasevineeri hind on kõrgem ka ostjatele.

Probleemi lahenduseks on vaja leida kasevineerile alternatiiv. Teiseks võimaluseks on seega lepp ja/või haab, aga et tootmises seda õigesti ja efektiivselt saaks valmistada, on tarvilik leida antud liikidele sobiv pressimisparameeter survele, mis viib jällegi lõputöö eesmärgini.

Ühtlasi kasutatakse leppa ja haaba tänapäeval üsna vähe, mis annab võimalusi nende kasutamiseks vineerina ja toorainest ei teki puudust mõlema puiduliigi suhteliselt kiire kasvu tõttu. Selle selgitamiseks on toodud paar tabelit ja joonist aastaraamatust Mets näitamaks, kuidas nii haab kui lepp kuuluvad Eesti enamuspuiduliikide hulka (vt Lisa 1).

Samuti vaadates, kuidas iga aastaga vineeri eksport ja selle toodangumahud suurenevad (vt Lisa 2), on seda enam põhjust uurida kasevineerile alternatiive, et seda tõhusamalt kasutada ära Eestis leiduvaid metsa tagavarasid.

Praegusel ajal kasutatakse leppapuitu põhiliselt küttematerjalina ning kala ja liha suitsutamisel, kuid koore osa leiab kasutust ka naha parkimisel ja värvimisel suure park- ja värvainete sisalduse tõttu. Kasutatakse ka mööbli- ja kodutarvete tööstuses (nt harjavarred, tekstiilkanga poolid). [7][8] Kui nii sangleppa kui hall-leppa kasutatakse plaatide vahekihtidena, siis sanglepp leiab kasutust ka vesiehitistes oma suure vastupidavuse tõttu vees. Hall-leppa kasutatakse ka transportalustena. [9]

Haab leiab põhiliselt kasutust saunalavades oma väiksema tiheduse ja õhu läbilaskvuse tõttu ja sellepärast ka saunas leiduv kuumus ei kõrveta inimest saunalavaga kokku puutudes. Samuti kasutatakse seda palju pakendite valmistamisel ja ka toiduainete transpordil, kuna haab ei erita maitset, lõhna ega värvi. Ühe põhilise valdkonnana on ka tuletikkude toormaterjalina, kuid samas oma pehme ja karvase pinna tõttu kasutatakse antud puitu mööblitööstuses vähem kui leppa. [10]

Lõputöö käsitleb järgnevaid teemasid: spooni ja vineeri ülevaade; hall-leppa, sangleppa ja haava ülevaade ja nende omadused; katsetulemused hall-leppa, sangleppa, haava ja kase vineerplaatide paksuse, nihketugevuse, paindetugevuse ja tiheduse põhjal.

Töös on kasutatud spooni niiskuse ja vineeri tiheduse mõõtmiseks kaalmeetodit, paksuse mõõtmiseks paksuse mõõtjat, tugevuskatseteks Instron 1122 seadet ja selle Series X programmi. Katsetulemuste analüüsimiseks Exceli programmi ja ANOVA analüüsi.

Katsed ja katsetulemuste hindamine toimus järgmiste standardite järgi: EVS-EN 310:2002, EVS-EN 314-1:2005, EVS-EN 314-2:1999, EVS-EN 315:2002, EVS-EN 323:2002, EVS-EN 324-1:2002 ja EVS-EN 326-1:2002.

Lõputöö võtmesõnad: lepp; haab; vineer; pressimisparameetrid; bakalaureusetöö.

1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE

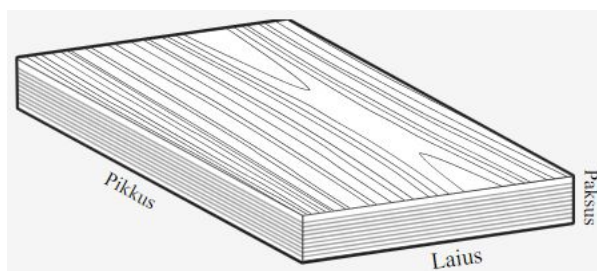
1.1 Spooni ja vineeri ülevaade

1.1.1 Spooni ülevaade

“Spoon on õhuke puitpakust lõigatud puiduleht, mida kasutatakse konstruktsioonilisel või dekoratiivsel eesmärgil.” [9] Spoonilehe paksused võivad varieeruda 0,3-st mm-st 3 mm-ni, oleneb lõikemeetodist, otstarbest ja kasutatavast puuliigist. Antud töös kasutab treispoon (joonis 1.1.1.1), mis on lõigatud ekstsentrilisel viisil (liikudes väljapoole sissepoole), mille puhul on enamasti kasutusel 1,5 mm paksune spoon. Spooni pikkust võetakse alati palgi pikkuse ja puidu süüga samas suunas (joonis 1.1.1.2).



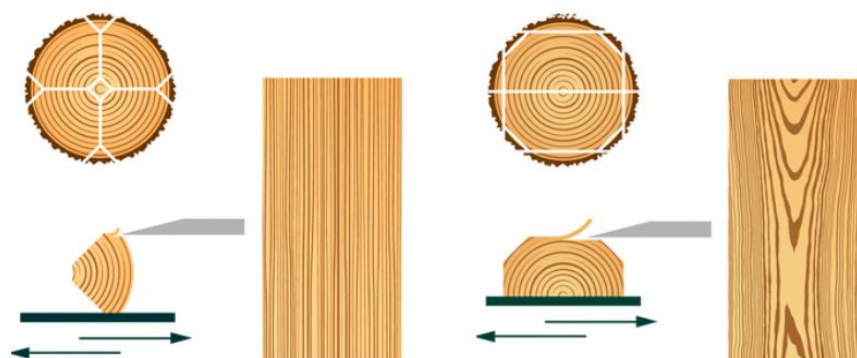
Joonis 1.1.1.1 TalTech'i Puidutehnoloogia labori spoonikoorimistreibipink Raute 3HV66 (vasakul) ja treitud spoon (paremal) [11]



Joonis 1.1.1.2 Spooni pikkuse näide [12]

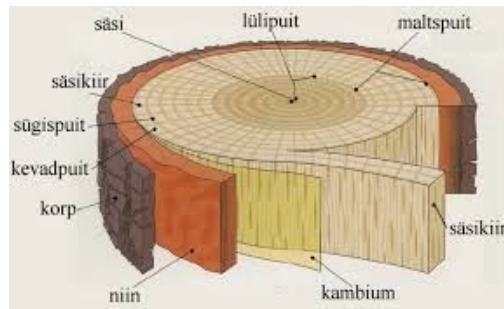
Spooni võib toota kolmel lõikemeetodil: saagimine, hõõveldamine ja koorimine. Kahel viimasel meetodil on omakorda mitmeid lõikeviise. Saagimist kasutatakse harvem ja kõvemate puiduliikide (nt guajakipuu, lad k *Guaiacum officinale*) puhul, kuid teised viisid on levinumad. [1]

Hõõveldamist kasutatakse lehtpuude puhul dekoratiivse spooni saamiseks erinevate puitplaatide peelistamiseks. Olenevalt, millist mustrit tahetakse saavutada, valitakse pakul kas tangentsiaal- või radiaalpind ning enne hõõveldamist pakk lõigatakse pikuti kas pooleks või veeranditeks, jällegi erineva mustri saamise tõttu (joonis 1.1.1.3). [13]

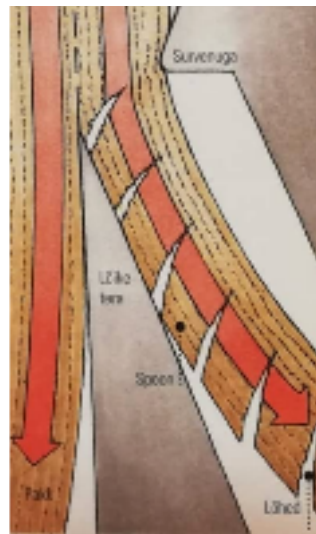


Joonis 1.1.1.3 Hõõvelspooni pind ja spooni lõikamine kas radiaalselt (vasakul) või tangentsiaalselt (paremal) [13]

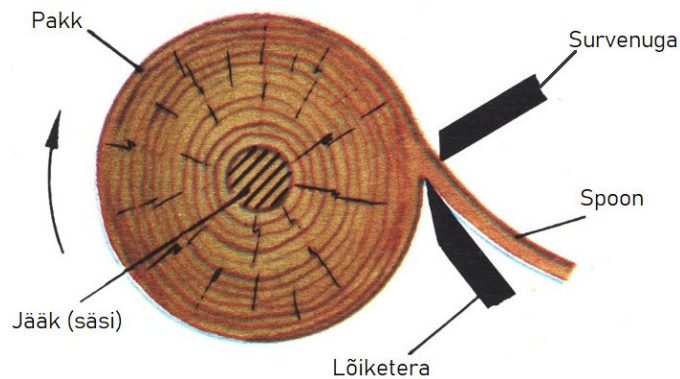
Ringkoorimismeetodit, teisisõnu treimist, kasutatakse vineeri tootmise puhul saavutamaks spooni ühtlast struktuuri. Palk kinnitatakse treipingi klambrite vahele, liigutatakse paigalseisva lõiketera juurde ja pannakse pöörlema lõiketera poole. Seejärel lõiketera surutakse vastu pakku, samaaegselt vastutera (ehk survenuga) toetab pakku hoides seda splindite vahel, et pakk nende vahelt ära ei kukuks. Lõiketera lõikab ühe pideva spoonilehe alates maltspuidust kuni puidu säsini välja (joonis 1.1.1.4). [14] Nii vastutera kui lõiketera on pakuga ühepikkused. Vastutera ja lõiketera vahe on valitud selline, kui paksu spoonilehte tahetakse saavutada. Antud viisi nimetatakse ekstsentriliseks lõikamiseks. [13] Protsessi näitlikustamiseks on toodud joonis 1.1.1.5 ja joonis 1.1.1.6.



Joonis 1.1.1.4 Puidu tüve ristlõige näitamaks maltspuidu ja säsi osa palgis [14]



Joonis 1.1.1.5 Lõiketera ja survenoa asetus paku suhtes [1]



Joonis 1.1.1.6 Spooni treimine ekstsentrilisel viisil [15]

Peale ekstsentrilise viisi on võimalik spooni treida ka poolitatud paku lõikamisega või tagurpidilõikusega. Üldpõhimõtte jääb samaks ekstsentrilise meetodiga, kuid esineb väikseid muutusi. Esimesel viisil kinnitatakse pikuti pooleks lõigatud pakk treipinki spetsiaalse rakise abil ja kooritakse väljapoolt sissepoole, nagu ekstsentrilisel, kuid spoon ei tule ühe pika pideva ribana, vaid igal ringil tuleb uus leht spooni. Selline spoon sarnaneb välimuselt tangentsiaalse hõvelspooniga. Teisel viisil kinnitatakse

pikuti pooleks lõigatud pakk treipinki teistpidi ehk lülipuit jääb väljapoole, muidu on sama poolitatud paku lõikamise meetodiga. Sellise viisiga on võimalik saavutada dekoratiivse süüga tüükaid ja pahasid. [1]

Spoonil eristatakse ka pealmist ja alumist külge. Alumine külg on halvema kvaliteediga ja tulenevalt lõikamisest on sinna tekkinud mõningad lõhed, mida on näha ka joonisel 1.1.1.5. Spooni pikikiudu painutades saab kindlaks teha kumma poolega on tegemist. [1]

1.1.2 Vineeri ülevaade

“Vineer ehk ristvineer (ingl k *plywood*) on kihiline materjal, mis on kokku liimitud kolmest või enamast üksteise suhtes risti asetatud spoonilehest, jäädes paksuselt enamasti 4-25 mm juurde.” Ühes vineeriplaadis on alati kokku paaritu arv spoonilehti sisepingete vältimiseks. Kihid on omavahel paigutatud vaheldumisi nii, et üks kiht on paralleelne plaadi pikisuunaga, teine risti jne. [9]

Spoonilehti klassifitseeritakse peale nende välja lõikamist kvaliteedi järgi. Olenevalt kas ja kui suurel määral on seal puidurikkeid või tootmisvigu. Selle põhjal on ka vineeriplaadis pinnaspoon (kõrgeima kvaliteediga), vahespoon (keskmise kvaliteediga) ja liimileht (madalaima kvaliteediga). Liimileht tähendab spoonilehte, mis on lastud läbi liimivaltside ja kaetud liimiga ühendamiseks vahespoone ja pinnaspoone omavahel. Need on alati asetatud vineeriplaati pinna- ja vahespoonidega vaheldumisi (joonis 1.1.2.1). [1]



Joonis 1.1.2.1 Vineeriplaadi struktuur (vasakul) ja erinevate paksustega vineerplaatide näiteid (paremal) [16][17]

Vineerplaadid võivad olla tehtud ainult ühest puiduliigist või kombineeritud paari puiduliigi vahel. Näiteks kas üks vineerplaat koosneb ainult kasest või koosneb see kasest ja kuusest mõlemast. Tavaliselt kombineeritud viisil on kask pinnaspoonideks

ja kuusk vahespoonideks, kuna kask on suurema kõvadusega. Üldiselt lehtpuud on paremate tugevusomadustega ning suurema tiheduse ja kõvadusega kui okaspuidud. Tiheduselt jääb vineer enam-vähem samaks lähtepuiduga. Niiskussisaldus jääb aga 10-14% juurde. Enim kasutatavad puuliigid vineeris on kask, kuusk ja mänd. [9]

Spoonlehti liimitakse omavahel kokku karbamiid-formaldehüüdlüimiga või niiskuskindluse saavutamiseks fenool-formaldehüüdlüimiga. Tavaliselt on selleks fenool-formaldehüüdlüim, mida kasutab ka antud töö eksperimentaalses osas. [9]

Vineeri valmistamisel alustatakse kõigepealt puude langetamise ja toormaterjali tarnimisega tootmisesse. Palgid mõõdetakse, sorteeritakse puuliigi, palgi jämeduse (jälgitakse ladvaotsa läbimõõtu) ja kvaliteedi järgi ja virnastatakse sobivatesse gruppidesse. Enne spooni treimist leotatakse neid 40-kraadises soojas vees 24-28 h. Selle tulemusel ligniin, mis moodustab puidu keemilisest koostisest ligi kolmandiku, muutub tahkest plastsesse olekusse kergendades sellega palgi koorimist ja parendades puidu lõiketöödeldavust. Võrreldes omavahel vee ja puidu soojusjuhtivust, siis vesi on puidust mitu korda parem soojusjuht. [18] Erinevus seisneb vedela ja tahke oleku struktuuri vahes. Vedela puhul saavad molekulid liikuda vabamalt kui tahkes ja kanda soojust üle ühelt molekulilt teisele kogu materjali ulatuses üheaegselt. Tahkes on aga struktuur jäigem ja molekulid vibreerivad kandes soojust edasi üksteise vahel jagades vabu elektrone, kuid ise jäädes samale kohale. Vee parem soojusjuhtivus annab seega võimaluse puitu kiiremini soojendada, mis protsessi kiirendades tõstab omakorda tööstuse efektiivsust, kui palke leotada soojas vees, selmet tõsta puit kõrgema temperatuuriga keskkonda. [9][19]

Seejärel palgid kooritakse ja lõigatakse õige pikkusega pakkudeks. Pakkude niiskustase on 60-80% juures. Edasi kinnitatakse pakk treipinki ja treitakse üks pidev spoonileht, mis lõigatakse omakorda osadeks. Spoonilehed kuivatatakse 4-6% niiskustasemeni ja sorteeritakse kvaliteedi järgi gruppidesse. Liimilehed valtsitakse läbi liimivaltside ja spoonilehed asetatakse omavahel kihtidesse joonis 1.1.2.1 struktuuri järgi. Kihtide arv oleneb sellest, kui paksu vineeri toodetakse. [9][19]

Edasi eelpressitakse kõik kihid kokku külmpressiga, peale seda kasutatakse kuumpressi ~150 kraadi juures (fenool-formaldehüüdlüimi puhul, kasutatavad temperatuurid ja pressimisajad sõltuvad konkreetsest liimist). Pressimise aeg ja surve valitakse sõltuvalt vineeri paksusest. Näiteks kuumpressimise aeg kasevineeri ja fenool-formaldehüüdlüimi puhul on 3min + 0,5 x vineeri paksus mm-tes. Peale

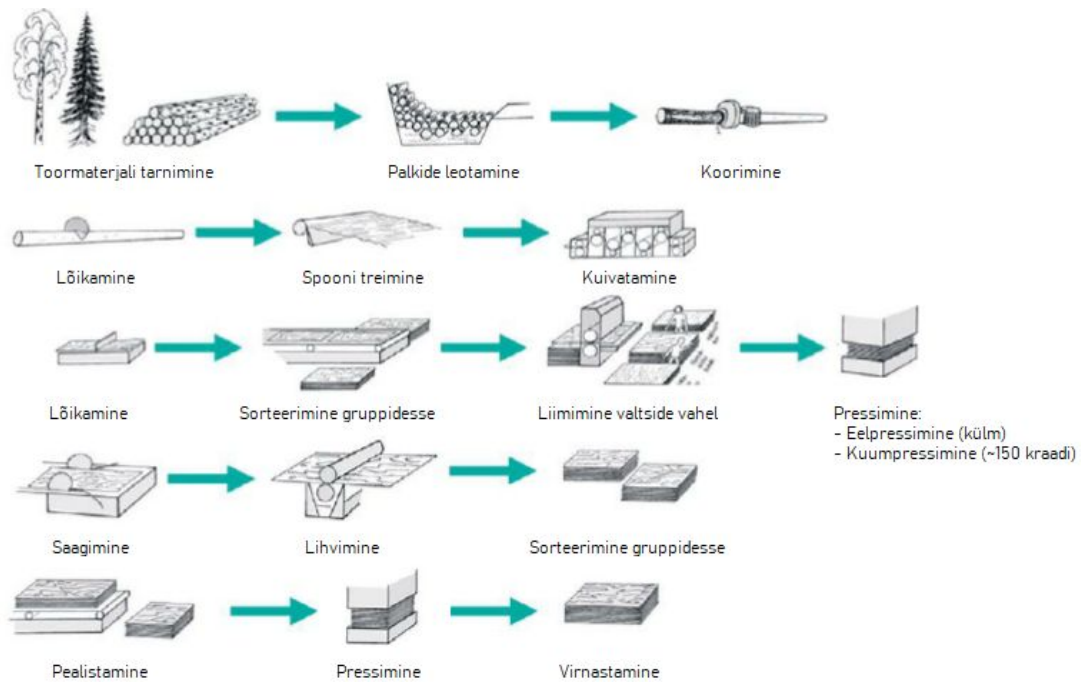
kuumpressimist lastakse vineeriplaadil maha jahtuda ning plaadi ääred freesitakse ühtlaseks ja pind lihvitakse. Edasi sorteeritakse uuesti kvaliteedigruppidesse. [9][19]

Tootmises sõltub spooni kuivatamisaeg niiskustasemest, mis kõigub sõltuvalt puidu osast ja selle kasvukohast ning see on erinev iga spoonilehe puhul. Sageli on kasutusel kuivatid, mis kõigepealt mõõdavad spooni niiskustaseme ja kuna spoonileht liigub seadmes edasi, mitte ei seisa paigal, siis selle alusel muudavad spoonilehe liikumise kiirust läbi kuivati või kuivatustemperatuuri. Üheks näiteks saab tuua Balti Spoon AS-i¹, kes kuigi põhiliselt toodab 0,5 mm paksust kattespooni, siis tööpõhimõte jääb üldjoontes samaks treispooni puhul. Selle ettevõtte puhul on spooni algniiskustase ~65% ja kuivatavad spooni 10% või väiksema protsendi niiskuse juurde. Spoonilehtede niiskuse kõikumise tõttu muudavad kuivatustemperatuuri, jääb 130-150 kraadi vahemikku.

