



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

POLÜMEERMATERJALIDE INSTITUUT

PUIDUTÖÖTLEMISE ÕPPETOOL

# NURKÜHENDUSTE TUGEVUS ERINEVATES MATERJALIDES

Magistriöö

Martin Saar

Juhendaja: Jaan Kers, Puidutöötlemise õppetooli juhataja, professor

Materjalitehnoloogia õppekava KAOM02/10

Tallinn 2014

Deklareerin, et käesolev magistritöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli magistrikraadi taotlemiseks ja et selle alusel ei ole varem taotletud akadeemilist kraadi.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud või (avaldamata tööde korral) toodud autorlus välja põhitekstis.

Martin Saar

# SISUKORD

TÄHISTE JA LÜHENDITE LOETELU .....	9
SISSEJUHATUS .....	10
1. SEOTISED JA MATERJALID.....	12
1.1 Seotised.....	12
1.1.1 Seotiste elemendid.....	15
1.1.2 Seotise valik.....	15
1.1.3 Sileservseotis .....	16
1.1.4 Eerungseotis .....	17
1.1.5 Rööptappeotis .....	18
1.1.6 Tüübelseotis.....	19
1.1.7 Lamelltüübelseotis.....	22
1.2 Materjalid.....	24
1.2.1 Arukask.....	24
1.2.2 Harilik mänd.....	25
1.2.3 Medium Density Fiberboard.....	26
1.2.4 Puitlaastplaat.....	28
1.2.5 Valchromat .....	30
2. METODOLOOGIA.....	33
2.1 Katsekehade valmistamine.....	33
2.2 Katsed .....	40
2.2.1 Surve- ja tõmbejõu katseseade .....	40
2.2.2 Diagonaalsete tõmbekatsete läbiviimine .....	41
2.2.3 Niiskuse ja absoluutse niiskuse määramine.....	42
2.2.4 Paindetugevuse katse .....	43

2.2.5	Janka kõvaduse katse.....	44
2.2.6	Materjali pundumise katse.....	45
3.	KATSETE TULEMUSED .....	46
3.1	Diagonaalsete tõmbekatsete tulemused .....	46
3.2	Absoluutse niiskuskatse tulemused .....	49
3.3	Paindekattsetuse tulemused.....	50
3.4	Materjali Janka kõvaduskatse tulemused.....	52
3.4.1	Materjali pundumise katse tulemused .....	53
4.	ANALÜÜS .....	55
4.1	Seotiste analüüs.....	55
4.1.1	Sileservseotis .....	56
4.1.2	Eerungseotis .....	59
4.1.3	Tüübelseotis.....	61
4.1.4	Lamelltüübelseotis.....	64
4.1.5	Rööptappeotis .....	66
4.2	Materjalide analüüs.....	68
4.2.1	Kasepuidust seotised .....	68
4.2.2	Männipuidust seotised .....	69
4.2.3	Medium density fiberboard seotise materjalina.....	70
4.2.4	Valchromat seotistes.....	71
4.2.5	Puitlaastplaadist seotised .....	73
	KOKKUVÕTE .....	75
	SUMMARY .....	77
	KASUTATUD KIRJANDUS .....	79
	LISAD .....	82
	Lisa 1. Sileservseotise katsekeha tehniline joonis .....	83
	Lisa 2. Eerungseotise katsekeha tehniline joonis .....	84

Lisa 3. Tüübelseotise katsekeha tehniline joonis .....	85
Lisa 4. Lamelltüübelseotise katsekeha tehniline joonis.....	86
Lisa 5. Rööptappseotise katsekeha tehniline joonis .....	87
Lisa 6. Katsekehade valmistamisest, katsetusest ja analüüsist.....	88
Lisa 6.1. a) Toorikute survestamine b) Tüübeldamine.....	88
Lisa 6.4. a) Sileservseotis MDF-is b) Sileservseotis PLP-s .....	89
Lisa 6.8. Eerungseotis Valchromatis, katsemasinas .....	90
Lisa 6.11. a) Tüübelseotis PLP-s b) Tüübelseotis MDF-is .....	91
Lisa 6.14. a) Lamelltüübelseotis kases b) Lamelltüübelseotis männis.....	92
Lisa 6.17. a) Tüübel Valchromatis b) Lamelltüübel Valchromatis .....	93
Lisa 6.19. a) Tüübli ava Valchromatis b) Eerungseotis männis – rebitud kiud .....	94
Lisa 6.20. a) Rööptappseotise ava kases b) sileservseotis kases .....	94
Lisa 7. Katsete surveskaalad.....	95
Lisa 7.1. Sileservseotis kase surveskaala.....	95
Lisa 7.2. Eerungseotis kase surveskaala.....	96
Lisa 7.3. Tüübelseotis kase surveskaala .....	97
Lisa 7.4. Lamelltüübelseotis kase surveskaala .....	98
Lisa 8. PVA Liim Cascol 3351 tehnilised andmed maaletoojalt.....	100
Lisa 9. Kõik katsetulemused.....	102
Lisa 10. Indeksite korduvus joonis .....	107
Lisa 11. Arvutuslike keskmiste tulemuste võrdlus.....	108
Lisa 12. Tänuõnad.....	109

## TABELITE SISUKORD

Tabel 1. Kase omadused (Saarman & Veibri, 2006: 244).....	25
Tabel 2. Mäni omadused. (Saarman & Veibri, 2006: 260) .....	26
Tabel 3. MDF-i omadused (Saarman & Veibri, 2006: 214).....	27
Tabel 4. MDF-i omadused – (Luhpol, 2011). .....	27
Tabel 5. Puitlaastplaatide tehnilised andmed: (Saarman & Veibri, 2006: 205) .....	29
Tabel 6. PLP omadused – (Koskisen, 2014) .....	29
Tabel 7. Valchromati omadused ( <i>Ibid.</i> ).....	32
Tabel 8. Katsekehade liimipindala ja liimitamise kogus .....	38
Tabel 9. Katseplaan .....	39
Tabel 10. Imal IB 600 tehnilised andmed (Imal pal, 2013).....	40
Tabel 11. Kasutatud indekse loetelu.....	42
Tabel 12. Materjalide tootjapoolsed andmed ja autori kogutud andmed. ....	46
Tabel 13. Absoluutne niiskus materjalides.....	49
Tabel 14. Paindekatsetuste tulemused .....	50
Tabel 15. Seotiste paremusjärjestus materjaliti .....	55
Tabel 16. Autoripoolne soovituslik seotiste kasutamine, tulemuste põhjal. ....	56
Tabel 17. Materjali paremuse järjestus seotiseti.....	68