Vahel kui tahetakse lisaviimistlust, siis kaetakse vineeripind fenoolpaberiga ja lastakse kuumpressi alt läbi, et see korralikult plaadile kinnituks. Peale seda freesitakse uuesti küljed. Kõige lõpuks virnastatakse, pakendatakse ja saadetakse välja. Lihtsustatult on protsessi kirjeldatud alltoodud joonisel 1.1.2.2. [9][19]

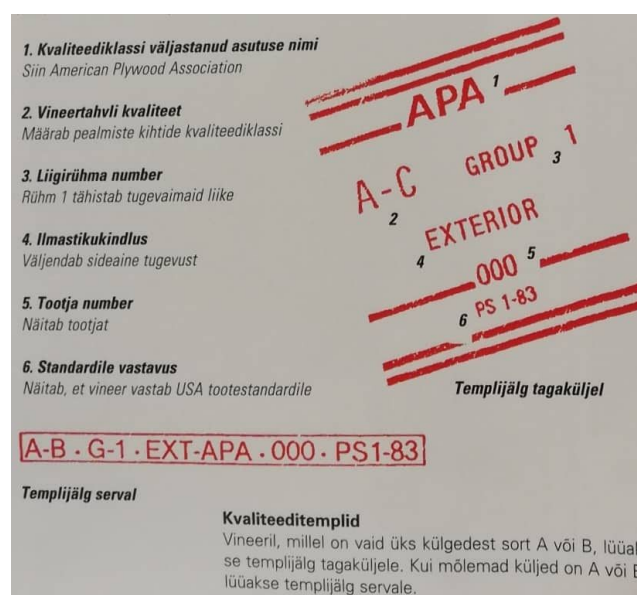
Lisaviimistlusena võidakse kasutada ka mitmeid polümeerseid katteid pinna veekindluse suurendamiseks. Kasutusel on ka värvitud vineerplaadid disainilikus võtmes. [9]

¹ Ettevõttelt on luba üldandmete kasutamiseks antud töös.



Joonis 1.1.2.2 Üldine vineeri tootmise skeem Põhjamaades [19]

Vineeritootjatel on loodud plaatidele omad klassifikatsioonid kvaliteedi järgi. Okaspuuvineeril on selleks A, B, C ja D klassid. A tähistab kõrgeimat kvaliteeti ja pea defektivaba toodet, D on aga halvima kvaliteediga ja sisaldab maksimaalse lubatud hulga rikkeid. [1] Märgistuse teine pool tähendab vineeri tagakülge. Näiteks A-B puhul käib A klass esikülje (korralikum pool vineeril) ja B klass tagakülje kohta. Ülejäänud poole märgistusest leiab jooniselt 1.1.2.3. [1] Balti regioonis eristatakse 6 erinevat kvaliteediklassi kasevineeril - B, S, BB, WGE, WG ja C. [35]



Joonis 1.1.2.3 Vineerplaadi märgistamine [1]

Vineeri kasutatakse põhiliselt ehitus- ja konstruktsioonimaterjalina, leiab kasutust ka tislmaterjalina mööbli ja sisustuselementide tegemiseks. Seda klassifitseeritakse omaette ehitusvineerina. Omapärasem kasutusvaldkond on laevavineer, kus kasutatakse kõrgkvaliteedilist dekoratiivset ehitusvineeri kohtades, kus on suurem kokkupuude vee ja auruga. Samuti jaotatakse vineerplaate sise- ja välistööde vineerideks. Esimesel juhul on kasutatud karbamiid-formaldehüüdliimi ja vineeri kasutatakse mittekonstruktsioonilistel eesmärkidel, teisel juhul niiskuskindlat fenool-formaldehüüdliimi ja vineeri kasutatakse niisketes kohtades, kuid samuti mittekonstruktsioonilistel eesmärkidel. [1]

Kaasajal on olemas ka ehitusmaterjale, mis on kombineeritud vineeriga. Sellisel juhul väliskihtideks on vineerplaadid tugevuse jaoks, kuid seespool mõni soojusisolatsiooni materjal, näiteks klaasvill, kivivill, polüstüreenmaterjalid. [9]

1.1.3 Fenooliimiga vineeri pressimisparameetrid erinevatel puiduliikidel

Erinevatest kirjandusallikatest otsides ei leidunud ühtseid pressimisparameetreid erinevatele puiduliikidele. See-eest oli paaris teadusartiklis mainitud kase ja sanglepa kohta, mille juures kasutati kuumpressi 125-130 °C juures ja aega valiti sõltuvalt spooni kihtide arvust.

Üheks näiteks võib tuua P. Bekhta ja E-A. Salca loodud artiklist järgmise tabeli 1.1.3.1. [20]

Tabel 1.1.3.1 Kuumpressi parameetrid vineeri tootmisele [20]

Kuumpressi parameetrid	
Pressimise surve, MPa	1,8
Pressimise temperatuur, °C	130
Pressimise aeg, s	
3-kihiline vineer	300
5-kihiline vineer	420
7-kihiline vineer	480

P. Bekhta *et al.* poolt kirjutatud artiklis on mainitud nii kase kui ka sanglepa vineeri valmistamist. [21] Antud juhul kasutati mõlema puiduliigi puhul samu pressimisnäitajaid. Pressimise surve oli 1,8 MPa, pressimise temperatuur 125 °C ja pressimise aeg 8 min. Andmed on 5-kihilise vineeri kohta. Katsetes kasutati detaile mõõtmetega 300 x 300 mm ja kahes spoonikihtide paksuses - 1,3 mm ja 1,5 mm.

Lisaks kasutades fenool-formaldehüüdiimi on vaja, et pressimistemperatuur oleks valitud piisavalt kõrge, et liimikihi temperatuur tõuseks kusagil 100 kraadini, mille juures antud liim saaks luua sidemeid kõrvalolevate spoonikihtidega ja kõveneda ning selle tulemusena tekiks korralik liimühendus. [21]

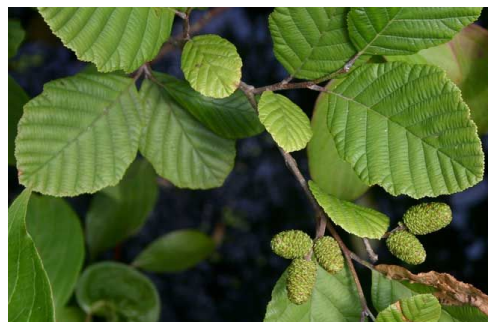
1.2 Hall-lepa, sanglepa ja haava ülevaade

1.2.1 Hall-lepp ja selle omadused

Hall-lepp ehk valge lepp (ladina keeles *Alnus Incana*) on kaseliste sugukonda lepa perekonda kuuluv heitlehine lehtpuuliik. [7]



Joonis 1.2.1.1 Hall-lepa üks alaliike - *Alnus Incana Tenuifolia* [22]



Joonis 1.2.1.2 Hall-lepp [23]

Välistunnused ja omadused [7][9][10]:

- Puit pigem heleda värvusega, nõrgalt hallika alatooniga (joonis 1.2.1.1);
- Maltspuiduline (ei esine lülipuitu);
- Sanglepast tumedama värvusega, paisub ja kahaneb sanglepast rohkem ning sanglepast läikivam, pehmem ja kergema kaaluga;
- Hajulisooneline (aastarõngaid on raske omavahel eristada tüve pikisuunas; sooned ja rakud asuvad hajutatult kogu aastarõnga ulatuses, seetõttu on keeruline teha vahet kevad- ja sügispuidu vahel);
- Aastarõngaste piirjooned pole täiesti ümmargused, vaid õrnalt lainjad;
- Laiu säsiikiiri vähe ja kui on, siis need väärsäsiikiired;
- Puit on hästi lõhestatav ja töödeldav, läikiv ja kerge (sanglepast väiksema tihedusega);
- Puu koor on sile, hall ja läiketu (joonis 1.2.1.2);
- Lehed pole kunagi kleepuvad;
- Koor suure park- ja värvainete sisaldusega;
- Tihedus õhukuivalt 500-530 kg/m³;
- Kahanemine 14,5%;
- Survetugevus pikikiudu 41 MPa;
- Kõvadus 370 Janka. [9][10]

Hall-lepa kütteväärtus, teisisõnu energiasisaldus KWh ühe m (ruumimeeter, virnastatud puidu mahuühik) kohta 20% niiskussisalduse juures on 700. [24]

Eestis esineb antud puuliiki pea kõikjal, vähem saartel. [7] Samuti leidub ka Euroopas (v.a lõunapoolsed osad), Põhja-Ameerika põhjaosas, Põhja-Venemaal, Kaukaasias ja Põhja-Aasias. [9]

Hall-leppa kasutatakse transportalustena, küttematerjalina, puidunikerduste tegemisel ja puitplaatide vahekihtides. Koore suure park- ja värvainete sisalduse tõttu kasutusel ka naha parkimisel ja värvimisel. [7][9]

1.2.2 Sanglepp ja selle omadused

Sanglepp ehk must lepp (ladina keeles *Alnus Glutinosa*) on kaseliste sugukonda lepa perekonda kuuluv heitlehine lehtpuuliik. [7]



Joonis 1.2.2.1 Sanglepp - *Alnus Glutinosa* [10]



Joonis 1.2.2.2 Sanglepp [25]

Välistunnused ja omadused [7][9][10]:

- Puit kollakas- või punakasvalge värvusega, õhu käes muutub puit helepruuniks (joonis 1.2.2.1).
- Maltspuiduline (ei esine lülipuitu);
- Hajulisooneline (aastarõngaid on raske omavahel eristada tüve pikisuunas; sooned ja rakud asuvad hajutatult kogu aastarõnga ulatuses, seetõttu on keeruline teha vahet kevad- ja sügispuidu vahel);
- Aastarõngaste piirjooned üsna ümmargused, vaid õrnalt lainjad nagu hall-lepalgi;
- Säsikiired on laiad ja kitsad, neid esineb keskmiselt; ristlõikes nähtavad väärsäsikiirtena; esineb võrdlemisi palju väärsäsikiiri, mida kõige paremini näha pikilõikes;
- Puit on üsna hästi lõhestatav, pehme ja kerge;
- Hästi peitsitav ja lihvitav, kuid pind ei jää kuigi läikiv;
- Väga vastupidav vees;
- Puu koor on sile, pruun (mida vanem puu, seda tumedam) ja läiketu (joonis 1.2.2.2);
- Lehed on puhkenult kleepuvad;
- Tihedus õhukuivalt 550 kg/m^3 ;
- Kahanemine 13,6-14,7%;

- Survetugevus pikikiudu 39-52 MPa;
- Paindetugevus 78-95 MPa;
- Elastsusmoodul 9000-12000 MPa;
- Kõvadus otspinnal 370 Janka. [9][10]

Sanglepa kütteväärtus, teisisõnu energiasisaldus kWh ühe m³ (ruumimeeter, virnastatud puidu mahuühik) kohta 20% niiskussisalduse juures on 1200. [24]

Eestis esineb antud puuliiki puistudes ja rohkem niiskematel aladel (eriti Lääne-Eestis) [7] Samuti leidub ka Euroopas, Siberis ja Loode-Aafrikas. [9]

Sangleppa kasutatakse treipuiduna, vesiehitistes ja puitplaatide vahekihtides. Koore suure park- ja värvainete sisalduse tõttu kasutusel ka naha parkimisel ja värvimisel. Sanglepp on hinnatud ka suitsutatud toodete valmistamisel, kuna lisab tootele kuld kollase värvuse ja läike. [7][9]

1.2.3 Haab ja selle omadused

Haab ehk harilik (ladina keeles *Populus Tremula*) on pajuliste sugukonda papli perekonda kuuluv heitlehine lehtpuuliik. Harilik haab on papli perekonna ainus Eestis looduslikult kasvav puu. [7]



Joonis 1.2.3.1 Haab - *Populus Tremula* [10]



Joonis 1.2.3.2 Haab [26]

Välisunnused ja omadused [7][9][10]:

- Puit on värvuselt kreemjas valge, mõned juhuslikud tumedamad laigud ja kriipsud ("väärsäsid") (joonis 1.2.3.1);
- Maltspuiduline (ei esine lülipuitu);
- Hajulisooneline (aastarõngaid on raske omavahel eristada tüve pikisuunas; sooned ja rakud asuvad hajutatult kogu aastarõnga ulatuses, seetõttu on keeruline teha vahet kevad- ja sügispuidu vahel), kuid antud liigi puhul on aastarõngad paremini eristatavad kitsaste tumedate piirjoontena;
- Üks kättesaadavamaid ja odavamaid liike;
- Kerge ja pehme, kiire kasvuga;
- Väga kerge lõhestada ja töödelda; kuivab kiirelt oma tiheduse tõttu; kõvadus on väiksem kui lepal;
- Puu koor on sile, hall (mida vanem puu, seda tumedam) ja läiketu (joonis 1.2.3.2);
- Ei anna värvi, lõhna ega maitset, mille tõttu hea sellest valmistada kaste ja pakendeid toiduainete jm vastavate kaupade pakkimiseks;
- Pehme ja karvase pinna tõttu ei sobi mööbli valmistamiseks;
- Tihedus õhukuivalt 480-520 kg/m³;
- Kahanemine 13,5-14%;
- Tõmbetugevus pikikiudu 110 MPa;
- Survetugevus pikikiudu 42-47 MPa;
- Paindetugevus 75-82 MPa;
- Elastsusmoodul 11000-13000 MPa;
- Kõvadus otspinnal 320-360, radiaalpinna 250-270 Janka. [9][10]

Haava kütteväärtus, teisisõnu energiasisaldus kWh ühe m³ (ruumimeeter, virnastatud puidu mahuühik) kohta 20% niiskussisalduse juures on 850. [24]

Eestis esineb antud puuliiki puistudes ja parkides, üsna sagedaselt levinud. [7] Samuti

leidub ka Euroopas, Jaapanis, Hiinas, Siberis, Kaukaasias, sageli esinev ka Põhjamaades. [9]

Haaba kasutatakse saunalavade (tiheduse ja hea õhu läbilaskvuse tõttu), tuletikkude, transportalustena, ka toorainena tselluloosi- ja paberitööstusele. Samuti kasutatakse seda palju pakendite valmistamisel ja ka toiduainete transpordil, kuna haab ei erita maitset, lõhna ega värvi. [7][9]

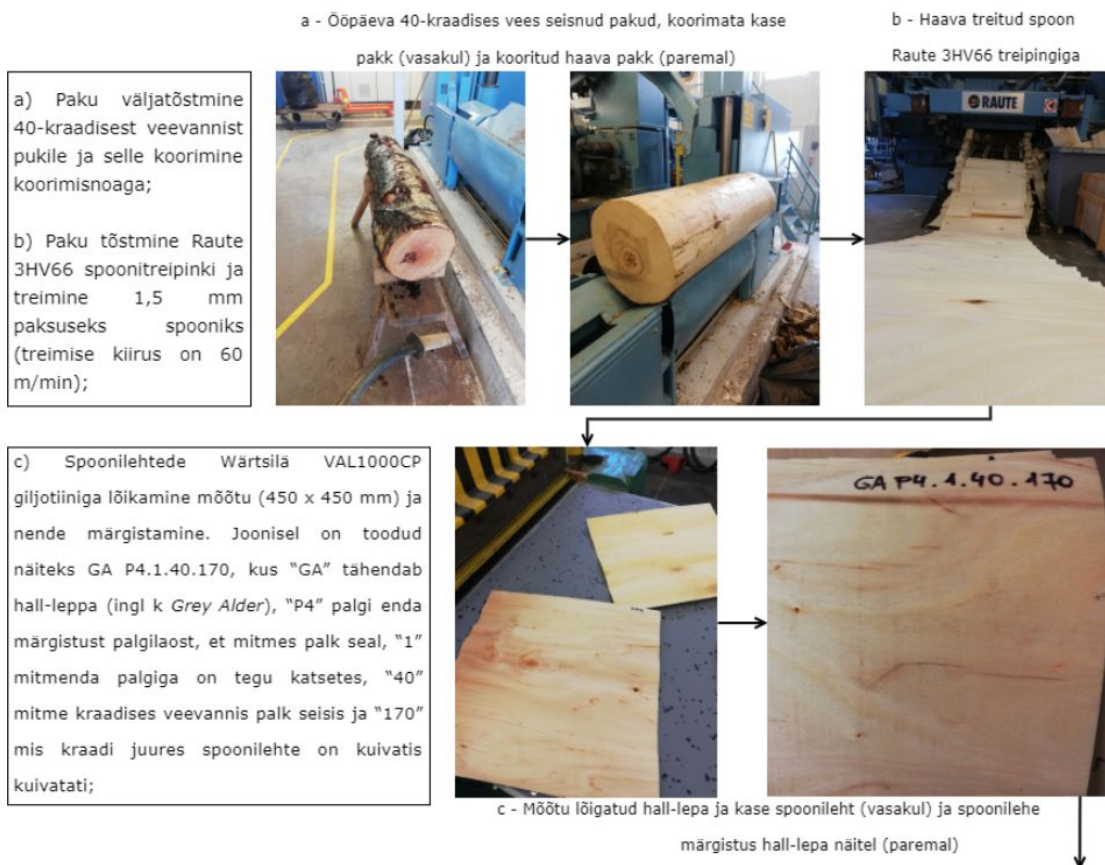
2 MATERJALID JA MEETODID

Lõputöö eksperimentaalse osa käigus sai hall-lepa, sanglepa, haava ja kase pakkudest valmistatud tõmbe-, painde- ja tiheduse katsekehad ning tehtud katsetused. Ettevalmistus ja katsetused viidi läbi Tallinna Tehnikaülikooli Puidutehnoloogia laboris.

Eesmärgiks oli näha kuivõrd sobivad on antud puidu liigid vineeri valmistamiseks, millised on nende tugevusomadused, samal ajal hoides võimalikult ühtlast ja teoreetilisele ligilähedast paksust. Eeltoodud omadusi uuriti 7-kihilise ja 9 mm nominaalpaksusega vineeri puhul. Kasutati 5 erinevat pressimissurvet (1,0; 1,2; 1,4; 1,6 ja 1,8 MPa) ja kokku valmistati 60 vineerplaati.

2.1 Eksperimentaalse töö etapid

Eksperimentaalse töö etapid on ära toodud joonisel 2.1.1.