## JOONISTE SISUKORD

Joonis 1. Lahtivõetavad ja mittelahtivõetavad seotised.....	14
Joonis 2. Sileservseotis .....	16
Joonis 3. Eerungseotis .....	17
Joonis 4. Rööptappseotis .....	18
Joonis 5. Rööptappseotise planeerimise skeem.....	19
Joonis 6. Tüübelseotis .....	19
Joonis 7. Lamelltüübel seotis.....	22
Joonis 8. Karkassmööbli nurkühendustele mõjuvad jõud .....	33
Joonis 9. a) Esmane töötlus ja liimitamine b) Liimkilbid pressis.....	34
Joonis 10. Materjali lahtisaagimine .....	35
Joonis 11. Valmistatud katsekehade kastid, enne lahtilõikamist.....	35
Joonis 12. a) Tüübelseotise toorikud. b) Lamelltüübelseotise toorikud.....	36
Joonis 13. a) Eerungseotis liimitatud liimikammiga b) Liimitamise abivahendid.....	38
Joonis 14. Katsekehad pärast lahtisaagimist .....	39
Joonis 15. Imal IB 600.....	40
Joonis 16. Kolme punkti paindekatses põhimõtte skeem .....	44
Joonis 17. a) Janka katses põhimõtte skeem b) Janka katsel kasutatud surveseade .....	45
Joonis 18. Eerungseotise diagonaalne tõmbekatses puitlaastplaadil korral .....	47
Joonis 19. Seotiste diagonaalsete tõmbekatses keskmised tulemused .....	48
Joonis 20. Materjalide paindetugevused. (Tootja andmed ja autori kogutud andmed).....	51
Joonis 21. Materjalide kõvadus piki- ja ristikiudu .....	52
Joonis 22. Materjalide pundumine vees 24h jooksul.....	54
Joonis 23. Sileservseotisele diagonaalsel tõmbekatsel mõjuvad jõud.....	56
Joonis 24. Sileservseotise katsekehad peale tõmbekatses a) kask b) mänd c) MDF d) PLP ....	57
Joonis 25. Sileservseotise diagonaalse tõmbekatses tulemused.....	58
Joonis 26. a) Eerungseotisele diagonaalsel tõmbel mõjuvad jõud b) Tõmbel mõjuvad jõud ..	59
Joonis 27. Eerungseotise katsekehade deformatsioonid a) MDF b) PLP) .....	60
Joonis 28. Eerungseotise diagonaalse tõmbekatses tulemused .....	60
Joonis 29. Tüübelseotise diagonaalsele tõmbekatsesle mõjuvad jõud.....	61
Joonis 30. Tüübelseotise katsekehad peale diagonaalset tõmbekatsesetust /.../ .....	62

Joonis 31. a) Tüübli auk MDF-is (Suurendus 8x) b) Tüübel Valchromatis (Suurendus 8x) ..	62
Joonis 32. Tüübelseotiste diagonaalse tõmbekatse tulemused .....	63
Joonis 33. Lamelltüübelseotisele mõjuvad jõud diagonaalse tõmbe katsetusel .....	64
Joonis 34. Lamelltüübliseotise katsekehad peale katsetust a) Kask b) Mänd .....	65
Joonis 35. Lamelltüübel seotise diagonaalse tõmbekatse tulemused .....	65
Joonis 36. Rööptappseotisele mõjuvad diagonaalse tõmbekatsetusel .....	66
Joonis 37. Rööptappseotise katsekehad peale tõmbekatsetust a) PLP b) Valchromat .....	67
Joonis 38. Rööptappseotise diagonaalse tõmbekatse tulemused .....	67
Joonis 39. Kasepuidust seotiste diagonaalse tõmbekatse tulemused.....	69
Joonis 40. Männipuidust diagonaalse tõmbekatse tulemused .....	70
Joonis 41. MDF-i purunenud kiud 32x suurendusega.....	70
Joonis 42. MDF-ist seotiste diagonaalse tõmbekatse tulemused.....	71
Joonis 43. a) Valchromat rööptappseotises b) Valchromati ristikiu suurendus 32x .....	72
Joonis 44. Valchromatist seotiste diagonaalse tõmbekatse tulemused.....	72
Joonis 45. Murdunud PLP ristikiud 32x suurendusega .....	73
Joonis 46. Puitlaastplaadist seotiste diagonaalse tõmbekatse tulemused .....	74
Joonis 48. Indeksite korduvus kõigi katsete ulatuses .....	107



# TÄHISTE JA LÜHENDITE LOETELU

## Katsekehad:

*SM [nr.] – Sileservseotisest katsekeha männipuidus [katsekeha number]*

**E** - Eerungseotis

**P – PLP**

**F - MDF**

**R** - Rööptappseotis

**K** - Kasepuit materjal

**S** - Sileservseotis

**L** - Lamelltüübelseotis

**T** - Tüübelseotis

**M** - Männipuit materjal

**V** - Valchromat

**MDF**- Medium Density Fiberboard

**PLP** – Puitlaastplaat

## Mõõtühikud:

**kgf** - Kilogramm jõud

**kN** - Kilonjuuton (1N= 1000kN)

**M<sub>0</sub>** - Katsekeha mass 0% niiskusega (g)

**MPa** - Megapascal (1 MPa=1 N/mm<sup>2</sup>)

**N** – Njuuton (10N = 1.01971621 kgf)

**PVA** - Polüvinüülatsetaatliim

**ρ** - Tihedus

**W** - Materjali absoluutne niiskus %

## SISSEJUHATUS

Mööblitööstuses on oluline ja tihti aegavõttev etapp iga puitühenduse jaoks parima seotise leidmine. Valiku tegemisel on oluline seotise tase: see peab olema tehnoloogiliselt kiirem, väheste operatsioonidega, odavam toota ja kvaliteetsem. Mööblitooted koosnevad detailidest, koostudest, sõlmedest ja elementidest, mis ühendatakse omavahel väga erineval viisil. Seotise konstruktsiooni õigest valikust sõltub toote vastupidavus, tema vormipüsivus ja pikaajalisus. Siinkohal mängib ka suurt rolli materjal, mida tootes kasutatakse. Mööblitööstused on hakanud kasutama üha rohkem plaatmaterjale, mis arenevad suure kiirusega. Nende kasutamiseks ei ole aga otstarbekas kasutada samu seotisi kui puitmaterjalides - on oluline leida kõige efektiivsem seotis kasutatava materjali jaoks. Eckelman ja Munz mainivad oma 1987. aasta artiklis, et toote tugevust ja vastupidavust mõjutab kõige rohkem tootes kasutatud seotis. (Eckelman & Munz, 1987)

Käesoleva magistr töö eesmärk on uurida erinevate materjalide mõju seotiste tugevusele ja võrrelda erinevate seotiste efektiivsust. Hüpooteetiliselt peaksid materjalid mõjutama seotiste efektiivsust ehk erinevad seotised peaksid olema mõnedes materjalides efektiivsemad kui teistes.