Joonis 2.1.1 Eksperimentaalse töö etapid

d) Igale pakule sobiva kuivatusaja leidmine kuivatis, kontrollides puidu niiskust kaalumeetodil. Algul kuivatati näiteks 2 minutit kuivatis üht spoonilehte, seejärel lõigati väike riba sealt küljest ja võeti 2 katsekeha äärtest ja 2 katsekeha keskelt ja kuivatati Gallenkampi kuivatusahjuga 130 kraadi juures (~15 min) kaaludes neid katsekehi enam niiskustase ei muutunud ehk katsekeha oli absoluutkuiv. Selle alusel arvutati katsekehade niiskustase ja kui katsekeha oli liiga niiske, siis pikendati kuivatusaega. Sõltuvalt puiduliigist ja pakust kõikus kuivatusaeg 2-4 min;



d - Hall-lepa niiskuse mõõtmiseks katsekehad Petri klaasil

e) Spoonilehtede kuivatamine Raute kuivatiga 4-6 %-lise niiskustasemeni keskmiselt 175 kraadi juures. Peale kuivatamist seisid eraldi ruumis ~26 kraadi juures ja suhtelisel õhuniiskusel 23 %;



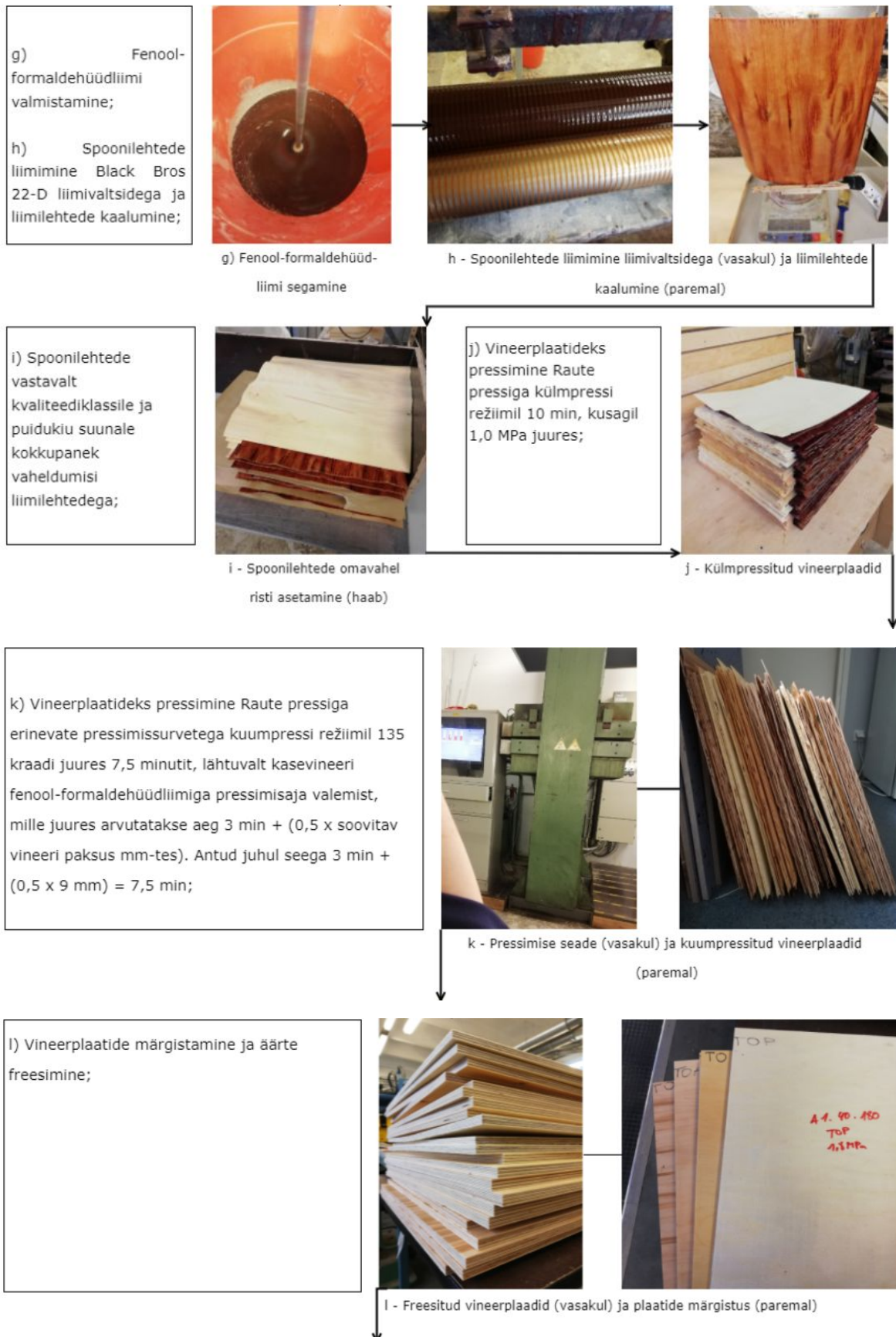
e - Raute spoonilehe kuivati (vasakul) ja kõik kuivatatud 420 lehte (paremal)

f) Spoonilehtede sorteerimine kolme erinevasse kvaliteediklassi;



f - Sorteeritud spoonilehed kase ja haava näitel (vasakul) ning hall-lepa ja sanglepa näitel (paremal)

Joonis 2.1.1 Eksperimentaalse töö etapid jätk



Joonis 2.1.1 Eksperimentaalse töö etapid jätk

m) Vineerplaatide paksuste mõõtmine digitaalse Schmidt-i DMD-3-1 paksuse mõõtjaga standardi EVS-EN 324-1:2002 alusel;



m - Paksuse mõõtmine

n) Tõmbe- ja painde katsekehade märgistamine šablooni abil ja nende väljalõikamine. Seejärel paindekatskehade läksid seisma Climacelli kliimakappi mõneks päevaks 20 %-lise õhuniiskuse juurde. Hiljem paindekatsed toimusid standardi EVS-EN 310:2002 põhjal;



n - Märgistatud katsekehad (vasakul), 1/3 tõmbekatskehadedest (keskel) ja kõik tõmbe- ja paindekatskehade kokku (paremal)

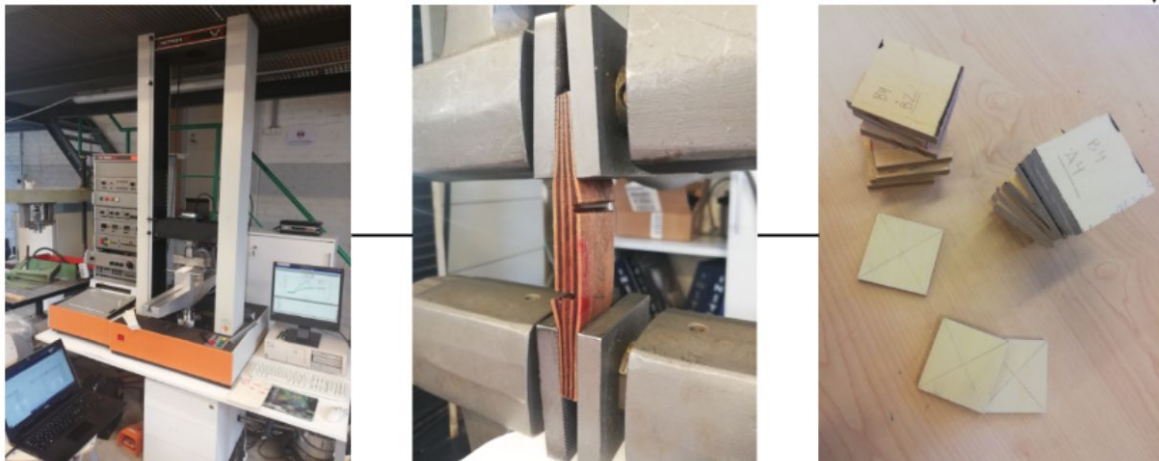
o) Tõmbekatskehade ettevalmistamine katseteks ja katsed viidi läbi standardi EVS-EN 314-1:2005 ja EVS-EN 314-2:1999 alusel. Lühidalt kokku võttes kõigepealt pandi tõmbekatskehade toatemperatuuril vette ligunema 24 tunniks, seejärel keedeti 100 kraadi juures 4 tundi, pandi kuivatusahju 16 tunniks 60 kraadi juurde, keedeti uuesti 4 tundi ja jahutati külmas vees vähemalt tund aega. Katsekehi oli üle tuhande, seega protsessi tehti läbi 4-5 korda;



o - Tõmbekatskehade peale 24 h vees seismist (vasakul), katsekehad plaatide järgi jaotatult kottidesse (keskel) ja keemisvann (paremal)

Joonis 2.1.1 Eksperimentaalse töö etapid jätk

p) Tõmbe- ja paindekatsed viidi läbi tugevuskatsete seadme Instron 1122-ga ning tiheduse mõõtmine kaalumise ja paksuse mõõtmisega EVS-EN 323:2002 standardi põhjal.



p - Paindekatses puhul näide Instron 1122 seadme kasutamisest (vasakul), tõmbekatses hall-lepa puhul (keskel) ja osa tiheduse katsekehadest (paremal)

Joonis 2.1.1 Eksperimentaalse töö etapid jätk

2.2 Vineerplaatide liimikulu

Esimesed katsete tulemused pärinevad fenool-formaldehüüdiimi valmistamisest ja kui palju seda kulus reaalsuses. Aluseks on võetud teoreetiline liimikulu kasevineeri puhul, milleks on $160,00 \text{ g/m}^2$. 7-kihilise plaadi puhul on plaadis 3 liimilehte ja mõlemat poolt liimides on ühe $450 \times 450 \text{ mm}$ plaadi kohta teoreetiliselt liimikuluks $194,4 \text{ g}$.

Fenool-formaldehüüdiimi sai valmistatud kolmest ainest: fenoolvaik, kõvendi ja vesi (osakaalud vastavalt 68%, 14% ja 18%). Fenoolvaiguna sai kasutatud Prefere 14J021 ja kõvendina Prefere 24J662 tooteid.

2.3 Vineerplaatide paksus

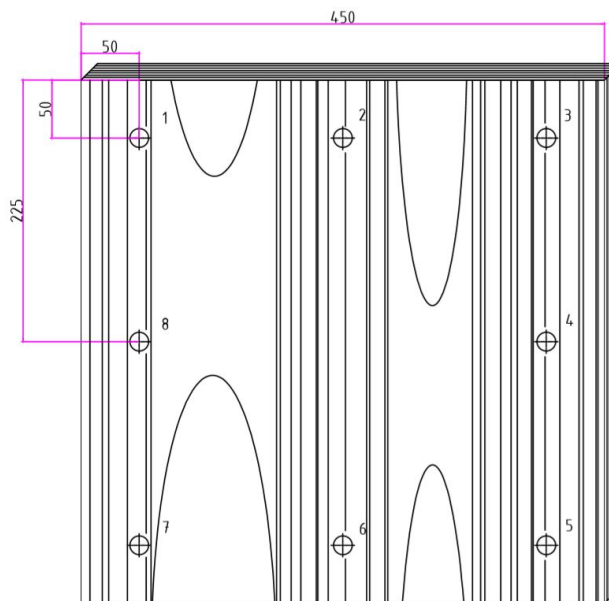
Järgnevalt sai määratud vineerplaatide paksused, mida mõõdeti digitaalse Schmidt-i DMD-3-1 paksuse mõõtjaga (joonis 2.3.1). Raskuseks peal on 5 N , avaldades plaadile

piisavalt survet võimalikult täpse tulemuse jaoks. Seade andis kahe komakoha täpsusega tulemusi ja katsed viidi läbi standardi EVS-EN 324-1:2002 põhjal.



Joonis 2.3.1 Schmidt-i DMD-3-1 paksuse mõõtja

Iga plaadi puhul mõõdeti paksust kaheksast kohast, äärest 50 mm kauguselt (joonis 2.3.2). Vineeri kuumpressimise ajal 2 vineerplaati lõhkesid liiga suure osas, et sealt saada õigeid katsetulemusi, seega 1,2 MPa puhul on haava kohta vaid üks plaat mõõtmistulemustes, samamoodi edasistes katsetustes on arvestuses 58 plaati.



Joonis 2.3.2 Vineerplaadi paksuse mõõtmise kohad

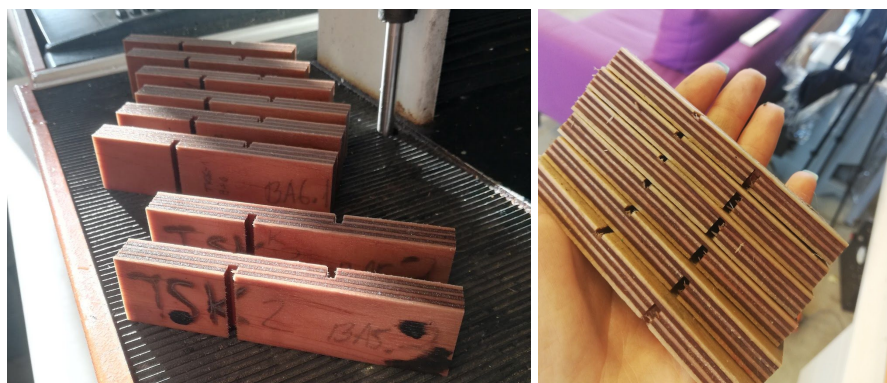
2.4 Liimühenduse kvaliteet

Peale katsekehade ettevalmistust (joonis 2.4.1) sai pihta hakata tõmbekatsetega ja liimühenduse kvaliteedi määramisega standardite EVS-EN 314-1:2005 ja EVS-EN 314-2:1999 järgi.



Joonis 2.4.1 Tõmbekatsekeha peale ettevalmistust vahetult enne katset (vasakul) ja tõmbekatsekeha enne ettevalmistust (paremal) hall-lepa näitel

Katsekehad olid suurusega 100 x 25 x paksus mm. Jätmaks purunemisalaks 50 mm, oli äärtest 25 mm kaugusele mõlemale poole sisse lõigatud sõltuvalt katsekeha tüübist, milleks olid TKK, TKA, TKP, TSK, TSA ja TSP, kus T tähendab tõmbekatsekeha, K ja S kust kohast plaadist on katsekeha pärit (vastavalt kas keskelt või servast) ning K, A ja P mis kihtidesse on sisse lõigatud. Ehk K mõlemalt poolt kuni keskele (joonis 2.4.2), A ühelt poolt ainult alumisse ja teiselt kuni alumiseni ning P ühelt poolt ainult pealmisse ja teiselt kuni pealmiseni. Erinevate sisselõigetega on võimalik saavutada reaalsusele analoogsama olukorra ja suurema varieeruvuse vineeri purunemismõimalustele.



Joonis 2.4.2 TSK tõmbekatsekehad (vasakul) ja TKP tõmbekatsekehad (paremal) enne katsetusi

Iga plaadi kohta oli kokku 18 katsekeha (joonis 2.4.3), iga tüübi kohta 3 tk. 58 plaadi kohta kokku seega 1044 katsekeha (joonis 2.4.5). Joonisel 2.2.3.4 on näha katsekehi peale katsetusi. Katsetel Instron 1122-ga kasutati kiirust 50 mm/min, mis tegi ühe katse ajaks ligikaudu ühe minuti. Joonised 2.4.3 ja 2.4.4 on leitavad Lisast 4.



Joonis 2.4.5 Kõik tõmbekatsekehad peale katsetusi

2.5 Paindetugevuse ja -elastsusmooduli määramine

Paindekatsed on samuti läbi viidud Instron 1122-ga. Katse toimus 3 tugipunktiga - kahel toetus katsekeha (joonis 2.5.1), kolmas keskelt rakendas jõudu kuni katsekeha purunes (joonis 2.5.2). Iga plaadi kohta oli 5 katsekeha, 3 neist pikkusega risti asetsevat katsekeha ja 2 neist pikkusega piki asetsevat katsekeha. 58 plaadi peale kokku oli 290 katsekeha. Tugede vahed ja katsekehade pikkused sai arvutatud vastavalt eelnevalt mõõdetud vineerplaatide paksustele, võttes arvesse ühe surve ja ühe puidu liigi aritmeetilist keskmist. Tugede vahe saadi plaadi paksus $\times 20$. Katsekeha pikkuse jaoks oli vaja liita tugede vahele 50 mm, et katsekeha ulatuks tugedele toetudes mõlemast äärest 25 mm üle. Katsekehad olid laiusel 50 mm. Katsed viidi läbi toatemperatuuril ja 50%-se relatiivse õhuniiskuse juures.

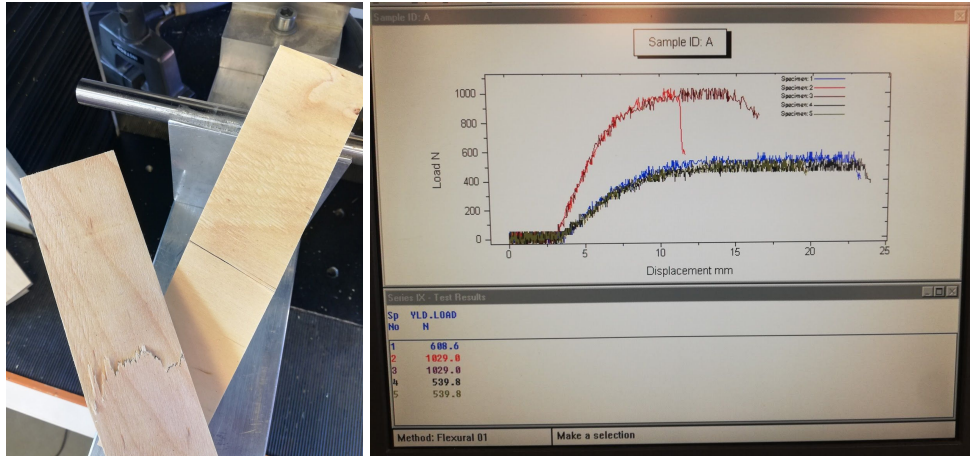


Joonis 2.5.1 Ühe surve jagu paindekatsekehad enne katseid (vasakul) ja katsekehade pikkuste erinevused (paremal)



Joonis 2.5.2 Paindekatsekehad peale katseid

Joonisel 2.5.3 on näha nii erinevust katsekeha purunemises kui ka tulemustes, mille poolest erinevad risti puidu süüga (edaspidi \perp) ja paralleelne puidu süüga (edaspidi \parallel) katsekeha üksteisest. Esiteks risti asetseva katsekeha purunemine toimub lihtsamini ja puruneb enamjaolt sirge joonena. Seevastu piki asetseva katsekeha purunemine toimub vaevalisemalt ja purunedes jääb alles sik-sakiline muster. Põhjuseks on puidu mikrokoopiline ehitus - puidu pikisuunaga paralleelselt asetsevad nii tugirakud (teisisõnu libriformid) ja sooned (teisisõnu trahheed), mida on lihtsam eraldada üksteisest (\perp katsekehade puhul) kui pooleks murda (\parallel katsekehade puhul). Seetõttu ka paindegraafikult lugedes on olnud \parallel katsekehadele vaja rakendada suuremat jõudu kui \perp katsekehadel. Joonised 2.5.4 ja 2.5.5 on leitavad Lisast 7.



Joonis 2.5.3 Paralleelselt ja risti asetsevate paindekatskehade purunemine (vasakul) ja paindegraafikud (paremal)

Paindetugevus f_m sai leitud järgmise valemiga:

$$f_m = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot l_1}{2 \cdot b \cdot t^2},$$

kus f_m - paindetugevus, N/mm²;

F_{max} - maksimaalne koormus, N;

l_1 - tugede tsentrite vaheline kaugus, mm;

b_1 - katsekeha laius, mm;

t - katsekeha paksus, mm.

Paindeelastsusmoodul E_m sai arvatud järgmise valemiga:

$$E_m = \frac{l_1^3 \cdot (F_2 - F_1)}{4 \cdot b \cdot t^3 \cdot (a_2 - a_1)},$$

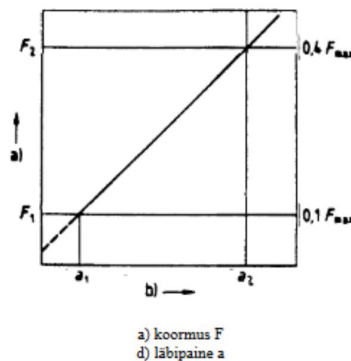
kus l_1 - tugede tsentrite vaheline kaugus, mm;

b - katsekeha laius, mm;

t - katsekeha paksus, mm

$F_2 - F_1$ - koormuse juurdekasv koormuse-läbipainde kõvera sirgjoonelisel osal (joonis 2.5.4);

$a_2 - a_1$ - läbipainde juurdekasv katsekeha keskkohas (vastab $F_2 - F_1$ -le).



Joonis 2.5.4 Koormuse läbipaindekõver elastse deformatsiooni piirides

2.6 Tiheduse katsed

Tiheduse katsete puhul sai igast plaadist üks 50 x 50 mm katsekeha välja lõigatud. Kõik katsekehad omakorda said võetud võimalikult plaadi keskmisest osast ja seda eelnevalt katsetatud paindekatsekehade otsast. Seejärel märgiti peale diagonaalid, et paksust mõõta võimalikult katsekeha keskelt ning viimaseks kaaluti Mettler Toledo nelja komakoha täpsuse kaaluga katsekehad ja arvutati välja tihedus (joonis 2.6.1 ja joonis 2.6.2).

Tihedus sai leitud järgmise valemiga:

$$\rho = \frac{m}{b_1 \cdot b_2 \cdot t} \cdot 10^6,$$

kus ρ - tihedus, kg/m³;

m - katsekeha mass, g;

b_1 - katsekeha pikkus, mm;

b_2 - katsekeha laius, mm;

t - katsekeha paksus, mm.



Joonis 2.6.1 Tiheduse katsekehad (vasakul) ja kõik katsekehad (paremal)

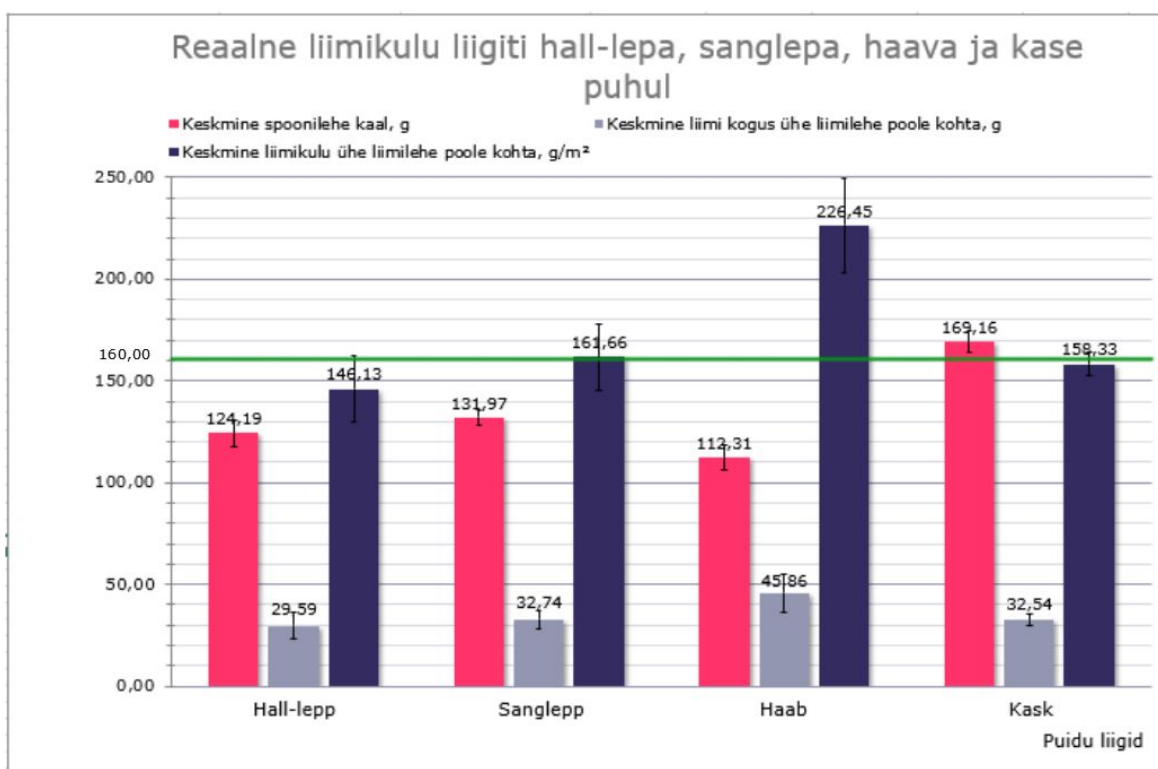


Joonis 2.6.2 Paksuse mõõtmine (vasakul) ja kaalumine (paremal) ja kõik katsekehad (paremal)

3 TULEMUSED JA ANALÜÜS

3.1 Vineerplaatide liimikulu

Joonisel 3.1.1 on näha reaalne liimikulu liigiti. Teoreetiliseks väärtuseks on toodud 160 g/m² ühe liimilehe poole kohta. Tuginedes eespool mainitud antud puidu liikide omadustele, siis siinkohal kehtib seos, kus väiksema tihedusega puidu liikidel on väiksem spoonilehe kaal ning sama ka suuremate tiheduste ja spoonilehtede kaalude puhul.



Joonis 3.1.1 Reaalne liimikulu liigiti hall-lepa, sanglepa, haava ja kase puhul

Poolte puidu liikide puhul on reaalne liimikulu teoreetilisest väiksem (v.a hall-lepp ja haab), kuid kõige lähedasem teoreetilisele on sanglepal. Suurim kulu on märgata haava puhul, kuna see on teistest puidu liikidest tunduvalt pehmem, kergemini niiskust imav ja kareda pealispinnaga (joonis 3.1.2). Samuti on selle tihedus väiksem teistest, ligi 500 kg/m³, mis muudab liimile vastuvõtavamaks. Kask aga seevastu kõige

suurema tihedusega, ligi 700 kg/m^3 , mis takistab liimi juurdepääsu rohkem ning sellest tuleneb ka väiksem liimikulu.

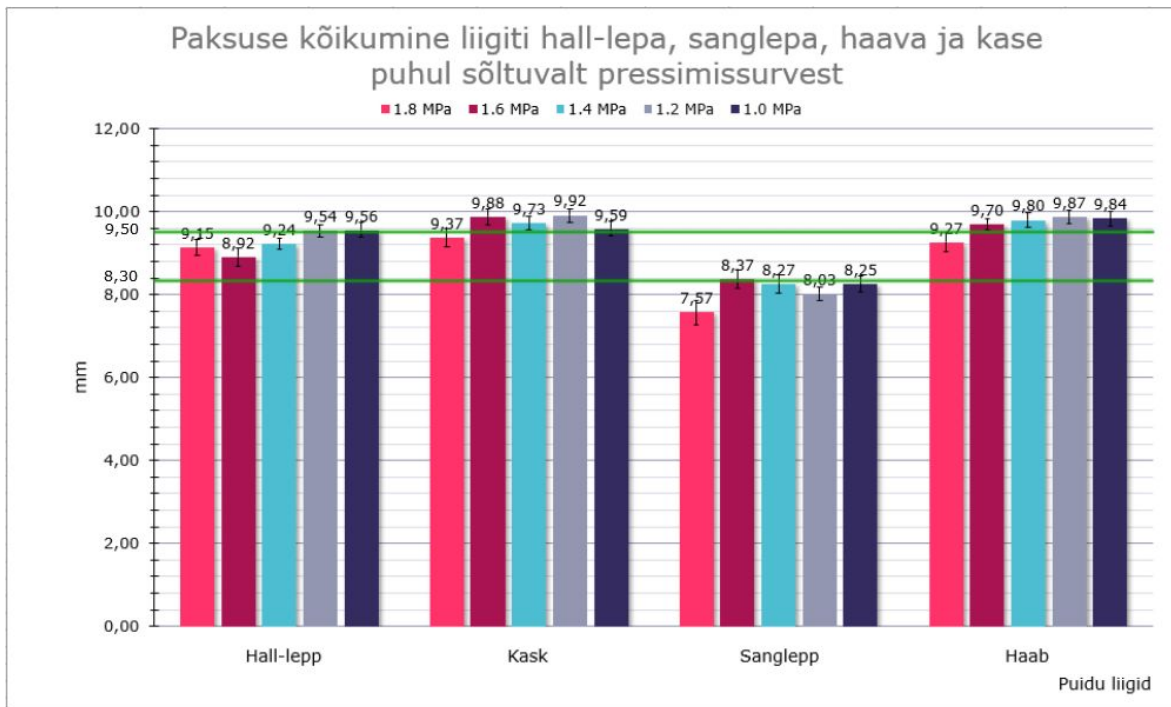


Joonis 3.1.2 Haava spoonilehe pealispind

3.2 Vineerplaatide paksus

Allpool graafikul (joonis 3.2.1) on kajastatud igal survel keskmised paksused ühel puidu liigil kokku. Iga surve kohta oli 12 vineerplaati ehk iga liigi kohta 3 plaati. Kõige ühtlasema ja ligilähedasema tulemuse 9 mm-le andis kask, mis on ka antud töös võetud lähtepuiduks teistele liikidele. Sellele vastab 1,8 MPa, mis on ka üldjuhul kasutusel kase puhul. Suhteliselt hea tulemuse andis ka hall-lepp, seejärel sanglepp ning kõige viimasena haab. Kui esimeste liikide puhul võib täheldada, et leppadele sobib pigem suurem pressimissurve kuumpressil (vastavalt 1,6 MPa-d ja 1,8 MPa-d), siis haavale samuti sobivaim 1,6 MPa.

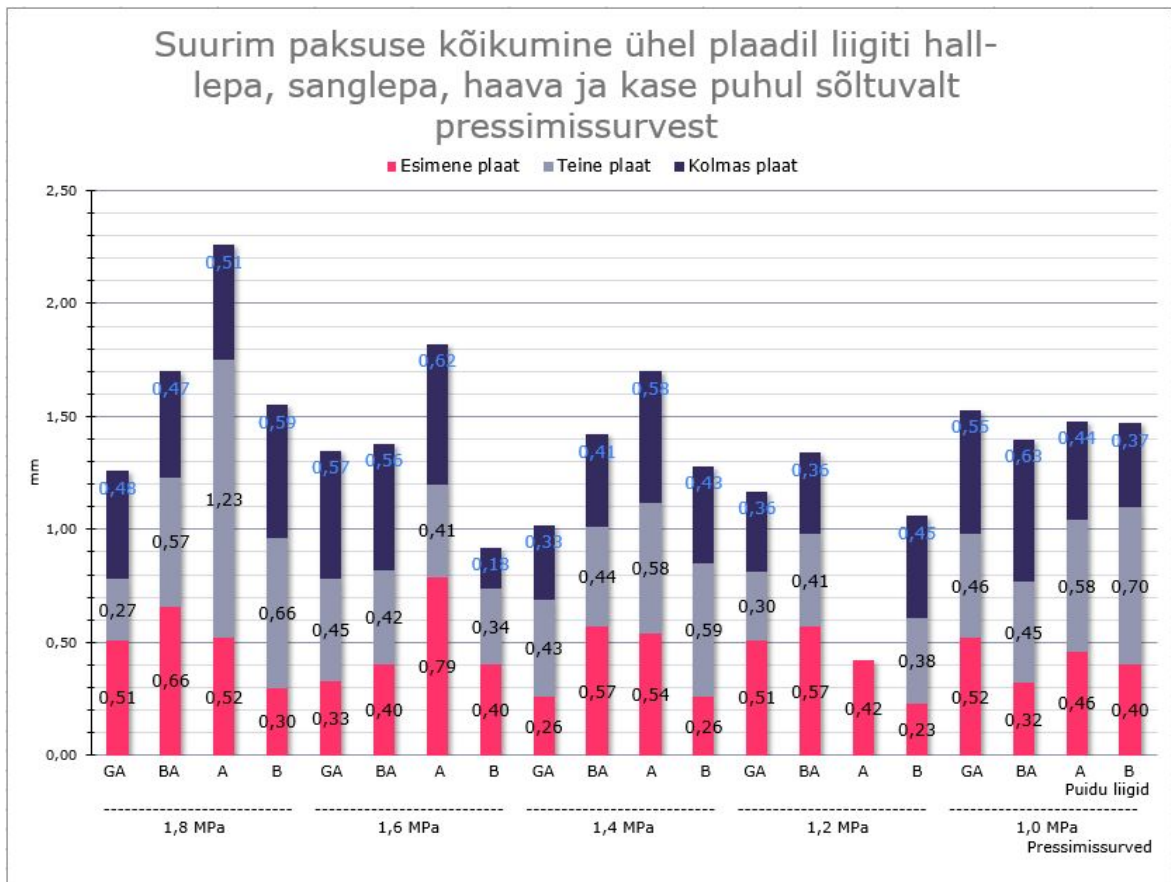
Haab on niivõrd pehme puit, et nende andmete põhjal on mõistlikum lisada kas kihte juurde ja kasutada suuremat survet või kasutada teistsuguse paksusega spooni või kombineerida mõne teise puidu liigiga, et saavutada õige paksus.



Joonis 3.2.1 Vineerplaatide paksuse kõikumine mm-tes maksimaalse ja minimaalse väärtuse vahel liigiti hall-lepa, sanglepa, haava ja kase puhul sõltuvalt pressimissurve

Standardi EVS-EN 315:2002 alusel on 9 mm-se vineerplaadi puhul lubatud paksuseks minimaalselt 8,3 mm ja maksimaalselt 9,5 mm. Soome standardi puhul on see vahe rangem - 8,8 mm ja 9,5 mm vahel. [27] Sellesse vahemikku jäi vaid 11 plaati 58-st. Haava puhul ei olnud ühtegi, kuid lähedasem olid 1,6 MPa surve omad. Kase puhul 2 plaati, mis kuulusid 1,8 MPa surveklassi ning sanglepast polnud ühtegi, samuti lähedasem 1,8 MPa-d. Hall-lepal sobisid 9 plaati, millest kõik olid suuremate pressimissurve poole pealt (1,8; 1,6 ja 1,4 MPa-d).

Järgnevalt vaatab lähemalt kuivõrd palju plaadi paksus kõikus ühe plaadi suhtes (joonis 3.2.2). Teisisõnu, milline oli maksimaalne väärtus kõige õhema ja kõige paksema koha vahel. Suurimad kõikumised on haava puhul, keskmiselt 0,59 mm, kus esineb ka üle 1 mm-i erinevusi ühes plaadis. Seejärel sanglepa juures, kus keskmiselt kõikumine ühe plaadi kohta on 0,49 mm. Keskeltläbi 0,42 mm kõikumisega jäävad samasse klassi hall-lepp ja kask, mille paksused olid samuti kõige ligilähedasemad 9 mm-le (joonis 3.2.1). Üleüldiselt ühtlaseim paksus võrreldes kasega on hall-lepal.

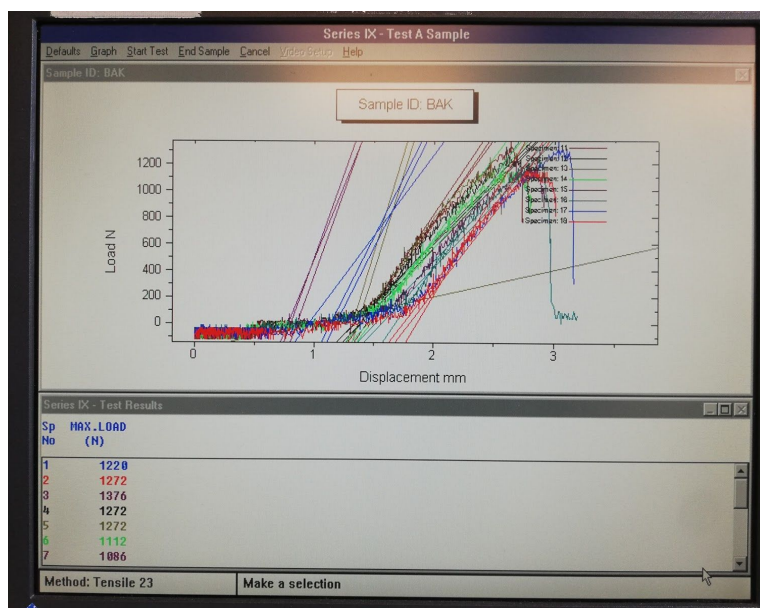


Joonis 3.2.2 Vineerplaatide suurimad paksuse kõikumised mm-tes liigiti hall-lepa, sanglepa, haava ja kase puhul sõltuvalt pressimissurve

Lisas 3 on toodud lisaks eelnevale üldpildi jaoks ANOVA statistiline analüüs.

3.3 Liimühenduse kvaliteet

Üldjuhul katse käigus enne purunemist ja jõule alla andmist jõudsid katsekehad nihkuda algasendist ligi 2,5 mm. Joonisel 3.3.1 on näha sanglepa tõmbekatsete tõmbegraafikuid. Pole ühtlane sirge, vaid kõigub alati üles-alla veidi, kuna puidukiud on suhteliselt elastsed kiud ja allalangus toimub siis, kui mõni kiud annab järele, ülejäänud hoiavad edasi kuniks järgmine puruneb ja nii edasi kuniks jõuab maksimum jõu piirini ja puruneb järsult. Enamikel juhtudel jäävad siiski omavahel kokku peale katset ja vaja lahti tõmmata, et näha kui suur oli näiva puidu purunemise ulatus, kuid suuremat jõudu enam ei talu.



Joonis 3.3.1 Tõmbekatsete tõmbegraafikud

Joonisel 3.3.2 on toodud tõmbekatsete tulemused pressimissurvele kaupa ja omakorda iga liigi keskmiste nihketugevustena. Katsetulemustest on osa katsekehi puudu mõne defektse koha tõttu, mis on sattunud purunemisalasse, nt oksakoht, mis põhjustas kiirema katsekeha purunemise ja seetõttu on nihketugevus f_v üsna madal.

Nihketugevus f_v sai leitud järgmise valemiga:

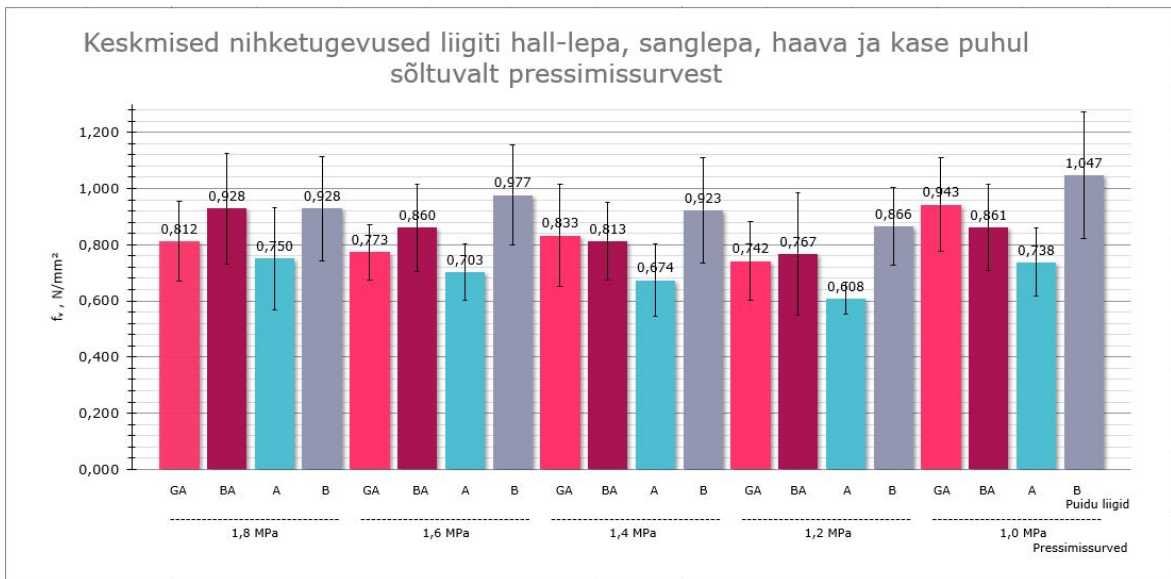
$$f_v = \frac{F}{l_1 \cdot b_1} ,$$

kus f_v - nihketugevus, N/mm²;

F - katsekeha purunemiseks kulunud jõud, N;

l_1 - purunemisala pikkus, mm;

b_1 - purunemisala laius, mm.



Joonis 3.3.2 Keskised nihketugevused liigiti hall-lepa, sanglepa, haava ja kase puhul sõltuvalt pressimissurve

Kui võtta üks surve ja üks puiduliik, siis 3 x 18 katse kohta on standardhälve üsna suur (tabel 3.3.1 - Lisa 5). Samas, kui jaotada ära omavahel kaheks - plaadi keskosast võetud katsekehad ja plaadi servast võetud katsekehad - siis suhteline standardhälve on keskmiselt 0,06 võrra madalam ja tulemused hajuvad vähem erinedes keskmisest väärtusest vähem. Näitamaks, et paksuse kõikumine ja seega asukoht plaadis mängivad ka vähesemal määral rolli.

Suurimad erinevused keskmisest tabelis 3.3.1 on kase ja sanglepa puhul. Need muutused on tingitud esiteks puidu liigist ja selle omadustest, puidus esinevatest defektidest ja seadme enda mõõtmistäpsusest. Kuigi haava puhul, kus paksuse kõikumine oli suurim, on erinevus keskmisest nihketugevusest väiksem, siis selline kõikumine ei avalda tõmbekatsel suurt rolli. Suuremat mõju avaldab tulemuste ühtluses defektide olemasolu, mida võrreldes teiste puiduliikidega, oli haava spoonil kõige vähem. Näiteks oksakohti oli kõige rohkem sanglepas ja seda on näha ka tulemustes, kus purunemisala piirile võis sattuda mõni väiksem oksakoht, sellega muutes mõne üksiku tulemuse väiksemaks ja lisades varieeruvust tulemustele.

Standardi EVS-EN 314-2:1999 kohaselt sõltuvad nihketugevus ja näiv puidust purunemise protsent omavahel. Mida kõrgem on näiv puidu purunemise protsent, seda aktsepteeritavam on väiksem nihketugevus N/mm². Näiteks 90% juures on lubatud ka nihketugevuse väärtuseks vaid 0,2 N/mm². Kuid kui näiv puidu purunemise protsent on 0%, siis peab nihketugevus olema vähemalt 1 N/mm².

Antud katsetes oli näiv puidu purunemise protsent üldjuhul 40-80% vahel. Sanglepa puhul oli selleks protsendiks 70-80%, mõnel juhul ka kõrgem. Samamoodi oli ka kasel. Hall-lepal aga keskmiselt 50-70% ning haaval madalaim, 50% või madalam. Haaval esines ka 0% juhtumeid väiksema pressimissurve puhul. Tabelis 3.3.2 (Lisa 5) on toodud pressimissurve kaupa iga liigi kohta minimaalsed, maksimaalsed ja keskmised nihketugevuste väärtused, et luua seos näiva puidu purunemise protsendi vahel.