Materjaliga on seotud terve toote kvaliteet ja vastupidavus, sest ka hea konstruktsioon osutub kasutuks kui materjal seda toetada ei suuda. Seotiste konstruktsioonid on omavahel väga erinevad ja igaks neist on mõeldud kasutamiseks kindlates kohtades ja materjalides. Erinevate tootmistehnoloogiate ja -sideainete tõttu erinevad tänapäeval kasutuses olevad materjalid väga palju oma omaduste poolest. Seetõttu võib eeldada, et seotis käitub materjalides erinevalt.

Seotiste tüüpidest võeti uurimisele viis nurkseotist: sileservseotis, eerungseotis, tüübelseotis, lamelltüübliseotis ja rööptappseotis. Lihtsasti valmistatav sileservseotis valiti seetõttu, et see on kõigi seotiste eelkäija. Eerungseotis on viimase modifitseeritud versioon ja erineb sileservseotisest sellest selle poolest, et ta ei ole mitte täisnurga vaid 45° (aga mõnel juhul ka muu kaldega) nurga all ühendatud. Tüübelseotis kuulub veederseotiste hulka ja on välja arendatud sileservseotisest. Tüübelseotis koosneb puidust tehtud silindrikujulistest puittüüblitest, mis ühendavad kahte pinda omavahel. Lamelltüübelseotis on üks uuemaid veederseotisi ja pakub kasutustiheduse poolest konkurentsi tüübelseotisele. Lamelltüübel on

kuju poolest lapik, õhukene ja ovaalne. Rööptappseotis ehk kastinurkseotis on läbi aegade laialt levinud “pool-poolega” seotis, mis koosneb paljudest ühemõõdulistest tapikeeltest.

Katsetatavateks materjalideks võeti kaks täispuitmaterjali ja kolm plaatmaterjali. Täispuitude seast valiti üks lehtpuu - hajusooneline arukask (*Betula pendula*) - ja üks okaspuu - harilik mänd (*Pinus sylvestris*). Plaatmaterjalide seast valiti laialdast kasutust leidvad keskmise tihedusega puitkiudplaat (MDF) ja puitlaastplaat (PLP), aga ka äsja Eesti turule tulnud Valchromat, mis on ühe Portugali firma *Famalicão da Nazaré* edasiarendus MDF-plaadist. Töö käigus uuritakse nende materjalide omadusi ja võrreldakse neid omavahel.

Erinevate materjalide ja seotiste käitumist ja omadusi uuritakse diagonaalse tõmbekatsete abil. Tankut, Zhang ja Eckelman-i kasutatud katsetusmeetodeid kasutati nii katsekehade valmistamisel kui katsetuste planeerimisel. (Eckelman & Zhang, 1993) (Tankut & Tankut, 2009)

Esimeses peatükis kirjeldatakse materjalide ja seotiste omadusi. Peatükis 1.1 käsitletakse lähemalt seotiste kasutusalasid ja konstruktsioone, peatükis 1.2 käsitletakse materjali omadusi ja nende kasutusalasid, tuues välja nii tootjapoolseid kui kirjandusel põhinevaid tehnilisi andmeid.

Teises peatükis kirjeldatakse töös kasutatud metodoloogiaid ja katsemeetodeid, ja täpsemalt katsekehade valmistamist ja meetodeid. Mõned katsed tehti materjalide täpsemate omaduste määramiseks ja esimeses peatükis käsitletud andmete relevantsuse kontrollimiseks.

Peatükis 3 tuuakse välja kõikide katsete tulemused ja diagonaalsete tõmbekatsete üldised tulemused. Tulemusi analüüsitakse ja võrreldakse omavahel. Lisakatseid planeeritakse seetõttu, et leida seost diagonaalse tõmbekatsete tulemuste ja teiste katsete tulemuste vahel.

Peatükis 4 analüüsitakse seotisi ja materjalide diagonaalse tõmbekatsete tulemusi ja deformeerumist nii seotise tüübi kui materjali vaatepunktist. Tulemusi võrreldakse omavahel, tuuakse välja nende erinevusi ja esinemise põhjusi.

# 1. SEOTISED JA MATERJALID

Käesolevas peatükis kirjeldatakse antud töös kasutatud materjale ja seotiseid. Kirjeldades nende omadusi, konstruktsiooni ja kasutusvaldkondi.

## 1.1 Seotised

Käesolevas töös on välja valitud viis laialdaselt levinud ja kaua kasutuses olnud seotist. Seotiste alusklassi kuuluvad sileserv- ja eerungseotis. Keeltapilistest valiti rööptappseotis tema lihtsuse ja efektiivsuse tõttu. Lisaks veel kaks irdtapilist seotiste tüüpi: tüübel ja lamelltüübel, mis on valitud nende laialdase leviku ja kasutusala põhjal. Kõiki neid seotisi on võimalik kasutada kastiseotistena: näiteks sahtlite, karpide või mööblikarkasside valmistamisel.

Seotised on puutöö aluseks. Ilma nendeta ei ole võimalik luua selliseid tähtsaid konstruktsioone nagu raamid ja karkassid, ükskõik kas täispuidust või tehismaterjalidest. Traditsioonilised seotised on välja arenenud sajandite jooksul ning pakkunud lahendusi probleemidele, mis on tekkinud seoses täispuidu kasutamisega. Lisaks sellele, et seotised tagavad hädavajaliku jäikuse, võivad nad ka dekoratiivsed olla (Davy, 2007: 191). Tänapäevani tehakse paljusid seotisi ikka veel käsitsi, kuid kiiremini saab seotisi siiski valmistada elektriliste tööriistade ja masinatega. Puittoodete detailide, koostute, elementide ühendamiseks kasutatakse mitmesuguseid liiteid ehk seotisi. Seotise konstruktsiooni õigest valikust sõltub toote vastupidavus, tema püsivus ja pikaajalisus.