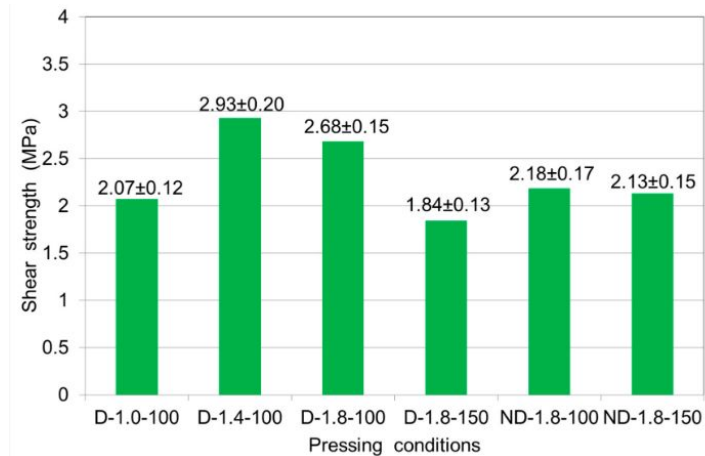
Joonise 2.2.3.7 alusel on hall-lepa puhul parimad nihketugevused on 1,0 MPa juures ning samuti 1,8 MPa ja 1,6 MPa on peaaegu aktsepteeritavad väärtused, kuna 50% kaudu võttes peaks nihketugevus minimaalselt olema 0,6 N/mm². Kuid 1,2 MPa ja 1,4 MPa jäävad nihketugevused liiga madalaks. Sanglepale sobivad kõik surved, kuna kõik keskmised nihketugevused jäävad 0,8-0,9 N/mm², mis on aktsepteeritavast väärtusest mitmesaja võrra suurem, minimaalsest kuni paarsada.

Haava puhul igal survel on nihketugevused liiga madalad, et täita normi (väiksema kui 50% peab nihketugevus olema üle 1 N/mm²). Kõige lähedasem on 1,0 MPa juures, kuna see oli samuti sobivaim surve kõige ühtlasema paksuse saavutamiseks. Kasel on suurimad nihketugevused teiste liikidega võrreldes ja kõik normile vastavad, sobivaimad pressimissurved nende kohaselt on 1,0 MPa ja 1,6 MPa.

Nihketugevuse ja pressimissurve vahelise seose saab tuua P. Bekhta *et al.* artiklist, kus katsetati 3-kihilise kasevineeri pressimist kolmel erineval pressimissurvel - 1,0 MPa, 1,4 MPa ja 1,8 MPa. [28] Katsetel kasutati kuumpressimisel 150 kraadi ning liimikulu oli 100 g/m² ühe liimilehe kohta (võrdluseks antud töös on selleks arvaks 115,82 g/m²). Pressimisajaks oli 6 minutit (joonis 3.3.3). Antud joonisel D tähendab tihendatud spooni (ingl k *densified veneer*) ja ND mitte tihendatud spooni (ingl k *non-densified veneer*), viimast on kasutatud ka praeguses töös.

Kihtide arvu erinevuse tõttu on keeruline võrrelda omavahel nihketugevusi, kuid üldseose saab luua. Kokkuvõttena artiklist nihketugevused 1,0 MPa juures olid suuremad kui suuremate pressimissurve juures ehk 1,4 MPa ja 1,8 MPa. Sama näite saab tuua ka antud töös 7-kihilise kasevineeri kohta, kus pressimissurve vähenedes suurenes ka nihketugevus. Samamoodi on ka sangleppa ja hall-lepa puhul, kuid vastupidine olukord on haava korral. Põhjus seisneb selles, et haava tihedus on hulga väiksem, mis tähendab hõredamat jaotust puidu kiudel, mistõttu väiksemal survel pole need piisavalt kokku pressitud, on vähem haakumist omavahel ja sidemetest ei piisa, et saavutada suuri nihketugevusi. Teistel puidu liikidel on aga suurem tihedus,

mistõttu väiksemal survel vaba ruumi tekkides on kiududel rohkem vabadust nihkuda üksteise suhtes, kuid tugevamad sidemed hoiavad elastseid puidu kiusid omavahel piisavalt hästi seoses, saavutades suurema nihketugevuse.



Joonis 3.3.3 3-kihilise kasevineeri nihketugevuste sõltuvus pressimisparameetritest [26]

E.-A. Salca *et al.* poolt kirjutatud artikli põhjal sanglepa ei aidanud spoonilehe eeltihendamine kaasa nihketugevuse suurenemisele, see-eest kasele lisas nihketugevust. [29] Töös olid kasutusel 5-kihilised vineerplaadid, kus võrreldi omavahel tihendatud ja mittetihendatud spoonilehtedest tehtud vineeride nihketugevusi.

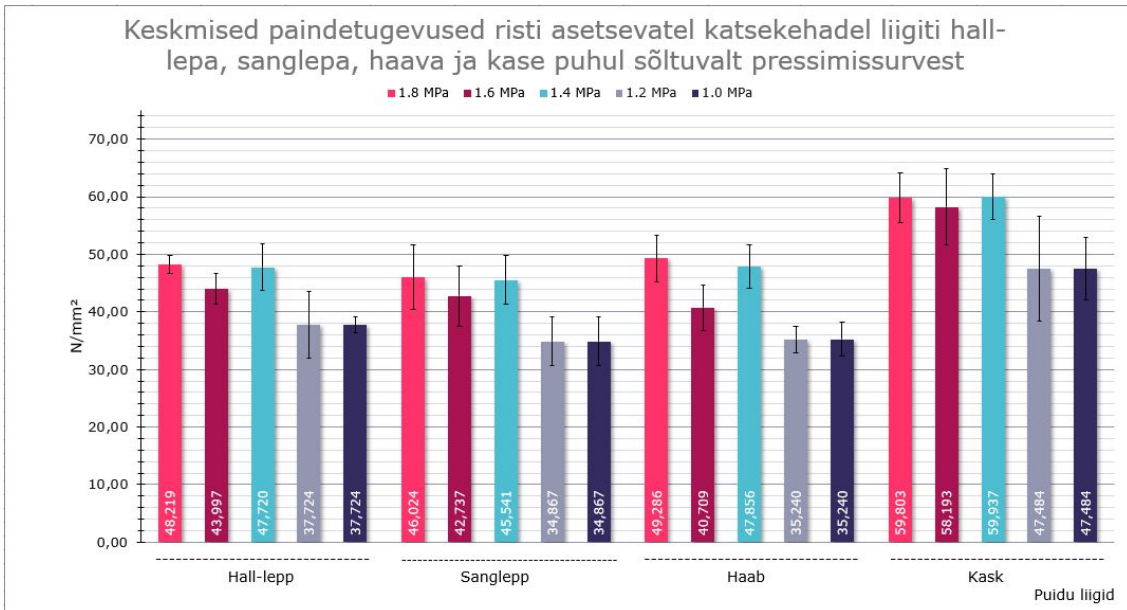
Lisas 6 on toodud lisaks eelnevale üldpildi jaoks ANOVA statistiline analüüs.

3.4 Painedugevuse ja paindeelastsusmooduli määramine

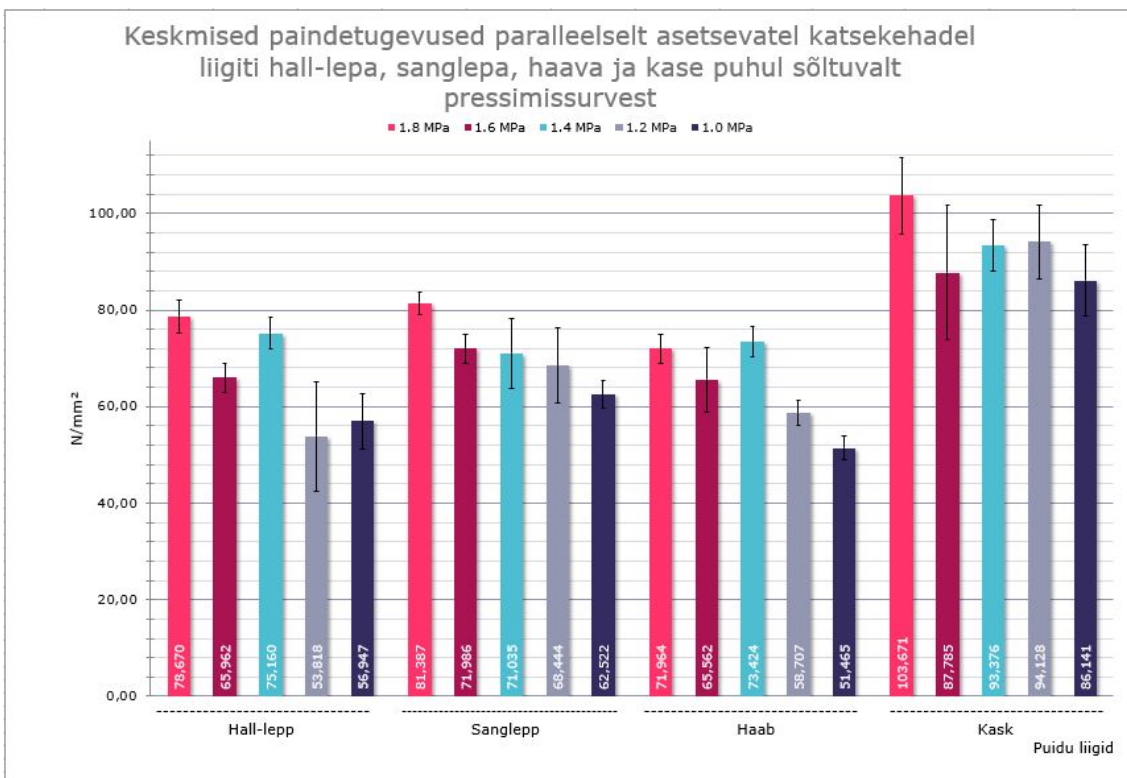
3.4.1 Painedugevuse määramine

Painde katsetulemused on jaotatud kaheks sõltuvalt, mis pidi on katsekeha vineerplaadist välja lõigatud (\perp või \parallel). Mõlemal juhul on painedugevused väiksemate pressimissurve 1,0 MPa ja 1,2 MPa puhul teistest survetest madalamad, jäädes esimesel juhul 35-40 N/mm² ja teisel juhul 50-60 N/mm² vahele võrreldes kasega. Sobivaim pressimissurve on 1,8 MPa igale liigile (joonis 3.4.1.1 ja joonis 3.4.1.2). Paindumisel on ülakihis ülekaalus survejõud, samal ajal alumises kihis tekivad suuremad tõmbejõud tõmmates kiude aina üksteisest eemale kuniks katsekeha jõuab

purunemiskiirini. Seda enam on vaja suuremat pressimissurvet kuumpressil, et vineeri kihid ja puidukiud omavahel paremini haakuksid ja peaksid rohkem vastu tõmbejõududele.



Joonis 3.4.1.1 Keskmesed paindetugevused risti asetsevatel paindekatekehadel liigiti hall-lepa, sanglepa, haava ja kase puhul sõltuvalt pressimissurve



Joonis 3.4.1.2 Keskmesed paindetugevused paralleelselt asetsevatel paindekatekehadel liigiti hall-lepa, sanglepa, haava ja kase puhul sõltuvalt pressimissurve

Tabelist 3.4.1.1 (Lisa 8) on näha kõikide liikide keskmisi, minimaalseid ja maksimaalseid paindetugevusi näitamaks kui suured on kõikumised väikseima ja suurima väärtuse puhul. Keskmiselt erinevad minimaalsed ja maksimaalsed väärtused keskmisest risti katsekehade tulemuste puhul 10 N/mm² ning paralleelsete katsekehade tulemuste puhul 7 N/mm².

Soome metsatööstuse föderatsiooni käsiraamatu põhjal on kasevineeri aktsepteerivaks paindetugevuseks 9 mm-se paksuse vineeri puhul \perp korral 32,1 N/mm² ning \parallel korral 45,6 N/mm². [27] Samu tulemusi oma tootmises kasutab ka Metsä Wood OÜ. [30] Antud töö puhul on ka aga kõikide survete peale kokku keskmine paindetugevus kasele \perp korral 56,4 N/mm² ning \parallel korral 93,0 N/mm² ning ka väikseimad väärtused ületavad neid tulemusi (tabel 3.4.1.2 - Lisa 8).

Teine seos katsetulemuste ja kirjandusallikate vahel on leitav V. Jivkov *et al.* artiklist, kust leidub pöõgi näitel samuti paindekatsetuste tulemusi samamoodi 3-punkti paindena (tabel 3.4.1.3 - Lisa 8). [31] Tabelis "Series 1" oli täies ulatuses ilma defektideta spoonidest vineerplaat ja "Series 0" oli A klassi pinnaspoonid, kuid keskel osaliste defektidega spoonidest vineerplaat. Plaadid olid 20-21 mm paksused, 3 mm-i paksustest spoonilehtedest, ning pressitud 110 kraadi ja 1,3 MPa juures kokku 15 minutit. Kuigi pressimisparameetrid on suhteliselt erinevad antud tööst, siis üldjoontes väärtused jäävad samasse klassi antud töö katsetulemustega ehk vahemikku 30-100 N/mm². Mõlemas töös on paralleelsed paindekatsekehad oma tulemustelt vähemalt 10 N/mm² võrra suurema kui risti paindekatsekehade tulemused.

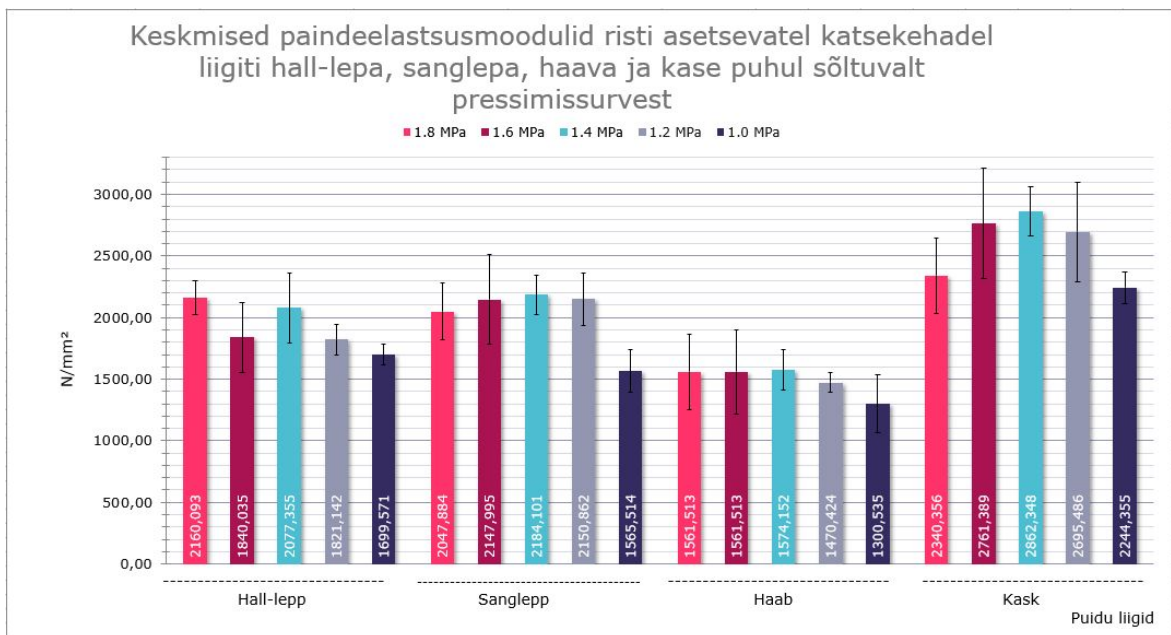
USA Forest Products Laboratory puidu käsiraamatust väljendub samuti, et mõne okaspuu (nt ranniksekvoja, lad k *Sequoia sempervirens*; ebatsuuga, lad k *Pseudotsuga*; sooküpress, lad k *Taxodium distichum*) puhul jäävad paindetugevused vahemikku 37-42 N/mm², mille puhul on nii \perp kui ka \parallel kokku võetud aritmeetilise keskmisena. [32] Arvestades, et okaspuude tihedused on üldjuhul madalamad lehtpuude omast ja katsetulemustest selgus, et madalamate pressimissurve korral on katsekehadel väiksem tihedus ja samuti väiksemad paindetugevused. Sellisel juhul on ka okaspuude paindetugevused madalamad lehtpuude katsetulemustest. Tulenevalt sellest väitest on võimalik võtta minimaalseks aktsepteeritavaks väärtuseks ligi 39 N/mm².

Selle alusel paralleelselt asetsevate katsekehadele on kõik pressimissurved aktsepteeritavate väärtustega ning risti omadel kõikidele liikidele sobivad 1,4-1,8 MPa, kuid 1,0 MPa juures sobib vaid kasele. Ühtlasi hall-lepa puhul ei sobi 1,0 ja 1,2

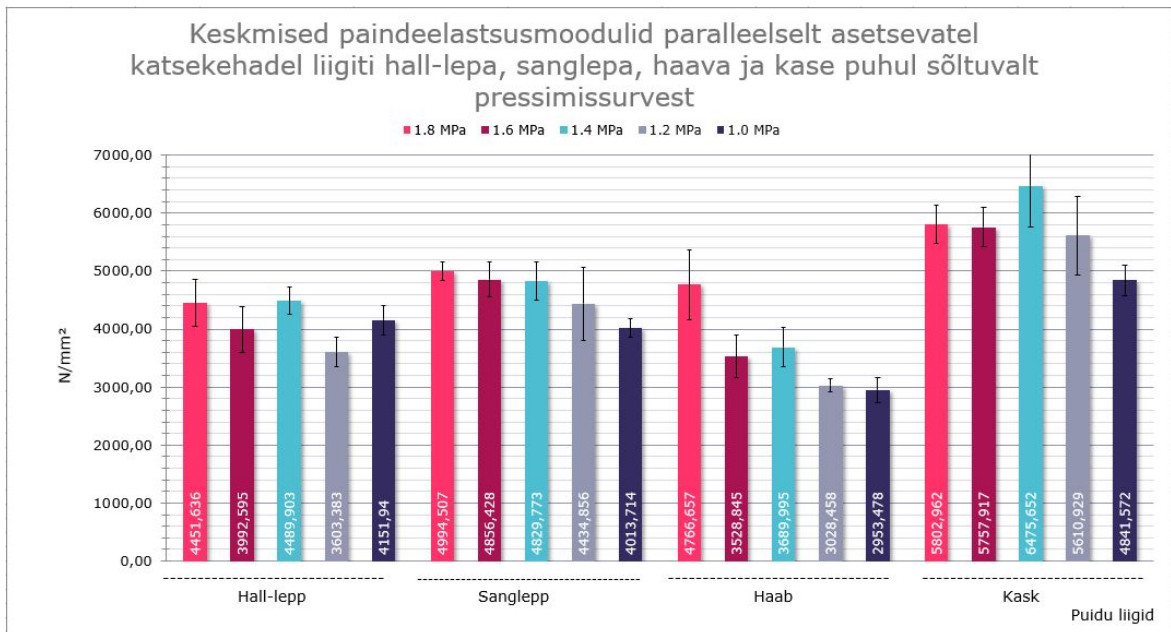
MPa-ga surved. Lisas 9 on toodud lisaks eelnevale üldpildi jaoks ANOVA statistiline analüüs.

3.4.2 Paindeelastsusmooduli määramine

Tulemustest järeldub, et sanglepp ja kask pidasid vastu suurematele läbipainetele kui hall-lepp ja haab. See kehtib nii risti kui paralleelselt asetsevate paindekatskehade puhul (joonis 3.4.2.1 ja joonis 3.4.2.2). Sanglepp ja kask on seega suurima paindeelastsusmooduliga, mille tõttu on neil puidu liikidel parimad omadused jäikusel, mis omakorda tähendab, et peavad paremini vastu koormusele ilma deformeerumiseta.



Joonis 3.4.2.1 Keskmesed paindeelastsusmoodulid risti asetsevatel paindekatskehadel liigiti hall-lepa, sanglepa, haava ja kase puhul sõltuvalt pressimissurve



Joonis 3.4.2.2 Keskised paindeelasumusmoodulid paralleelselt asetsevatel paindekatskehadel liigiti hall-lepa, sanglepa, haava ja kase puhul sõltuvalt pressimissurve

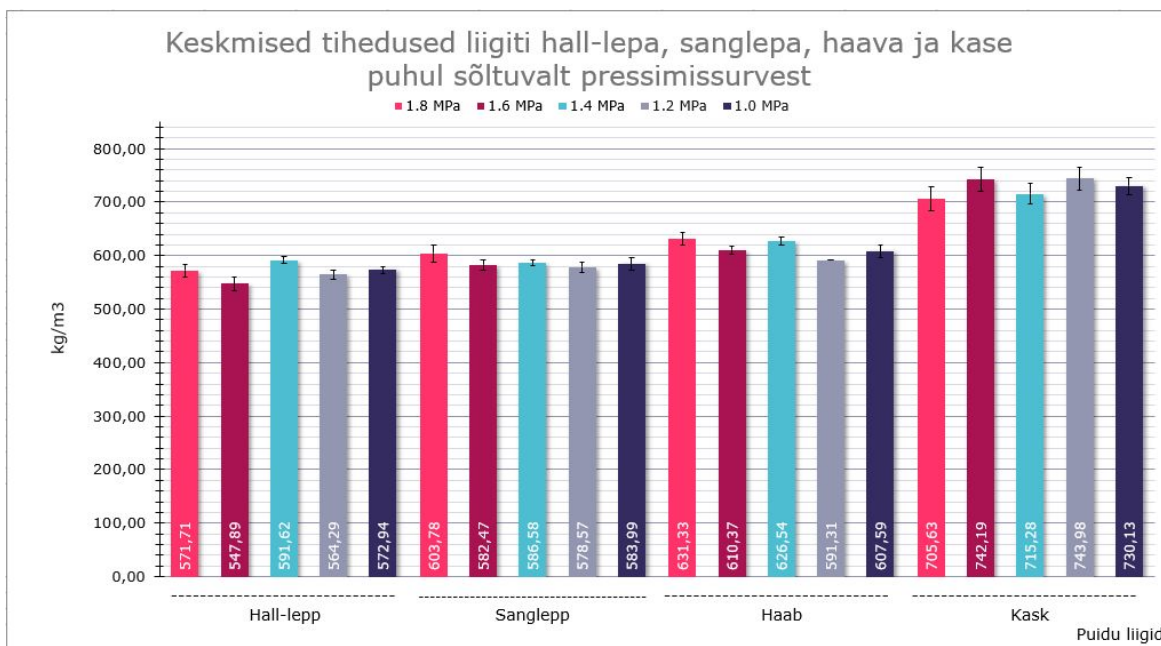
Soome metsatööstuse föderatsiooni käsiraamatust selgub, et 9 mm-se kasevineeri puhul paindeelasumusmooduli standardiks on paralleelselt asetsevate katsekehade puhul 11395 N/mm² ja risti asetsevate katsekehade puhul 6105 N/mm². [27] Kui võtta arvesse eeltoodud tabeleid, siis katsetulemused jäävad selle standardi põhjal mitme tuhande võrra liiga madalaks. Teiste liikide kohta ei leidnud kirjandusest vastet.

Lisas 10 on toodud lisaks paindeelasumusmoodulite ANOVA statistiline analüüs.

3.5 Tiheduse katsed

Katsetulemustest selgus, et pressimissurve kõiki puidu liike puitude tihedusi oluliselt ei mõjuta (joonis 3.5.1). Näiteks sanglepa puhul on vahed erinevate survete vahel peaaegu olematud. Teiste puidu liikide korral pole ka erinevused survete vahel lineaarselt suurenevad või vähenevad, vaid hall-lepal ja haaval on 1,6 MPa ja 1,8 MPa pressimissurvele tihedused teistest survetest ligi 30 kg/m³. Täpselt vastupidine olukord on kase puhul, kus 1,6 MPa ja 1,8 MPa tihedused on teistest survetest samavõrra suuremad. Kui hall-leppa, sanglepa ja haava vineerplaatide tihedused

jäävad kõik 550-630 kg/m³ vahemikku, kuid kase plaatide tihedused ületavad kõik 700 kg/m³ piiri.



Joonis 3.5.1 Keskmised tihedused liigiti hall-lepa, sanglepa, haava ja kase puhul sõltuvalt pressimissurve

Tabelis 3.5.1 on toodud kõrvuti teistest allikatest leitud vineerplaatide tihedused, antud töö keskmised katsetulemused ja antud puidu liigi tihedus. Nagu eespool oli öeldud, siis vineerplaatide ja puidu enda tihedus on suhtelised sama väärtusega. Seda on näha ka allolevas tabelis. Vineeri tihedus on suurem lihtsal põhjusel - fenool-formaldehüüdliimi sisalduse tõttu, mille tihedus (1200 kg/m³) on kõrgem puidu tihedusest. [33] Näiteks sanglepa puhul keskmiselt üks 450 x 450 x 1,5 mm spoonileht kaalub 124,2 g. Ühe vineerplaadi kohta kulub 218,7 g liimi + 7 spoonilehte ehk kokku tuleb ühe plaadi kaaluks 1087,9 g, seega liimi osakaal on kogu plaadist ligi 20%. Seega kui 1/3 plaadist on suurema tihedusega ja see liita ülejäänud osakaaluga, mis on väiksema tihedusega, siis plaadi tihedus on suurem.

Tabel 3.5.1 Vineerplaatide kirjanduslike ja katseliste tiheduste ning puidu tiheduse võrdlus

Puidu liik	Kirjandusest leitud ühe puidu liigi vineerplaatide keskmine tihedus, kg/m³	Katsetulemustest ühe puidu liigi vineerplaatide keskmine tihedus, kg/m³	Antud liigi keskmine puidu tihedus, kg/m³[9]
Hall-lepp	-	569.69	500-530
Sanglepp	607.40	587.08	550
Haab	434-445	613.43	480-520
Kask	747.00	727.44	700

E.-A. Salca *et al.* teadustöö katsete käigus on leitud sanglepa ja kase tihedused, mis võrreldes antud tööga suhteliselt sarnased (tabel 3.5.2). [29] Erinevus on vaid 20 kg/m³ võrra, kus mõlemal juhul on antud töös leitud tihedused madalamad.

Tabel 3.5.2 Sanglepa- ja kasevineeri karakteristike väärtuseid [29]

Sanglepp	Vineerplaadi paksus, mm	6,98 (0,18)
	Tihedus, kg/m ³	607,4 (23,2)
Kask	Vineerplaadi paksus, mm	7,03 (0,05)
	Tihedus, kg/m ³	747,0 (20,5)

Ühtlasi B. J. Wangi artiklis on eksperimentaalselt leitud haava vineeri tiheduseks 434-445 kg/m³. [34] See on märgatavalt väiksem tihedus, kui siin antud töös, kuid seal oli 5-kihilisi vineerplaate pressitud 1,2 MPa juures, mis ka antud töös paarikümne võrra väiksem tihedus keskmisest tihedusest. Teiseks artiklis oli mainitud, et kasutasid pressimisel 155 kraadi kokku 5 minutit, võrreldes praeguse töö 135 kraadi ja 7,5 minutiga.

Lisas 11 on toodud lisaks eelnevale üldpildi jaoks ANOVA statistiline analüüs.

3.6 Järeldused

Võrreldes erinevaid arvutatud parameetreid omavahel ja otsides sobivaimat survet, siis võib välja tuua järgmise järelduse:

GA, A ja B 1,45 MPa juures: Paksuse puhul on GA, A ja B puhul (kui võtta 1,6 ja 1,4 MPa vahemikust sobivaima surve) paksused kõige lähedasemad 9 mm-le. Tõmbekatsetel samuti sobib kõigile, va haab kuna ligi 700 N/mm² ei ole aktsepteeritav alla 50% näiva puidu purenemisala kohta. Paindetugevusel on kõik liigid uuesti sobivad ja ületavad korralikult piirmäära. Tihedus on ühtlasi paras.

BA-le 1,8 MPa juures on tabelist 3.6.1 näha, et iga katse tüübi puhul on sobivaim väärtus 1,8 MPa, seega ei ole vaja eraldi erinevate pressimissurve vahelist keskmist leida.

Tabelist 3.6.1 on välja toodud kogu eksperimentaalse osa kohta kokkuvõtvad tulemused.

Tabel 3.6.1. Kogu eksperimentaalse osa kokkuvõtvad tulemused hall-lepa, sanglepa, haava ja kase jaoks

Katse tüüp	Puidu liik			
	GA	BA	A	B
Keskmine liimikulu ühe liimilehe poole kohta, g/m²	146,13 (16)	161,66 (16)	226,45 (23)	158,33 (6)

Tabel 3.6.1. Kogu eksperimentaalse osa kokkuvõtvad tulemused jätk

Katse tüüp		Keskmine vineeri paksus, mm	Tõmbekatse (keskmise nihke tugevus) f_v, N/mm²	Keskmine tihedus, kg/m³
Pressimissurved, MPa	Puidu liik			
1,8	GA	9,15 (0,18)	0,801 (0,18)	571,71 (10,83)
	BA	9,37 (0,22)	0,917 (0,20)	603,78 (16,41)
	A	7,57 (0,29)	0,750 (0,11)	631,33 (11,38)
	B	9,27 (0,24)	0,928 (0,19)	705,63 (22,58)
1,6	GA	8,92 (0,22)	0,773 (0,10)	547,89 (12,85)
	BA	9,88 (0,18)	0,860 (0,16)	582,47 (8,70)
	A	8,37 (0,22)	0,703 (0,16)	610,37 (8,07)
	B	9,70 (0,13)	0,965 (0,20)	742,19 (22,46)
1,4	GA	9,24 (0,13)	0,833 (0,18)	591,62 (6,74)
	BA	9,73 (0,16)	0,813 (0,14)	586,58 (6,14)

	A	8,27 (0,22)	0,674 (0,13)	626,54 (7,57)
	B	9,80 (0,17)	0,923 (0,19)	715,28 (19,00)
1,2	GA	9,54 (0,14)	0,742 (0,14)	564,29 (7,88)
	BA	9,92 (0,16)	0,767 (0,22)	578,57 (9,80)
	A	8,03 (0,16)	0,608 (0,06)	591,31
	B	9,87 (0,17)	0,866 (0,14)	743,98 (21,83)
1,0	GA	9,56 (0,17)	0,943 (0,17)	572,94 (6,40)
	BA	9,59 (0,17)	0,861 (0,15)	583,99 (12,05)
	A	8,25 (0,19)	0,738 (0,12)	607,59 (11,95)
	B	9,84 (0,18)	1,047 (0,23)	730,13 (16,21)

Tabel 3.6.1. Kogu eksperimentaalse osa kokkuvõtavad tulemused jätk

Katse tüüp		Paindekatse (keskmise paine- tugevus, \perp asetsevad katsekehad) $f_m, N/mm^2$	Paindekatse (keskmise paine- tugevus, \parallel asetsevad katsekehad) $f_m, N/mm^2$	Paindekatse (keskmise paine- elastsus- moodul, \perp asetsevad katsekehad) $E_m, N/mm^2$	Paindekatse (keskmise paine- elastsus- moodul, \parallel asetsevad katsekehad) $E_m, N/mm^2$
Pressimissurve, MPa	Puidu liik				
1,8	GA	48,219 (1,64)	78,669 (3,49)	2160,093 (134,67)	4451,636 (411,33)
	BA	46,024 (5,66)	81,387 (2,36)	2047,884 (230,07)	4994,507 (155,47)
	A	49,286 (4,08)	71,964 (2,91)	1561,513 (305,73)	4766,657 (597,78)
	B	59,803 (4,27)	103,671 (7,90)	2340,356 (307,33)	5802,962 (330,4)
1,6	GA	43,997 (2,68)	65,962 (3,02)	1840,035 (283,15)	3992,595 (398,83)
	BA	42,737 (5,26)	71,986 (2,98)	2147,995 (363,11)	4856,428 (302,02)
	A	40,709 (3,97)	65,562 (6,77)	1561,513 (342,58)	3528,845 (367,03)
	B	58,193 (6,63)	87,785 (13,81)	2761,389	5757,917

				(448,67)	(333,46)
1,4	GA	47,720 (4,02)	75,160 (3,33)	2077,355 (281,8)	4489,903 (230,14)
	BA	45,541 (4,23)	71,035 (7,29)	2184,101 (159,88)	4829,773 (331,78)
	A	47,856 (3,82)	73,424 (3,20)	1574,152 (162,73)	3689,995 (344,66)
	B	59,937 (3,94)	93,376 (5,33)	2862,348 (197,99)	6475,652 (714,61)
1,2	GA	36,539 (5,84)	53,818 (11,28)	1821,142 (127,19)	3603,383 (257,83)
	BA	45,541 (5,84)	68,444 (7,56)	2150,862 (212,61)	4434,856 (624,24)
	A	46,373 (2,30)	58,707 (2,51)	1470,424 (79,89)	3028,458 (118,16)
	B	56,525 (9,09)	94,128 (7,64)	2695,486 (405,2)	5610,929 (686,54)
1,0	GA	37,724 (1,37)	56,947 (5,62)	1699,571 (87,32)	4151,94 (251,88)
	BA	34,867 (4,26)	62,522 (2,92)	1565,514 (172,12)	4013,714 (160,11)
	A	35,240 (2,96)	51,464 (2,50)	1300,535 (232,38)	2953,478 (215,02)
	B	47,484 (5,43)	86,141 (7,39)	2244,355 (129,05)	4841,572 (267,78)

KOKKUVÕTE

Antud töö eesmärgiks oli saavutada sobiv kuumpressi pressimisparameeter survele, et saada võimalikult ühtlane ja väikse paksuse kõikumisega ning heade tugevusomadustega baasvineer nii hall-leपाल, sangleपाल kui haavale võttes aluseks kase baasvineeri.

Lõputöö raames valmistati 450 x 450 x 9 mm suuruses kuuskümmend 7-kihilist vineerplaati. Vineeri kuumpressil 2 haava plaati lõhkes, seega kokku tuli 464 paksuse mõõtmist (8 tk iga plaadi kohta), 1044 tõmbekatsekeha (18 tk iga plaadi kohta), 290 paindekatsakeha (5 tk iga plaadi kohta) ja 50 tiheduse katsakeha, mis on kahtlemata piisav hulk katsakehasid, et teha võimalikult täpseid järeldusi.

Katseid tehti 1,0 MPa, 1,2 MPa, 1,4 MPa, 1,6 MPa ja 1,8 MPa pressimissurve juures, iga surve kohta 12 plaati, millest omakorda iga puiduliigi kohta oli 3 vineerplaati. Katsete analüüsi tulemusena sai leitud igale liigile võimalikult optimaalsed kuumpressi pressimissurved sõltuvalt nii paksuste kõikumistest ja tugevusnäitajatest.

Nii paksused kui nihke- ja paindetugevused ületasid enamjaolt aktsepteeritavaid väärtusi. Paksuse poolest olid kõige ligilähedasemad tulemused 9 mm-le sangleपाल ja kasel, seejärel hall-leपाल ja viimasena haaval, mille juures oli erinevus kohati üle 1 mm-i. Üheks variandiks on lisada kihte juurde ja kasutada suuremat pressimissurvet või kombineerida teise puidu liigiga või kasutada teistsuguse paksusega spooni. Paksuse kõikumises oli suurim osakaal haaval, millel keskmiselt ühel plaadil kõikus paksus 0,59 mm, teistel liikidel jäi keskmine kõikumine 0,42 mm juurde. Üleüldiselt ühtlaseim paksus võrreldes kasega oli hall-leपाल.

Nihketugevuselt olid kõige paremad näitajad samuti kasel ja sangleपाल, mõlemal keskmised nihketugevused algavad 770 N/mm² väärtusest, mis on märgatavalt miinimumpiirist üle paarisaja võrra. Arvestades näiva puidu purunemise protsenti tõmbekatsel jäävad haava nihketugevused iga surve korral liiga madalaks. Hall-leपाल puhul jäävad samuti nihketugevused igal survele üle miinimumpiiri ja püsivad ligi 700-800 N/mm² juures.

Paindetugevuselt, võttes miinimumpiiriks ühe allika põhjal 39 N/mm², on paralleelselt asetsevate katsakehadele kõik pressimissurved piisavate väärtustega ning risti omadel kõikidele liikidele sobivad 1,4-1,8 MPa. Kasele sobivad ka 1,0 ja 1,2 MPa-ga

pressimissurved, teistele mitte. Paindeelastsusmoodul jäi vineeride puhul suhteliselt madalaks ja ei täitnud standardit.

Kõiki tulemusi arvesse võttes on sobivad kuumpressi pressimissurved hall-lepale, haavale ja kasele 1,45 MPa ning sanglepale 1,8 MPa. Üldplaanis lisaks kasele sobib kõige paremini vineeri valmistamiseks sanglepp ja ka hall-lepp, kui pressimisparameetreid korrigeerida ning haab sobib juhul, kui muuta kihtide arvu ja/või teisi pressimisparameetreid või kasutada juba tihendatud spooni.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] "Puutöömeistri käsiraamat", A. Jackson, D. Day. Kirjastus: Tea, 2006. (07.10.2019)
- [2] D. Toksoy, G. Çolakoğlu, I. Aydın, S. Çolak, C. Demirkir. Technological and economic comparison of the usage of beech and alder wood in plywood and laminated veneer lumber manufacturing. 2005. Science Direct.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036013230500154X#aep-section-id16>) (08.10.2019)
- [3] Keskkonnaagentuur. Aastaraamat „Mets 2019“.
(<https://www.keskkonnaagentuur.ee/et/aastaraamat-mets-2019>) (05.01.2021)
- [4] Eesti Metsa- ja Puidutööstuse Liit. Sektori ülevaade 2019.
(<http://empl.ee/statistika/sektori-ulevaade/>) (05.01.2021)
- [5] Eesti Metsa- ja Puidutööstuse Liit. Väliskaubandus 2020, 9 kuud.
(<http://empl.ee/statistika/valiskaubandus/>) (05.01.2021)
- [6] Eesti Metsa- ja Puidutööstuse Liit. Tootmismahud 2020, 9 kuud.
(<http://empl.ee/statistika/toodangustatistika/>) (05.01.2021)
- [7] Tartu Ülikooli LO Loodusteadusliku hariduse keskuses valminud veebipõhised õpikeskkonnad. Õistaimed.
(<http://bio.edu.ee/taimed/general/oistaim.html>) (08.10.2019)
- [8] Väärispuu & Spoon. Lepp.
(<http://www.vaarispuu.ee/et/puuliigid/1-puuliigid/26-lepp.html>) (08.10.2019)
- [9] "Puiduteadus", E. Saarman, U. Veibri. Väljaandja: Eesti Metsaselts. Kirjastus: Vali Press OÜ, Tartu 2006. (07.10.2019)
- [10] "Puiduliikide piibel", N. Gibbs. Kirjastus: Sinisukk, 2008. (07.10.2019)
- [11] K. Randla. Spoonitreiliini ja puidutöötlemisseadmete paigutus TTÜ Puidutehnoloogia laboris. 2017. TalTech Digikogu. (06.01.2021)
- [12] Vineerimaailm. Outlet.
(<https://www.vineerimaailm.ee/outlet>) (10.10.2019)
- [13] Vineerimaailm. Kasulik teada: treispoon vs hõövelspoon / tangentsiaalne vs radiaalne spoon.
(<https://www.vineerimaailm.ee/blog/kasulik-teada-treispoon-hoovelspoon-tangentsiaalne-radialne-spoon>) (25.10.2019)
- [14] Ehituskool. Tüve ehitus.
(https://www.ehituskool.ee/files/8714/5856/8454/2.Tuve_ehitus.pdf) (25.10.2019)
- [15] Tallinna Tõnismäe Reaalkool. Puitplaadid.
(http://castle.pri.ee/?page_id=3984) (25.10.2019)