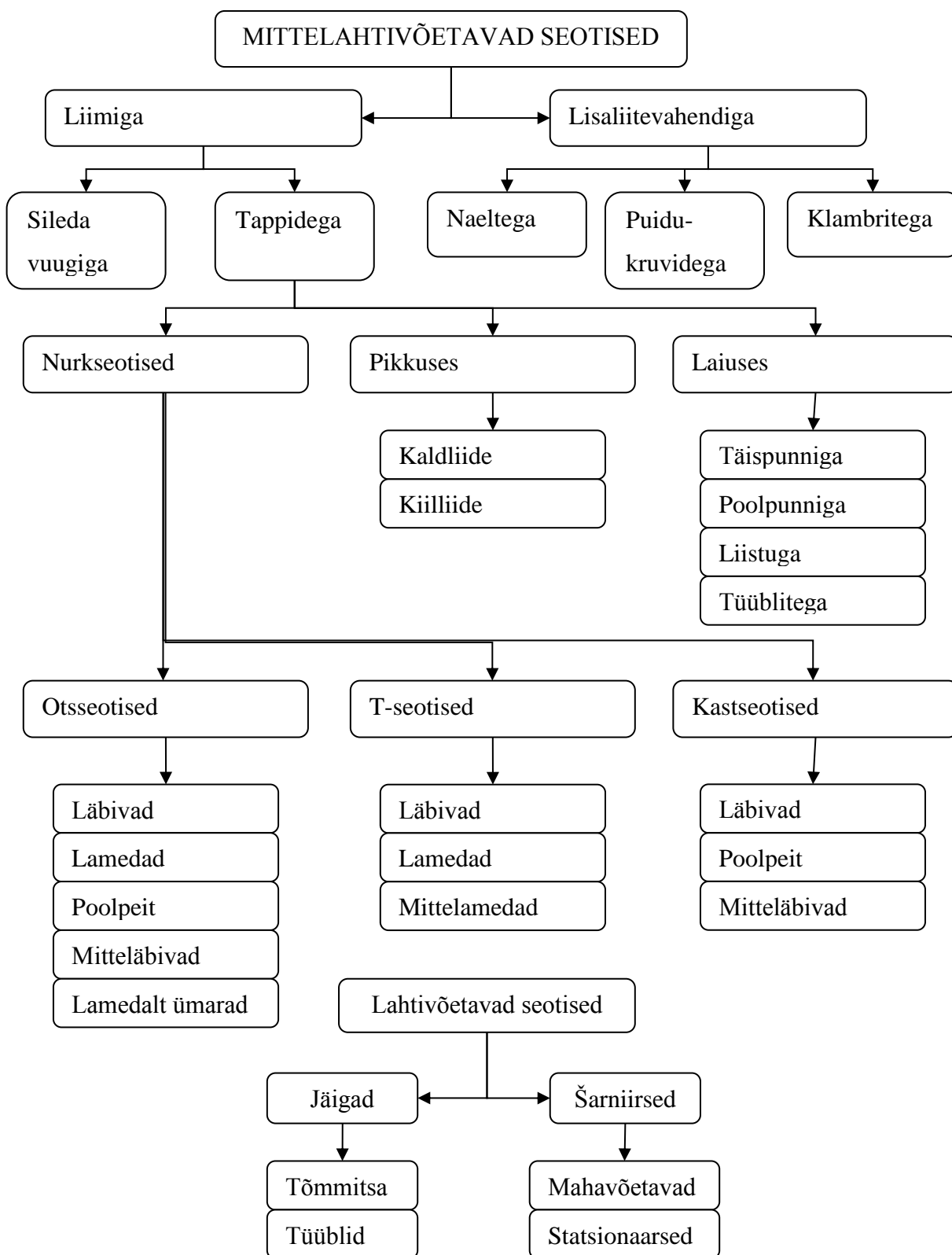
Mööblitooted koosnevad detailidest, koostudest, sõlmedest ja elementidest, mis ühendatakse omavahel väga erineval viisil. Seotise konstruktsiooni õigest valikust sõltub toote vastupidavus, tema vormipüsivus ja pikaajalisus. Kõik ühendused jagatakse kahte suurde rühma: lahtivõetavad ja mittelahtivõetavad seotised (vt joonis nr 1). (Kiisk, 1989: 12)

Mistahes konstruktsiooni puhul, kus puitosad ühinevad tavalisel viisil, on kolm võimalust neid ühendada: mehaaniliselt, liimiga või nende kahe viisi kombinatsiooni abil. Kõiki puiduosade ühendusi ei saa veel seotisteks nimetada, kuid seotised on nendest lihtühendustes välja arenenud vastavalt materjalile, konstruktsioonile ja nõudmistele välimuse suhtes (Noll, 2002: 10). Seotiste kujundamist mõjutavatest vastupidavusnõuetest on kõige tähtsamad

koormused ja nende põhjustatud pinged. Lisaks sellele on tähtsust ka puidu kvaliteedil, erinevate osade ühendamise võimalustel ja valmistamise viisil. Eriti ohtlikud on jõud, mis puitu lõhestavad. Puidu omadused erinevates kiusuundades ja teised konstruktsioonilised tegurid mõjutavad ka seotiste kujundamist. Seotiste seisukohast tuleks arvestada järgnevaid tegureid:

- Seotis peab olema masinate abil kiiresti valmistatav;
- masinatöö operatsioonide arv võimalikult väike;
- Seotised peavad tagama toote vastupidavuse.

Seotised peaksid olema standardsed või laialdaselt kasutatavad. (Isomäki, *et al.*, 2007: 156):



**Joonis 1.** Lahtivõetavad ja mittelahvõetavad seotised

### ***1.1.1 Seotiste elemendid***

Iga puitdetaili seotis koosneb vähemalt kahest põhielemendist, mis on mehaaniliselt või pindade kokku-liimimise abil liidetud. Viimasel juhul on "ühendavaks" elemendiks liim. Keerulisema seotise elemendid võivad muutuda või lisanduda seotise tugevuse suurendamiseks või konstruktsiooni täiustamiseks, kuid põhikomponendid jäävad samaks. (Noll, 2002: 12)

Põhimõtteliselt võib need elemendid jaotada kahte liiki. Saetud elemendid moodustatakse ühe lõikega tooriku otsale või küljele kas käsisaega või siis saagpingis. Saetud element - täisnurkne või kaldne - ühendatakse vastaspoolega, moodustamaks servseotisi, eerungi, kuuetahulisi karpe ja muid tooteid.

### ***1.1.2 Seotise valik***

Mõned asjatundjad arvavad, et konstruktsiooniline lahendus vajab projekteerimist, teised on aga vastupidisel arvamisel. Tegelikult tuleb kasutada mõlemat meetodit sõltuvalt ülesandest. Puittoote konstruktsioon määrab kasutatavad seotised, kuid samas tuleb vältida seotisi, mis muudavad konstruktsiooni nõrgemaks.