- [16] Plymaster. Structural plywood.
(<http://plymaster.com.au/plywood-products-structural-and-non-structural.htm>)
(25.10.2019)
- [17] Ashley Timber Ltd. Birch Plywood 9mm.
(<https://www.ashleytimber.co.uk/product/birch-plywood-9mm-bb-bb-faced-2440x1220mm/>)
- [18] The Engineering ToolBox. Thermal conductivity of selected Materials and Gases.
(https://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html)
(05.01.2021)
- [19] "Wood Composites: Engineering with Wood - from Nanocellulose to Superstructures", M. P. Ansell. Kirjastus: Woodhead Publishing, 2015. (12.11.2019)
- [20] P. Bekhta, E-A. Salca. Influence of veneer densification on the shear strength and temperature behavior inside the plywood during hot press. 2018. ResearchGate.
- [21] P. Bekhta, S. Hiziroglu, O. Shepelyuk. Properties of plywood manufactured from compressed veneer as building material. 2008. Science Direct.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261306908003403>)
(14.11.2019)
- [22] Rare wood and veneers. *Alnus Incana Tenuifolia*.
(<https://www.rarewoodsandveneers.com/hardwoods>) (17.12.2019)
- [23] Herba. Hall-lepp *Alnus Incana*.
(<http://herba.folklore.ee/?menu=taime&botid=29>) (17.12.2019)
- [24] Halupuu. Kasulik teada - küttepuud.
(<http://www.halupuu.ee/kasulik-teada/>) (17.12.2019)
- [25] Greenleaf nurseries. *Alnus Glutinosa* - Black Alder Pb 12.
(<https://greenleafnurseries.co.nz/product/black-alder/>) (05.01.2020)
- [26] Arbolapp. *Populus Tremula*.
(<http://www.arbolapp.es/en/species/info/populus-tremula/>) (05.01.2020)
- [27] "Handbook of Finnish plywood", Soome Metsatööstuse Föderatsioon. Kirjastus: Kirjapaino Markprint Oy, 2002.
(<https://www.metsateollisuus.fi/uploads/2017/03/30041750/887.pdf>) (07.08.2020)
- [28] P. Bekhta, J. Sedliačik, N. Bekhta. Effects of Selected Parameters on the Bonding Quality and Temperature Evolution Inside Plywood During Pressing. 2020. MDPI.
(<https://www.mdpi.com/2073-4360/12/5/1035>) (08.08.2020)
- [29] E.-A. Salca, P. Bekhta, Y. Seblii. The Effect of Veneer Densification Temperature and Wood Species on the Plywood Properties Made from Alternate Layers of Densified and Non-Densified Veneers. 2020. MDPI.
(<https://www.mdpi.com/1999-4907/11/6/700>) (08.08.2020)

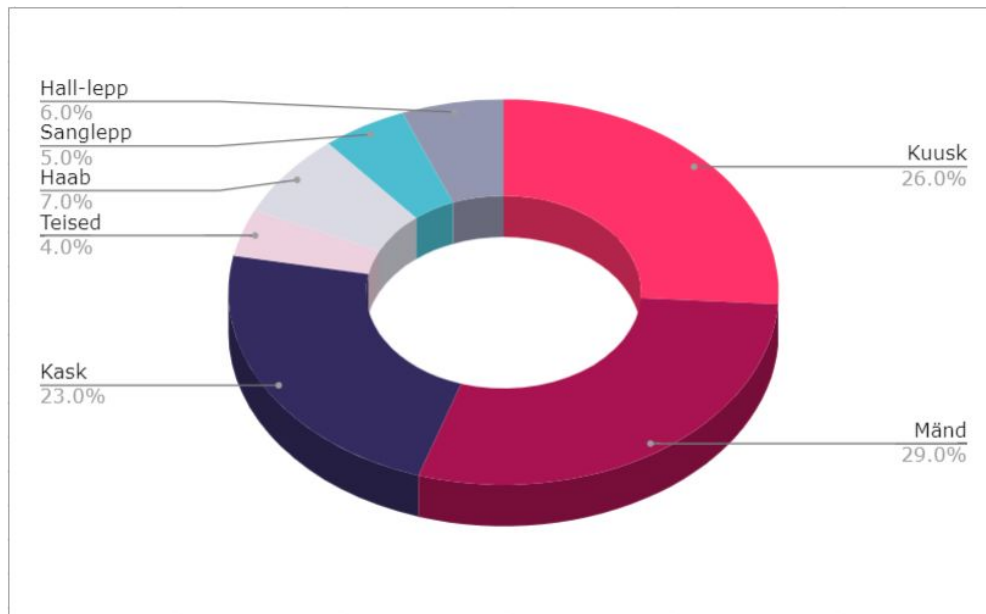
- [30] "Metsä Wood plywood for concrete formwork", Metsä Wood. 2014.
(<https://www.metsawood.com/global/Tools/MaterialArchive/MaterialArchive/MetsaWood-Concrete-Formwork-Technical-Data-English.pdf>) (09.08.2020)
- [31] V. Jivkov, R. Simeonova, A. Marinova. Influence of the veneer quality and load direction on the strength properties of beech plywood as structural material for furniture. 2013. Research Gate.
(https://www.researchgate.net/figure/Statistical-data-for-the-plywood-bending-strength_tbl3_273832370) (09.08.2020)
- [32] "Wood Handbook", Z. Cai, R. J. Ross. 2007. (09.08.2020)
- [33] Science Direct. Phenolic resins.
(<https://www.sciencedirect.com/topics/chemical-engineering/phenolic-resins>)
(09.08.2020)
- [34] B. J. Wang. Experimentation and modeling of hot pressing behaviour of veneer-based composites. 2007. The University of British Columbia.
(<https://open.library.ubc.ca/cIRcle/collections/ubctheses/831/items/1.0074973#downloadfiles>) (10.08.2020)
- [35] Vineerimaailm. Niiskuskindel ehk naturaalne kasevineer.
(<https://www.vineerimaailm.ee/niiskuskindel-kasevineer>) (07.01.2021)

LISAD

Lisa 1 Metsa tagavara hulk Eestis

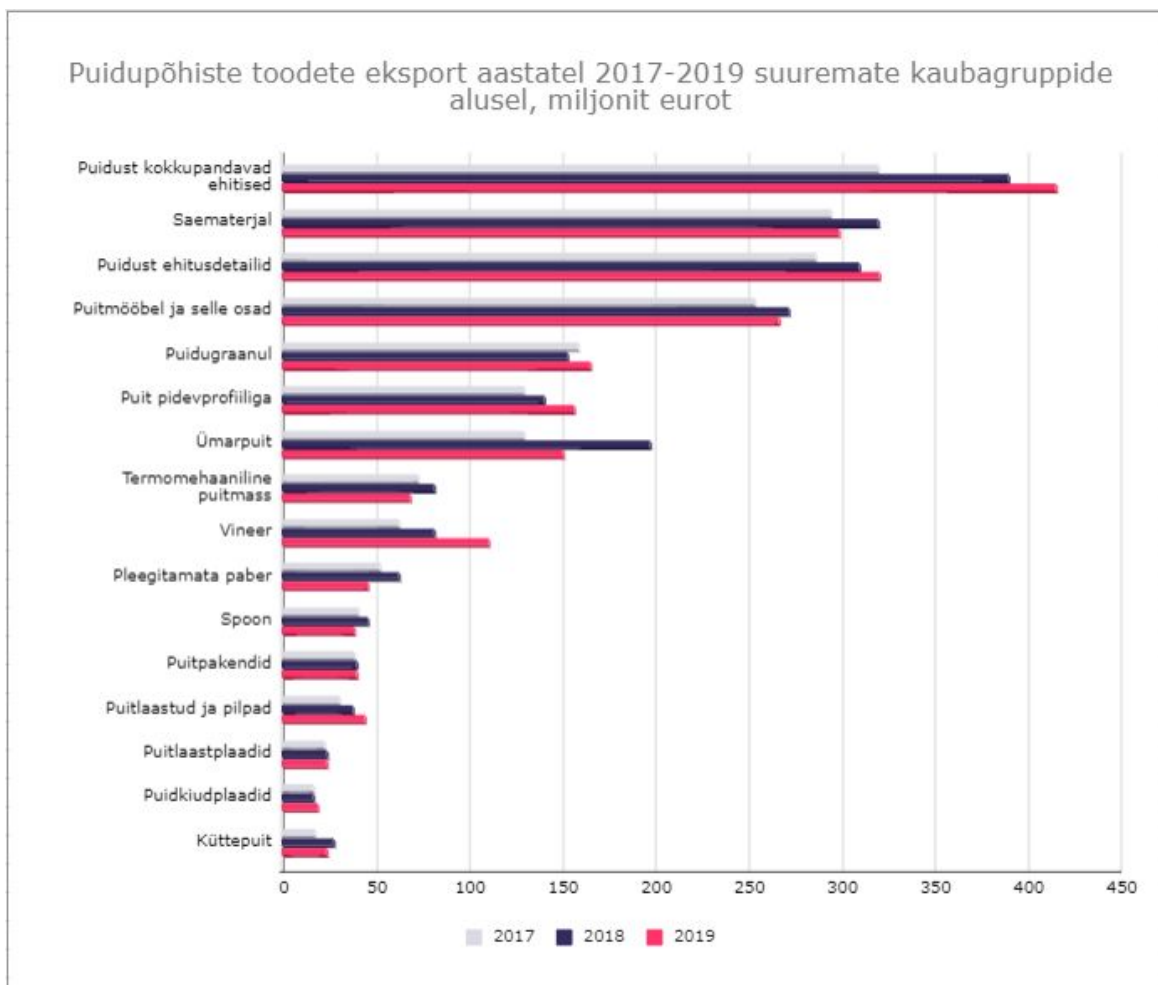
Tabel 1. Eesti metsamaa pindala ja tagavara enamuspuliigiti omandikategooriate järgi [3]

Enamuspuliik	Pindala	
	1000 ha	%
Mänd	725,1	31,1
Kuusk	440,0	18,9
Kask	682,6	29,3
Haab	149,1	6,4
Sanglepp	91,3	3,9
Hall-lepp	208,5	8,9
Teised	35,9	1,5
Kokku	2332,6	100
Riigimetskonnad (ülejäanud teised valdajad)		
Mänd	441,4	41,2
Kuusk	229,8	21,4
Kask	276,3	25,8
Haab	51,7	4,8
Sanglepp	37,2	3,5
Hall-lepp	30,2	2,8
Teised	5,5	0,5
Kokku	1072,0	100



Joonis 1 Eesti metsa tagavara jagunemine puuliigiti [3]

Lisa 2 Puidupõhiste toodete eksport ja nende toodangumahud



Joonis 2 Puidupõhiste toodete eksport aastatel 2017-2019 suuremate kaubagruppide alusel, miljonit eurot [4]

Tabel 2. Toodangumahud suuremates tootegruppides 2015-2019. aastatel [4]

Toode	Ühik	2015	2016	2017	2018	2019
Saematerjal	m ³	1 757 000	2 051 000	2 349 000	2 468 000	2 428 000
Liimpuit	m ³	349 900	359 600	389 300	408 000	415 000
Puidugraanul	t	972 400	1 167 500	1 057 400	985 000	1 244 000
Termomehaaniline puitmass	t	169 400	172 900	171 800	165 000	168 000
Pleegitamata paber	t	65 600	65 300	66 600	75 500	59 900
Vineer	m ³	48 300	55 700	90 200	106 900	134 500
Spoon	m ³	116 600	105 800	83 700	90 900	63 600

Tabel 2. Toodangumahud suuremates tootegruppides 2015-2019. aastatel [4] jätk

Puitlaastplaat	m ³	151 200	90 700	91 900	89 700	84 600
Puitkiudplaat	m ²	7 823 000	7 124 000	6 970 000	6 519 000	5 916 000

2020: 94 miljonit EUR

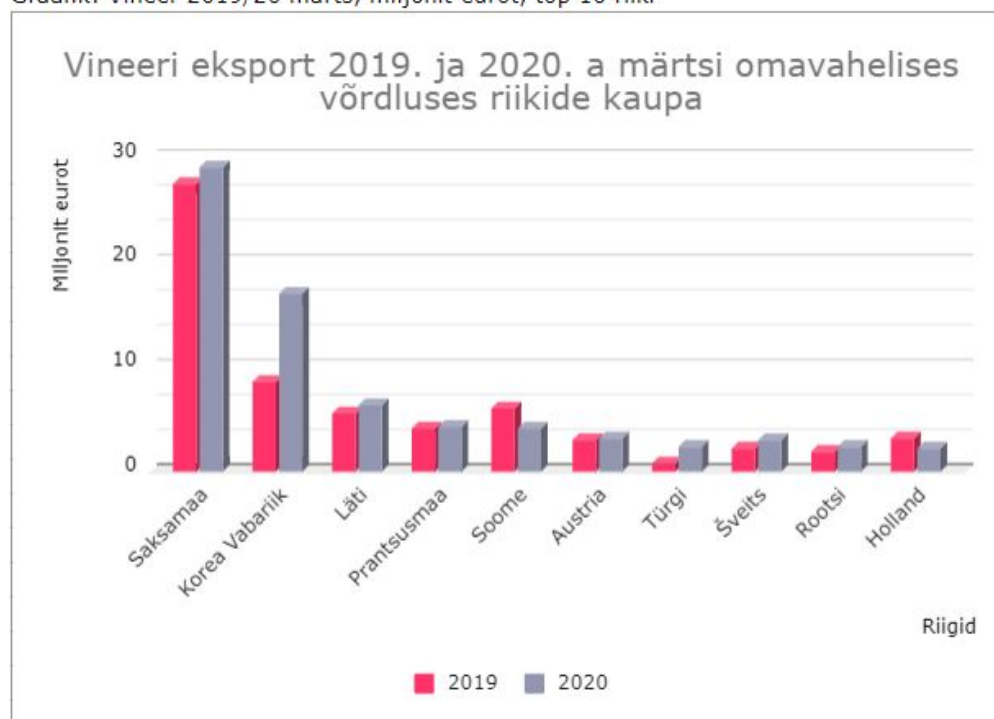
2019: 82 miljonit EUR

Ekspordi väärtuse muutus: +15%

2020 kogus: 132 000 m³

2019 kogus: 112 000 m³

Graafik: Vineer 2019/20 märts, miljonit eurot, top 10 riiki

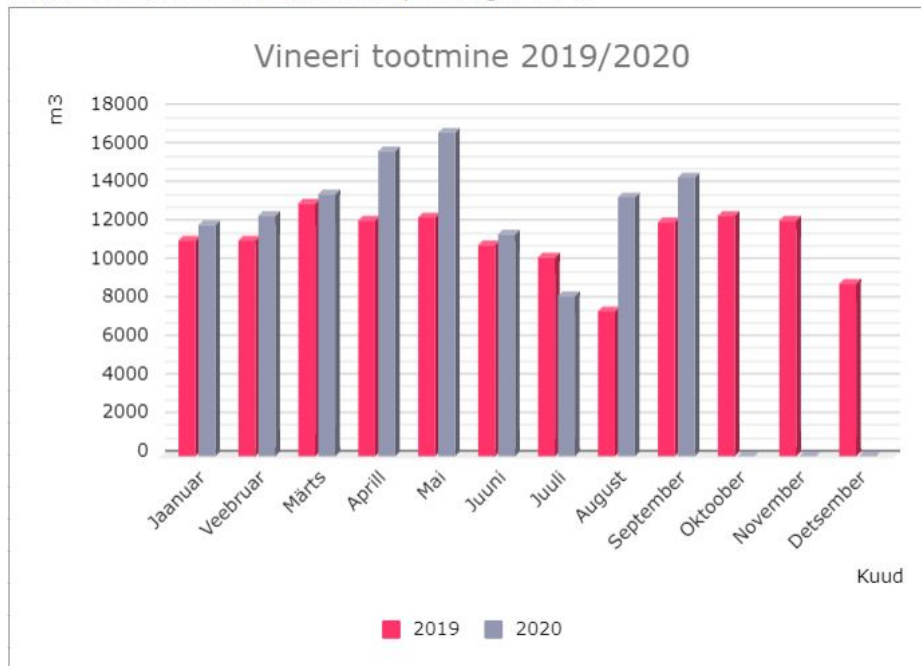


Joonis 3 Vineeri eksport 2019. ja 2020. a märtsi omavahelises võrdluses riikide kaupa [5]

2019 jooksvalt kokku: 100,9 tuhat m³

2020 jooksvalt kokku: 118,4 tuhat m³

Muutus võrreldes eelmise aasta sama perioodiga: +17%



Joonis 4 Vineeri tootmismahud Eestis 2019. ja 2020. a esimese 9 kuu omavahelises võrdluses

[6]

Lisa 3 Paksuse mõõtmise tulemuste ANOVA statistiline analüüs

Tabel 2.2.2.1 ANOVA statistiline analüüs paksuse mõõtmise katsete kohta

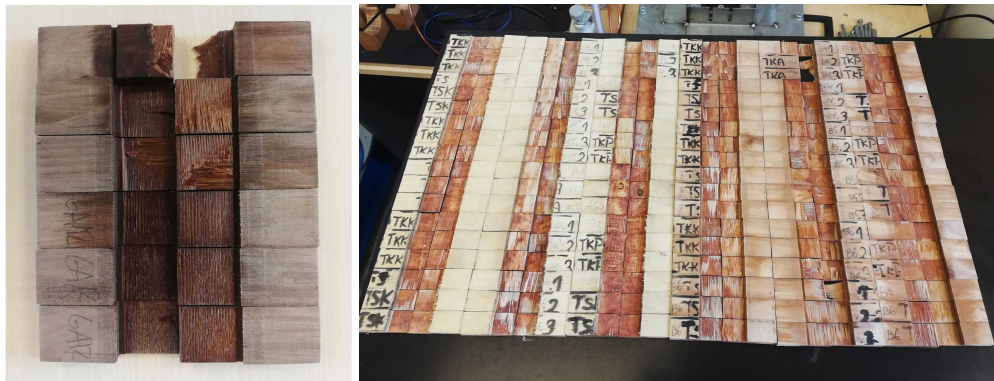
SUMMARY					
	Groups	Count	Sum	Average	Variance
1,8 MPa	Grey Alder	24	219.500	9.146	0.034
	Black Alder	24	224.970	9.374	0.049
	Aspen	24	181.600	7.567	0.084
	Birch	24	222.380	9.266	0.058
1,6 MPa	Grey Alder	24	213.980	8.916	0.048
	Black Alder	24	237.080	9.878	0.032
	Aspen	24	200.850	8.369	0.050
	Birch	24	232.770	9.699	0.016
1,4 MPa	Grey Alder	24	221.670	9.236	0.017
	Black Alder	24	233.430	9.726	0.026
	Aspen	24	198.380	8.266	0.050
	Birch	24	235.230	9.801	0.030
1,2 MPa	Grey Alder	24	228.890	9.537	0.020
	Black Alder	24	238.010	9.917	0.027
	Aspen	8	64.220	8.028	0.021
	Birch	24	236.920	9.872	0.028
1,0 MPa	Grey Alder	24	229.440	9.560	0.029
	Black Alder	24	230.180	9.591	0.030
	Aspen	24	197.900	8.246	0.036
	Birch	24	236.040	9.835	0.031

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	211.494	19	11.131	306.987	1.984 E-241	1.610
Within Groups	16.099	444	0.036			
Total	227.594	463				

Lisa 4 Tõmbekatsekehad enne ja pärast katseid



Joonis 2.4.3 Haava ühe plaadi jagu tõmbekatsekehasid enne katseid



Joonis 2.4.4 Hall-lepa, haava ja kase tõmbekatsekehad peale katseid

Lisa 5 Tömbekatsete keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed nihketugevused

Tabel 3.3.1 Keskmised nihketugevused ja standardhälbed sõltuvalt katsekeha asukohast plaadil liigiti hall-lepa, sanglepa, haava ja kase puhul sõltuvalt pressimissurve

<i>Pressimise surve, MPa</i>	<i>Puidu liik</i>	<i>Ühe liigi plaatide keskmise nihke- tugevus f_v, N/mm²</i>	<i>Standard- hälve ühe liigi plaatidele</i>	<i>Katse- kehade asukoht plaadilt</i>	<i>Ühe liigi plaatide keskmise nihke- tugevus f_v, N/mm²</i>	<i>Standard- hälve ühe liigi plaatidele</i>	
1,8	Hall-lepp	0.801	0.175	Keskelt	0.807	0.145	
				Servast	0.818	0.141	
	Sanglepp	0.917	0.197	Keskelt	0.883	0.176	
				Servast	0.970	0.183	
	Haab	0.750	0.112	Keskelt	0.703	0.099	
				Servast	0.797	0.100	
	Kask	0.928	0.186	Keskelt	0.891	0.150	
				Servast	0.966	0.213	
	1,6	Hall-lepp	0.773	0.098	Keskelt	0.779	0.126
					Servast	0.767	0.061
Sanglepp		0.860	0.155	Keskelt	0.845	0.153	
				Servast	0.876	0.158	
Haab		0.703	0.1	Keskelt	0.713	0.080	
				Servast	0.694	0.118	
Kask		0.965	0.196	Keskelt	1.008	0.186	
				Servast	0.947	0.169	
1,4		Hall-lepp	0.833	0.182	Keskelt	0.800	0.161
					Servast	0.865	0.198
	Sanglepp	0.813	0.138	Keskelt	0.808	0.148	
				Servast	0.819	0.131	
	Haab	0.674	0.129	Keskelt	0.703	0.142	
				Servast	0.645	0.110	
	Kask	0.923	0.187	Keskelt	0.910	0.117	
				Servast	0.937	0.241	
	1,2	Hall-lepp	0.742	0.14	Keskelt	0.710	0.152
					Servast	0.779	0.119
Sanglepp		0.767	0.218	Keskelt	0.753	0.184	
				Servast	0.783	0.252	
Haab		0.608	0.057	Keskelt	0.583	0.034	
				Servast	0.633	0.066	