Enne kui puitdetailid omavahel konstruktsiooniks ühendatakse, tuleb analüüsida seotistele mõjuvaid jõudusid. Piisab sellest, kui tiseril teab seotisele mõjuvaid jõudusid ning nende tasakaalustamisest. Konstruktsioonile mõjuvaid jõude võib hõlpsasti ette aimata ning valida nende järgi õige seotis. (Noll, 2002: 18)

Seotise valikut mõjutavateks teguriteks on praktilisus, hinnaklass ja esteetiline välimus. Mõnedes konstruktsioonides on rõhutatud seotise tugevust; teises on tähtsam esteetiline välimus ja seotiste konstruktsiooniline külg on peidetud. Keeruliste seotiste konstrueerimine on aeganõudev töö ja alati pole see õigustatud, ei vastupidavuse ega ka hinna vaatepunktist. Nähtavate ja peidetud seotiste laiast valikust võib leida iga maitset rahuldava lahenduse. Seotiste rakendamine koos puidu valikuga võib seada kogu disaini keskpunkti tähtsaima elemendina puidukiudude suuna ja selle joonise näitamiseks või konstruktsiooni rõhutamiseks, muutes puidu kiudude suuna teisejärguliseks elemendiks. Majanduslikust vaatepunktist on eksklusiivsed esteetilised lahendused tavaliselt vastunäidustatud, kuna need on seotud keerulisema tehnoloogia ja puidu suurema kuluga. (*Ibid.*: 18)

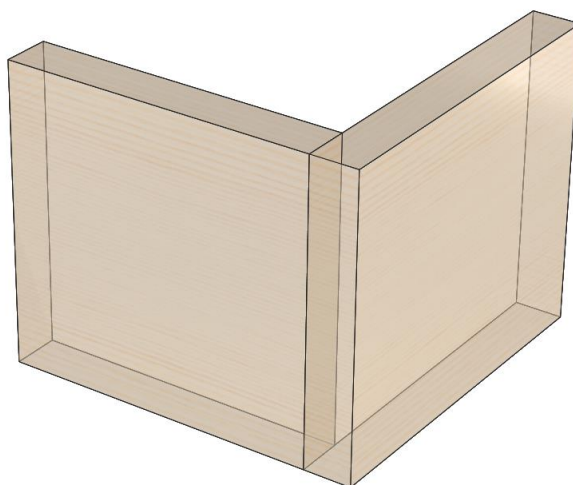
### 1.1.3 Sileservseotis

Sileservseotis (ingl *butt joint*) (joonisel 2) on kõige lihtsamat tüüpi ühendus, mille puhul detaili ühendatavale pinnale ei tehta mingeid sisselõikeid. Selline seotis on suhteliselt nõrk ning seetõttu tugevdatakse seda sageli liistu ehk veedri abil. Täisnurkseid silenurki kasutatakse kergete raamide ja väikeste karpide tegemisel. Ühendatavad pinnad võivad olla täisnurksed või eerungnurgad. (Jackson & Day, 2005: 238)

Sileservseotisi on võimalik väga kiiresti valmistada, sest piisab esmasest materjali töötlustest. See on väga levinud plaatmaterjalide, eriti MDF-i juures.

Sileservseotise lahendust saab kasutada erinevatel viisidel. Laialdasemalt levinud on ta küll liimkilpide valmistamisel, kus serviti jätkatakse lamelle. Alati tuleb silmas pidada, mis pinnad on omavahel ühendatud, kas siis: otspinnad, külgpinnad või ots- ja külgpind koos. Viimase lahenduse puhul ühe detaili otspind mõjutab teise detaili külgpinda. Mõlemale saab määravaks nende laius ja nende vahel olev liimitav pind, kuid seotise jõud oleneb külgpinnast. Külgpinnalt jõudu rakendades kisutakse puidu pikikiude välja; otspinnalt seda ei juhtu. (Saar, 2012: 24)

Sileservseotise vastupidavus ja tugevus sõltub olulisel määral tema liimitava ala pindalast ja kiudude suunast. Sellest lähtudes on välja arendatud ka palju analoogseid seotiseid. Liimitava pinna ala suurendamiseks ja kiudude suuna ühtlustamiseks on kasutusele võetud eerungseotis: liimitatavad pinnad on töödeldud nurga all. Enimlevinud on 45° nurga all olev seotis.



**Joonis 2.** Sileservseotis



### 1.1.4 Eerungseotis

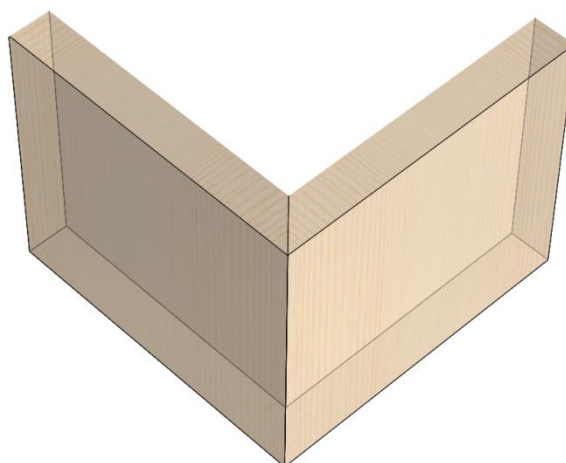
Eerungseotis (ingl *miter joint*) (joonisel 3) kuulub sileservseotisega samasse seotiste klassi. Nendevaheline erinevus seisneb selles, et eerungseotise kiud on samasuunalised ja liimipind on 45° kalde juures 1,4 korda suurem.

Eerungseotise kasutusviise on erinevaid - nendest võib moodustada ruute või rohkema tahkude arvuga kujundeid. Ühenduse tugevdamiseks võib lisada veedreid, siduslappe, liblikühendusi või ristiläbivaid tüübleid. Samuti ei ole vahet, mis suunaga osi kokku liimitakse: kas piki või risti. Pikieerungseotisega on võimalik saavutada peaaegu ümaraid pindu või mistahes kujundeid. Valmistamine on väga lihtne - detailid saetakse või freesitakse vajaliku nurga alla.

Kombineerides ainuüksi siduslappe eerungseotisesse võib kokku saada väga laia sortimendi seotisi. Eerungseotis on samuti levinud laialdaselt ka paljudes teist tüüpi seotistes, kus eerung annab tavalisele seotisele kas lisaväärtuse või lisatugevuse. Mõistagi muutuvad seotised järjest keerulisemaks. Eerungseotist on võimalik kombineerida peaaegu kõikide seotistega. Seda tehakse peamiselt kolmel põhjusel:

- soovitakse suurendada liimi pinda;
- soovitakse muuta seotisele mõjuvaid jõujooni;
- esteetilise välimuse pärast.

Eerungseotiste juures on tähtis jälgida ka materjalide niiskust ja kui pikk aeg on kokku liimise ja lõikamise vahel. Kui tipud on õhukesed, siis kuivavad nad kiiremini ja hiljem liimimisel ei pruugi välimised servad omavahel kokku minna. Kui niiskus on suurem välisküljes ja otstes siis võib seotise sisekülge tekkida lõhe. (Marra, 1992: 238)



**Joonis 3.** Eerungseotis

### 1.1.5 Rööptappseotis

Rööptappseotis (ingl *slipcorner joint/ boxfinger joint*) (joonisel 4) , mida nimetatakse ka kastinurkseotiseks, sõrm- või kammseotiseks, leiab enamasti kasutust täispuidus. Rööptappseotisi valmistatakse ketassae või mitmesaeteralise saepingi abil. Samuti kasutatakse freesimisel freesiterade komplekteerimist.

Proportsionaalselt on tapid ja pesad kõige ilusamad siis kui nende laius on võrdne tooriku paksusega, poolega tooriku paksusest või siis saetee laiusega. Soovitavad mõõtmed on 6, 8, 10, 12, 14 ja 18 (Kiisk, 1989: 25). Tapikeelte planeerimise skeem on toodud joonisel 5.



**Joonis 4.** Rööptappseotis

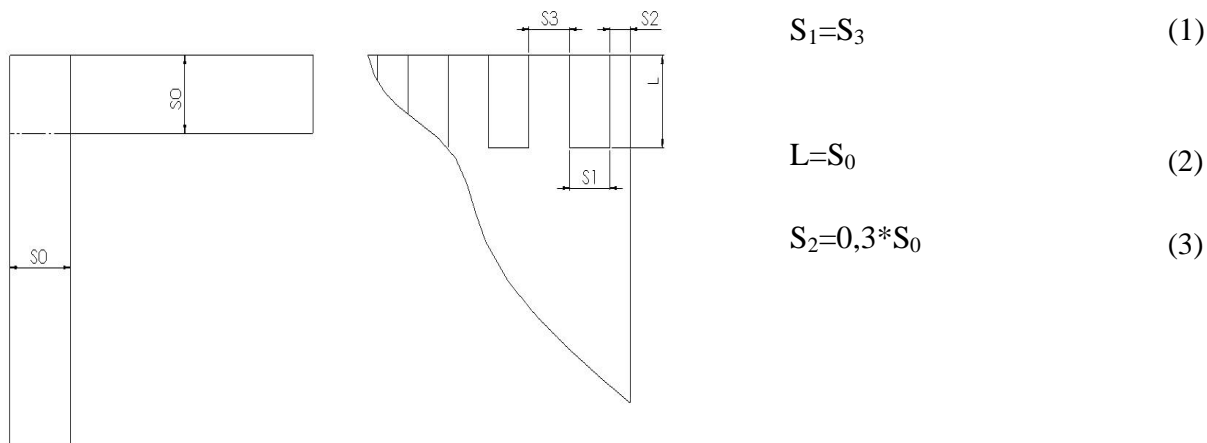
Just nagu servseotise puhul, võib ka rööptappide saagimisel väljuv saag serva ära lõhkuda. Kastinurka saetakse pikikiudu, mitte ristikiudu nagu servseotist, seetõttu lõhutakse vaid välisserva, mitte mõlemat serva. Üheks probleemi lahenduseks on saetee ette lõikamine alumisele pinnale (nt 1,2mm soon), mis peaks lõhkumist oluliselt vältima (Noll, 2002: 55). Vahel aitab välisserva lõhkumist vältida tugiklots, läbi mille saetakse. Tugiklots toetab lõigatavat detaili lõiketera väljumisel materjalist. See viis küll paksendab lõigatavat materjali, kuid hoiab tihti ära detaili murenemise.

Rööptappseotist kasutatakse põhiliselt tööstuslikes puitkonstruktsioonides. Rööptappseotis on peaaegu sama tugev kui kalasabatapp, kuid seda on palju lihtsam valmistada. Kui ettevõtte on sellele spetsialiseerunud, siis on ollakse võimelised valmistama seda seotist kiiresti.

Tihti peale tehakse sellist seotist freesimisega, kuid sellisel juhul on probleemiks valmistatava seotise kõrgus. Kui kõrgus on väike siis ei ole freesimine probleem, kuid on juhuseid, kus on füüsiliselt võimatu tappe freesida, kuna laius on liiga suur. Sellisel juhul tehakse seda saagimise teel. Tavalise universaalsaega on seda tülikas teha, sest on vaja teha palju sisselõikeid ja hiljem soonepõhju eraldi töödelda. Alati on soovitatav ka jälgida, et tappide põhjad tuleksid veidi sügavamad kui detaili paksus. Ülearused tapi otsad saab hiljem hõlpsasti ära lihvida. Vastasel juhul võib jääda pikkusest puudu ja kasti serva jäävad lohud, mida on

palju raskem likvideerida kui pool millimeetrit välja ulatuvaid tapi otsi. Hästi tehtud seotis näeb ka palju parem välja. Joonisel 5 on toodud rööptappseotise planeerimise skeem.

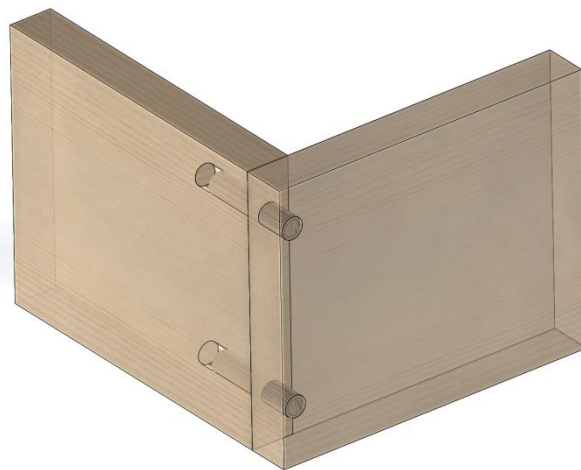
Tapikeeli ja pesa saab arvutada järgmiste valemitega: (Kiisk, 1989: 25)



**Joonis 5.** Rööptappseotise planeerimise skeem

### 1.1.6 Tüübelseotis

Mööblitööstuses enim kasutatud seotiseks on kujunenud tüübelseotis (ingl *dowel joint*) (joonis 6). Puittüüblid on silindri kujulised pulgad, mida kasutatakse irdtappidena puitdetailide ühendamiseks. Tüüblipesadeks on omavahel kokkusobivad puuritud augud. Tüüblid asendavad tappühendusi või kindlustavad seotisi. (Saar, 2012: 56)



**Joonis 6.** Tüübelseotis

Tüüblid on olnud erinevates ühendustes kasutusel juba väga pikka aega. Vanasti kui metallpuure ei olnud alati võimalik kasutada, valmistati tüüblid neljakandilised ning tüübliavad uuristati peitliga. Ilma masinateta oli selliste seotiste tootmine palju aeganõudvam. Palkmajade seinad ühendati puitnaaglite abil, aga tüübleid on kasutatud ka katuse ehitusel erinevate jõudude ülekandmisel. Tüübleid on kasutatud ka sildade konstruktsiooni elemendina, kus vastupidavus erinevatele jõududele (nii füüsilistele kui keskkonnast tulenevatele) on äärmiselt oluline. Tüüblite, nagu ka kõigi muude

seotiste kasutamine oleneb tootmisprotsessi vajadustest. Kui tüübleid kasutatakse jõudude ühelt detaililt teisele üle kandmisel, peab tüübel paiknema väga tihedalt, et ühendus oleks vastupidav. Seega peavad tüübli läbimõõt ja ava olema väga täpsete mõõtudega.