	Kask	0.866	0.139	Keskelt	0.837	0.125
				Servast	0.893	0.149
1,0	Hall-lepp	0.943	0.165	Keskelt	0.935	0.155
				Servast	0.950	0.176
	Sanglepp	0.861	0.153	Keskelt	0.824	0.158
				Servast	0.894	0.143
	Haab	0.738	0.122	Keskelt	0.739	0.135
				Servast	0.737	0.111
	Kask	1.047	0.225	Keskelt	0.974	0.201
				Servast	1.119	0.227

Tabel 3.3.2 Keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed nihketugevused liigiti hall-lepa, sanglepa, haava ja kase puhul sõltuvalt pressimissurve

Pressimise surve, MPa	Puidu liik	Ühe liigi plaatide keskmise nihketugevus $f_v, N/mm^2$	Ühe liigi plaatide min nihketugevus $f_v, N/mm^2$	Ühe liigi plaatide max nihketugevus $f_v, N/mm^2$
1,8	Hall-lepp	0.801	0.566	1.218
	Sanglepp	0.917	0.486	1.287
	Haab	0.750	0.427	0.925
	Kask	0.928	0.618	1.631
1,6	Hall-lepp	0.773	0.555	1.001
	Sanglepp	0.860	0.527	1.241
	Haab	0.703	0.476	0.946
	Kask	0.965	0.658	1.336
1,4	Hall-lepp	0.833	0.458	1.179
	Sanglepp	0.813	0.550	1.065
	Haab	0.674	0.406	1.224
	Kask	0.923	0.568	1.367
1,2	Hall-lepp	0.742	0.498	1.056
	Sanglepp	0.767	0.454	1.342
	Haab	0.608	0.508	0.773
	Kask	0.866	0.642	1.175
1,0	Hall-lepp	0.943	0.717	1.413
	Sanglepp	0.861	0.582	1.202
	Haab	0.738	0.531	1.029
	Kask	1.047	0.685	1.708

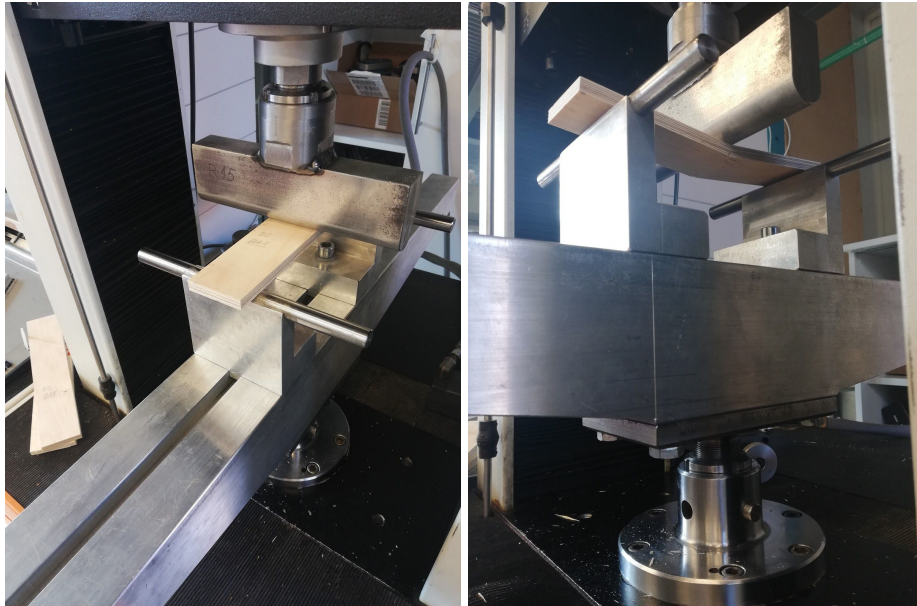
Lisa 6 Tõmbekatsete tulemuste ANOVA statistiline analüüs

Tabel 2.2.3.3 ANOVA statistiline analüüs vineeri liimühenduste kvaliteedi kohta

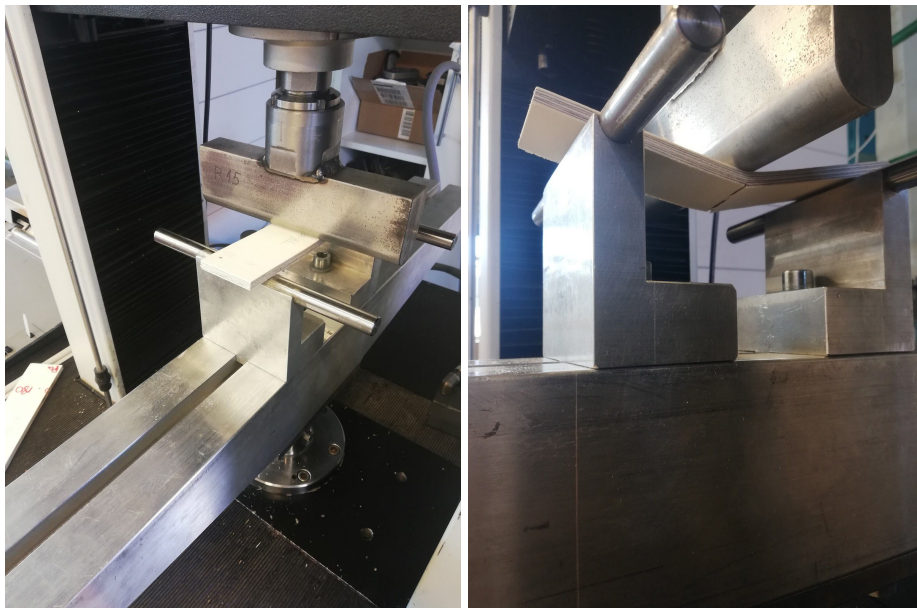
SUMMARY					
Pressure	Groups	Count	Sum	Average	Variance
1,8 MPa	Grey Alder	51	41.415	0.812	0.020
	Black Alder	53	49.167	0.928	0.034
	Aspen	54	40.499	0.750	0.013
	Birch	51	47.318	0.928	0.034
1,6 MPa	Grey Alder	54	41.734	0.773	0.010
	Black Alder	54	46.456	0.860	0.024
	Aspen	54	37.983	0.703	0.010
	Birch	53	51.769	0.977	0.032
1,4 MPa	Grey Alder	52	43.296	0.833	0.033
	Black Alder	53	43.112	0.813	0.019
	Aspen	54	36.388	0.674	0.017
	Birch	51	47.083	0.923	0.035
1,2 MPa	Grey Alder	52	37.854	0.728	0.030
	Black Alder	50	38.375	0.767	0.047
	Aspen	18	10.939	0.608	0.003
	Birch	53	45.896	0.866	0.019
1,0 MPa	Grey Alder	46	42.433	0.922	0.046
	Black Alder	52	44.756	0.861	0.023
	Aspen	54	39.845	0.738	0.015
	Birch	54	56.514	1.047	0.051

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	10.486	19.000	0.552	21.026	2.377 E-60	1.597
Within Groups	26.066	993.000	0.026			
Total	36.552	1012.000				

Lisa 7 Paindekatseskehad pärast katset



Joonis 2.5.4 Sanglepa paralleelselt asetsev paindekatseskeha peale katset

















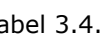
Joonis 2.5.5 Haava risti asetsev paindekatseskeha peale katset

**Lisa 8 Paindekatsete keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed
paindetugevused ja kirjanduslike viidete tabelid**

Tabel 3.4.1.1 Keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed paindetugevused sõltuvalt katsekeha asendist ja liigiti hall-lepa, sanglepa, haava ja kase puhul sõltuvalt pressimissurve

Pressimis- surve, MPa	Puidu liik	Ühe liigi plaatide keskmise ⊥ katse- kehade painde- tugevus $f_{m\perp}$ N/mm²	Ühe liigi plaatide min ⊥ katse- kehade painde- tugevus $f_{m\perp}$ N/mm²	Ühe liigi plaatide max ⊥ katse- kehade painde- tugevus $f_{m\perp}$ N/mm²	Ühe liigi plaatide keskmise katse- kehade painde- tugevus $f_{m\parallel}$ N/mm²	Ühe liigi plaatide min katse- kehade painde- tugevus $f_{m\parallel}$ N/mm²	Ühe liigi plaatide max katse- kehade painde- tugevus $f_{m\parallel}$ N/mm²
1,8	GA	48.219	45.207	49.977	78.670	73.082	81.349
	BA	46.024	31.991	49.370	81.387	78.987	85.131
	A	49.286	40.829	54.777	71.964	69.336	75.402
	B	59.803	52.619	65.013	103.671	90.526	112.283
1,6	GA	43.997	38.419	48.460	65.962	61.327	69.584
	BA	42.737	33.935	47.407	71.986	68.999	76.896
	A	40.709	36.228	47.469	65.562	58.166	73.774
	B	58.193	46.955	64.214	87.785	71.762	102.075
1,4	GA	47.720	37.782	50.949	75.160	69.574	78.798
	BA	45.541	36.791	50.943	71.035	62.244	77.851
	A	47.856	42.428	54.361	73.424	71.572	79.919
	B	59.937	54.624	66.359	93.376	86.254	99.600
1,2	GA	36.539	21.793	39.924	53.818	34.124	63.101
	BA	45.541	42.841	47.560	68.444	54.125	73.812
	A	46.373	44.263	48.822	58.707	56.932	60.482
	B	56.525	39.142	69.654	94.128	83.269	102.597
1,0	GA	37.724	35.335	39.854	56.947	46.908	61.921
	BA	34.867	27.213	40.376	62.522	57.680	64.687
	A	35.240	32.002	39.969	51.465	48.774	55.483
	B	47.484	36.171	53.051	86.141	74.672	96.451

Tabel 3.4.1.2. Kasevineeri karakteristike väärtuseid Soome Metsatööstuse Föderatsiooni poolt [25]

Table 3-2. Birch plywood							Characteristic strength					
	Section properties						Bending		Compression		Tension	
	Lay-up	Nominal thickness	Number of plies	t mean mm	A mm ² /mm	W mm ³ /mm	I mm ⁴ /mm	f _m N/mm ²	f _{m⊥} N/mm ²	f _c N/mm ²	f _{c⊥} N/mm ²	f _t N/mm ²
	4	3	3.6	3.6	2.16	3.89	65.9	10.6	31.8	20.2	45.8	29.2
	6.5	5	6.4	6.4	6.83	21.8	50.9	29.0	29.3	22.8	42.2	32.8
	9	7	9.2	9.2	14.1	64.9	45.6	32.1	28.3	23.7	40.8	34.2
	12	9	12.0	12.0	24.0	144	42.9	33.2	27.7	24.3	40.0	35.0
	15	11	14.8	14.8	36.5	270	41.3	33.8	27.4	24.6	39.5	35.5
	18	13	17.6	17.6	51.6	454	40.2	34.1	27.2	24.8	39.2	35.8
	21	15	20.4	20.4	69.4	707	39.4	34.3	27.0	25.0	39.0	36.0
	24	17	23.2	23.2	89.7	1041	38.9	34.4	26.9	25.1	38.8	36.2
	27	19	26.0	26.0	113	1465	38.4	34.5	26.8	25.2	38.7	36.3
	30	21	28.8	28.8	138	1991	38.1	34.6	26.7	25.3	38.5	36.5
	35	25	34.4	34.4	197	3392	37.6	34.7	26.6	25.4	38.4	36.6
	40	29	40.0	40.0	267	5333	37.2	34.7	26.5	25.5	38.3	36.8
	45	32	44.2	44.2	326	7196	37.0	34.7	26.5	25.5	38.2	36.8
	50	35	48.4	48.4	390	9448	36.8	34.8	26.4	25.6	38.1	36.9

Tabel 3.4.1.3 Pöõgi keskmised paindetugevused risti ja paralleelsete katsekehade kohta 1,3 MPa pressimissurvega [29]

Table 3: Statistical data for the plywood bending strength

Type of plywood		Series 1		Series 0	
		⊥		⊥	
Number of test samples	number	20	20	18	18
Mean value	N/mm ²	55,58	63,16	53,38	63,17
Minimum value	N/mm ²	52,04	58,43	46,18	58,18
Median	N/mm ²	55,29	62,81	53,17	63,10
Maximum value	N/mm ²	60,35	68,26	60,21	68,30
Standard deviation	N/mm ²	2,28	3,04	4,85	2,56
Coefficient of variation	%	4,11	4,82	9,08	4,04

Lisa 9 Paindekatsete tulemuste ANOVA statistiline analüüs

Tabel 2.2.4.4 ANOVA statistiline analüüs paindetugevuste kohta (risti asetatud katsekehad)

SUMMARY					
	Groups	Count	Sum	Average	Variance
1,8 MPa	Grey Alder	9	433.974	48.219	2.677
	Black Alder	9	414.218	46.024	32.036
	Aspen	9	443.578	49.286	16.609
	Birch	9	538.223	59.803	18.232
1,6 MPa	Grey Alder	9	395.976	43.997	7.174
	Black Alder	9	384.631	42.737	27.683
	Aspen	9	366.378	40.709	15.768
	Birch	9	523.739	58.193	43.984
1,4 MPa	Grey Alder	9	429.480	47.720	16.138
	Black Alder	9	409.873	45.541	17.919
	Aspen	9	430.708	47.856	14.558
	Birch	9	539.430	59.937	15.558
1,2 MPa	Grey Alder	9	328.855	36.539	34.157
	Black Alder	9	410.412	45.601	2.821
	Aspen	3	139.119	46.373	5.282
	Birch	9	508.729	56.525	82.687
1,0 MPa	Grey Alder	9	339.515	37.724	1.870
	Black Alder	9	313.800	34.867	18.148
	Aspen	9	317.156	35.240	8.759
	Birch	9	508.729	56.525	82.687

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	10790.265	19	567.909	23.725	2.321 E-36	1.654
Within Groups	3686.307	154	23.937			
Total	14476.573	173				

Tabel 2.2.4.5 ANOVA statistiline analüüs paindetugevuste kohta (paralleelselt asetatud katsekehad)

SUMMARY					
	Groups	Count	Sum	Average	Variance
1,8 MPa	Grey Alder	6	472.019	78.670	12.185
	Black Alder	6	488.322	81.387	5.580
	Aspen	6	431.788	71.965	8.488
	Birch	6	622.026	103.671	62.480
1,6 MPa	Grey Alder	6	395.774	65.962	9.144
	Black Alder	6	431.915	71.986	8.909
	Aspen	6	393.369	65.562	45.792
	Birch	6	526.706	87.784	190.708
1,4 MPa	Grey Alder	6	450.962	75.160	11.067
	Black Alder	6	426.207	71.035	53.081
	Aspen	6	440.545	73.424	10.243
	Birch	6	560.256	93.376	28.367
1,2 MPa	Grey Alder	6	322.910	53.818	127.243
	Black Alder	6	410.661	68.444	60.162
	Aspen	2	117.414	58.707	6.301
	Birch	6	564.769	94.128	58.385
1,0 MPa	Grey Alder	6	341.680	56.947	31.586
	Black Alder	6	375.134	62.522	8.530
	Aspen	6	308.789	51.465	6.267
	Birch	6	564.769	94.128	58.385

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	23567.677	19	1240.404	29.849	5.080 E-32	1.696
Within Groups	3989.306	96	41.555			
Total	27556.983	115				

Lisa 10 Paindetugevusmodulite ANOVA statistiline analüüs

Tabel 3.4.2.1 ANOVA statistiline analüüs paindeelastsusmodulite kohta (risti asetatud katsekehad)

SUMMARY					
	Groups	Count	Sum	Average	Variance
1,8 MPa	Hall-lepp	8	17199.518	2149.940	19667.958
	Sanglepp	8	16167.865	2020.983	53049.501
	Haab	8	16127.843	2015.980	75644.337
	Kask	8	18719.598	2339.950	107942.657
1,6 MPa	Hall-lepp	8	14161.996	1770.250	41537.265
	Sanglepp	8	17032.745	2129.093	147005.761
	Haab	8	12871.619	1608.952	110978.159
	Kask	8	22032.300	2754.037	229502.161
1,4 MPa	Hall-lepp	8	16965.282	2120.660	71465.847
	Sanglepp	8	17724.289	2215.536	19047.864
	Haab	8	12620.005	1577.501	30148.955
	Kask	8	23031.318	2878.915	41976.752
1,2 MPa	Hall-lepp	8	14626.602	1828.325	17958.323
	Sanglepp	8	17246.844	2155.855	51403.211
	Haab	2	3029.189	1514.594	1058.929
	Kask	8	21136.340	2642.043	158265.035
1,0 MPa	Hall-lepp	8	13564.396	1695.550	8547.584
	Sanglepp	8	12229.220	1528.653	19882.764
	Haab	8	10306.374	1288.297	60176.378
	Kask	8	17890.025	2236.253	18357.792

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	26460178.495	19	1392640.973	20.783	4.860E-31	1.665
Within Groups	8978967.048	134	67007.217			
Total	35439145.543	153				

Tabel 3.4.2.2 ANOVA statistiline analüüs paindeelastsusmoodulite kohta (paralleelselt asetatud katsekehad)

SUMMARY					
	Groups	Count	Sum	Average	Variance
1,8 MPa	Hall-lepp	5	21649.280	4329.856	100262.842
	Sanglepp	5	24755.780	4951.156	16118.272
	Haab	5	23997.433	4799.487	438589.721
	Kask	5	28844.607	5768.921	127765.147
1,6 MPa	Hall-lepp	5	19622.648	3924.530	164084.514
	Sanglepp	5	23840.571	4768.114	55525.406
	Haab	5	17173.459	3434.692	101906.267
	Kask	5	28844.571	5768.914	138088.574
1,4 MPa	Hall-lepp	5	22215.460	4443.092	49772.245
	Sanglepp	5	24630.413	4926.083	68029.077
	Haab	5	18424.625	3684.925	148293.250
	Kask	5	33213.538	6642.708	429023.432
1,2 MPa	Hall-lepp	5	18298.694	3659.739	59278.976
	Sanglepp	5	22280.064	4456.013	483745.271
	Haab	1	3112.009	3112.009	0.000
	Kask	5	28216.812	5643.362	581284.197
1,0 MPa	Hall-lepp	5	20460.329	4092.066	52420.478
	Sanglepp	5	19830.713	3966.143	15069.076
	Haab	5	14803.793	2960.759	57394.938
	Kask	5	23929.804	4785.961	66437.369

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	78725488.905	19	4143446.784	24.968	0.000	1.725
Within Groups	12612356.208	76	165952.055			
Total	91337845.113	95				

Lisa 11 Tiheduse mõõtmise tulemuste ANOVA statistiline analüüs

Tabel 3.5.2 ANOVA statistiline analüüs tiheduse mõõtmise katsete kohta

SUMMARY					
	Groups	Count	Sum	Average	Variance
1,8 MPa	Grey Alder	3	1715.144	571.715	117.189
	Black Alder	3	1811.349	603.783	269.415
	Aspen	3	1893.984	631.328	129.436
	Birch	3	2116.898	705.633	509.659
1,6 MPa	Grey Alder	3	1643.679	547.893	165.105
	Black Alder	3	1747.424	582.475	75.596
	Aspen	3	1831.123	610.374	65.080
	Birch	3	2226.561	742.187	504.490
1,4 MPa	Grey Alder	3	1774.862	591.621	45.483
	Black Alder	3	1759.748	586.583	37.637
	Aspen	3	1879.615	626.538	57.320
	Birch	3	2145.835	715.278	361.140
1,2 MPa	Grey Alder	3	1692.866	564.289	62.020
	Black Alder	3	1735.714	578.571	96.022
	Aspen	1	591.313	591.313	#DIV/0!
	Birch	3	2231.943	743.981	476.364
1,0 MPa	Grey Alder	3	1718.832	572.944	40.955
	Black Alder	3	1751.968	583.989	145.159
	Aspen	3	1822.781	607.594	142.903
	Birch	3	2190.387	730.129	262.834

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	235174.385	19	12377.599	65.990	2.486E-23	1.867
Within Groups	7127.616	38	187.569			
Total	242302.001	57				