Maaletoodavad tüüblid on enamasti kas kasest või vahtrast. Pikkused võivad olla mitmesugused. Puittüüblite läbimõõdud ulatuvad 6-12,5 millimeetrit. Tüübliotsad on faasiga, et neid oleks lihtsam sisse torgata ja et augu põhja mahuksid puurimisjääd ja liim. Tüübli sisselöömine võib olla nagu kolvi liikumine silindris, surudes kokku augus oleva õhu ja liimi. See raskendaks koostamist ja võiks detaili isegi vigastada. Selle vältimiseks on tüüblite pinnal sirged või spiraalsed sooned. Tüübelseotiste tugevuse üle on palju vaieldud. Kuigi tüüblid ei asenda tappseotisi, on läbimõeldud konstruktsiooni korral seinale kinnitatud kappide tüübelühendustel samad võimalused puidu "mängimisele" vastu pidada kui mistahes muul seotisel. Tüüblid on valmistatud puidust, sellepärast alluvad nad samadele seaduspärasustele ja mängimistele nagu muud puitdetailid. Olenevalt puidu kiudude suunast võib tüübelühendus olla piisavalt tugev, kuid puidu mängimise ja nihke tõttu ka vastuoluline ja nõrk. (Saar, 2012: 56)

**Tüüblite kasutamisel** on mõtet siis kui seotis pole disaini oluline osa ja kui seotisele mõjuvad jõud ei rakendu tüüblitele. Tavaliselt on tüübelseotises sileservkontakt, mistõttu ei ole vaja konstrueerida keerulisi tappseotisi ja piisab lihtsast toorikute liitmisest. Seega nõuab tüübelseotis ainult seda, et detailid asetuksid teineteise suhtes täisnurkselt ning ka tüübliaugud oleksid kohakuti ja pindadega risti. Tüübliaukude korralikuks puurimiseks on olemas mitmeid rakiseid. Nende põhiomadused on väga erinevad, kuid nende põhiline funktsioon on moodustada konstruktsioon, mis sobib puuri läbimõõduga ja juhivad puuri nii, et see oleks puidu pinnaga risti. Tavaliselt kujutavad need rakised endast avade rida. Selle tulemusena tekib aukude rida piki puiduserva või otsa. Täiuslikumad rakised tsentreerivad augud automaatselt sümmeetriliselt detaili keskkonna suhtes, lähtudes laua ühest servast. Tavaline seadistamine lähtub aukude asetuse määramisel laua küljest või servast. Rakistel on märgised, mis aitavad määrata aukude rea keskkoha. See võimaldab vastavalt aukude üle kanda teisele toorikule nii, et nende paiknemine sobiks esimese toorikuga. Mõned rakised ei lähtu aukude määramisel keskkohast, vaid esimeses augus olevast tüüblist. Teised aga hoiavad toorikuid kõrvuti ja vastavaid auke puuritakse paarikaupa. Vaid vähesed rakised lubavad puurida enam kui üks või äärmisel juhul kaks auku korraga. Tavaliste puurimiskarkasside puhul pole esikohal tootlikkus, vaid paindlikkus, tänu millele neid saab kasutada erinevate mööblikarkasside

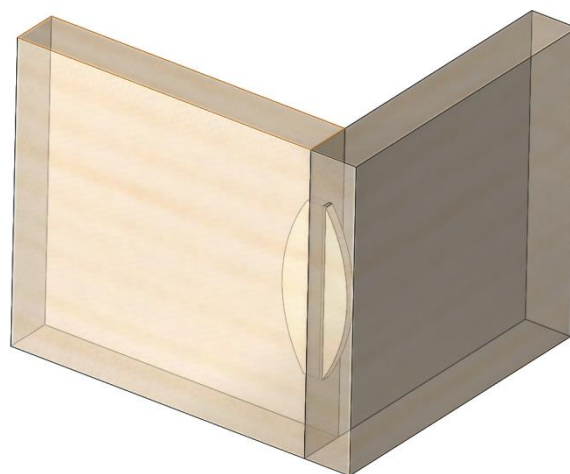
koostamisel. Peaaegu iga puutöömeister saab hakkama läbiva tüübelühenduse puurimisega, asetades toorikud koostamisasendisse. Läbiva ühenduse puhul saab väljaulatuvad tüübliotsad maha saagida ja katta nuppude või liistudega. (Noll, 2002: 155)

Mööblitööstustes kasutatakse tüübelühendusi väga palju, sest seda on kiire valmistada ja need on hea vastupidavusega murretele ja nihetele. Tüübleid ei ole otstarbekas kasutada ühendustes, kus tõmbejõud mõjub tüüblite pikiteljesuunaliselt. Tüübelühendusi kasutatakse tänapäeval peamiselt plaatmaterjalidega töötamisel, kuid need on väga efektiivsed ka täispuidu puhul. Tüübleid kasutatakse peamiselt plaatmööbli valmistamisel (nt kapid, riulid, lauad). Plaatmööbli puhul võib probleemiks olla, et tüübelühendus on tugevam kui plaatmaterjal selle ümber. Plaatmaterjal on enamasti tüübliavade kohal veidi nõrgestatud ja suurema löögi tagajärjel võib tüüblite ümber asuv plaatmaterjal puruneda. Enamasti jääb tüübelseotis terveks, ainult materjal puruneb. Selle ära hoidmiseks tuleb valida õige paksusega plaatmaterjal või siis vastava läbimõõduga tüübel. Autoril on isiklikke kogemusi ühe firmaga, mis toodab uksi ja aknaid. See firma oli uste tegemisel keeltapid tüüblite vastu täielikult välja vahetanud. Firma kasutas uksepuul 100-mm keeltapi asendamiseks kahte 16-mm läbimõõduga tüüblit, tapi laienedes vahel isegi kolme. Firmas väidetakse, et siiani ei ole sellest probleeme tekkinud ja ühendus on piisavalt tugev. Tootlikkus on tõusnud, sest uste puudele tüübliavade puurimiseks kasutatakse mitmespindlist puuri.

Mööblitööstuses kasutatakse tüübliavade puurimiseks ka mitmespindlilist puurpinkki. Mitmespindlilisel puurpingil on mitu puuripead, mis korraga töötavad, ehk siis saab puurida palju auke korraga. Puuripead ise on enamasti 32mm astmega. Enamasti saab mitmespindlilise puurpingiga puurida nii horisontaalselt kui ka vertikaalselt. See võimaldab pingiga töödelda vastavalt vajadusele palju erinevaid detaile.

### 1.1.7 Lamelltüübelseotis

Lamelltüübelseotis (ingl *biscuit joint*) (joonis 7) on suhteliselt uus puiduseotiste valmistamise meetod. Seda hakati kasutama vineerist ja puitlaastplaatidest detailide ühendamiseks, kuid tänapäeval on see leidnud kasutamist ka täispuidu valdkonnas. Lamellid kujutavad endast õhukesi kasepuidust pressitud kettaid, mida kasutatakse detailide ühendamiseks samal põhimõttel nagu irdtappe, tüübleid ja sulundeid.



**Joonis 7.** Lamelltüübel seotis

Lamelltüübelseotiste valmistamiseks kasutatakse kergelt kaasaskantavat elektritööriista, nn plaadi-lamellifreesi, mis näeb välja nagu kõvasulamhammastega saekettaga varustatud nurklihvija. Selle seadme peamine funktsioon on kalibreeritud pilude lõikamine ühendatavatesse toorikutesse. Igasse pilusse mahub täpselt pool vastava suurusega lamelli. (Noll, 2002: 164)

Lamellid valmistatakse kokku pressitud kasepuidulõikudest, mille kiusuund on diagonaalne. Standardseid lamelle, mis on sobivad kõigile lamellifreesidele, valmistatakse kolmes suuruses: 0, 10 ja 20. Kasutatakse ka suuremaid ja päris väikesi lamelle. Sulundlõikurid, mida kasutatakse koos freeseseadmetega, freesivad pilusid spetsiaalsetele ümmargustele lamellidele. Lamellide liimimiseks kasutatakse vesialusel liime, näiteks PVA-liime. Koostamisel paisub lamell pisut niiskuse tõttu, mille tulemusel kinnitub ta tugevamini pilusse. Toodevatate lamellifreeside mudelid pakuvad mitmesuguseid valikuid. Tavaliselt erinevad üksikud tüüblid valikute ja juhiku seadistuste ning eeringseotiste valmistamise võimaluste poolest. Enamik lamellifreese kasutab seadme juhiku tugipinnana pilu lõikamisel puitmaterjali külge või otsa. Juhiku ja ketta vaheline kaugus on teatud ulatuses seadistatav. Kõige parem süsteem kõrguse seadistamiseks on hammaslattelätkanne, mille abil juhik liigub olenevalt puidu paksusest üles ja alla, kuigi praktikas kasutatakse peamiselt mõningaid standardpaksusi. Juhiku nurka saab soonestatava pinna suhtes seada risti (katte-, nurk ja T-seotiste valmistamiseks) ja 45° alla eeringseotiste lõikamiseks. Mõningate mudelite puhul on võimalikud mistahes nurgad. Neid

läheb vaja kaldseotiste töötlemiseks. Seadme tugipinnana saab kasutada ka tema enda tasast aluspinda. (*Ibid.*: 164)

**Lamelltüübel-raaminurk.** Lamelltüübelseotiste populaarsuse põhjus on nende tegemise lihtsus. Seotiste märkimine ei nõua suurt täpsust, tööriista seadistus on lihtne ja seotise valmistamiseks kulub vaid mõni minut. Lamellifreesidega töötamine on ohutu. Toorik varjab alati saeketta ning põhjal olevad sissetõmmatavad tihvtid või kummielemendid ei lase seadmel ära libiseda. Sõltumata seotise tüübist on pilude lõikamine põhimõtteliselt samasugune. Tuleb lõigata toorikud mõõtu ja hoida neid käsitsi või pitskruvide abil koostamisasendis. Kuna lamellid saavad seotise koostamise ajal külgsuunas liikuda, ei pea pilude lõikamine olema väga täpne. (Noll 2007: 166)

Lamelltüübel-raaminurga koostamiseks luuakse kaks pilu, kus üks on detaili servas ja teine teise detaili otpinnal. Sinna sisestatakse lamell. See seotis meenutab keelega raaminurka. Selle tegemine on rekordiliselt kiire, kuigi seotis ei ole nii tugev kui on tapikeelega seotis.

Lamellidega saab jäljendada peaaegu kõiki seotisi, nagu ka tüübelühendusega. Lamellidega saab servseotisi või servnurkseotisi teha lihtsamalt kui teiste meetoditega ja ei ole oluline kui pikka materjali ühendatakse. Lamellide arv seotises oleneb detailide laiuusest. Lamellide vahele jäetakse enamasti vähemalt 5-10 mm. Lamellimasinat on kiire seadistada ja lamelliavasid kiirem saagida kui tüübliavasid, kuid Lamelltüübelseotis ei sobi masstoodanguks. Eritellimusmööbli puhul on see laitmatu abiline, kuid masstootmises jääb lamelltüübelseotis tüübelseotistele alla.

## 1.2 Materjalid

Selles peatükis tutvustatakse käesolevas töös välja valitud 5 erinevat materjali, igaüks nendest esindab ühte tüüpi puitu. Lehtpuudelitest valiti üks hajusooneline puit, kask (*Betula pendula*). Oksapuidulistest valiti palju levinud puu, mänd (*Pinus sylvestris*). Laastplaatidest valiti puitlaastplaat. Kiudplaadilistest valiti „Medium density fiberboard“ ja Valchromat - tänu tema laialdasele paksuse valikule.

Kõik valitud materjalid on omaduste poolest väga erinevad. Plaatmaterjalid erinevad eriti oma tootmistehnoloogiate poolest. Omaduste erinevust on näha materjalide tehnilistest andmetest.

### 1.2.1 Arukask

Arukask (*Betula pendula*) on maltspuiduline ja hajusooneline lehtpuu. Punakas- või kollakasvalge, võib esineda tumepruuni väärlülipuitu. Aastarõngaste piirjooned on eristatavad. Sooned on ristlõikes nähtavad heledate täppidena. Säsikiired on kitsad, radiaallõikes nähtavad lühikeste kitsaste ribadena, teistes lõigetes pole nähtavad. Väärsäsisid on rohkesti, pikilõikes on need nähtavad tumepruunide joonte, ribakeste või täppidena. Mõnikord võib puit tüükaosas olla laineliselt salmiline (nn jääkask või lekkask). Puit on raske, kõva, tugev, hästi poleeritav, halvasti lõhestatav. (Sibul, 2009: 110)

Arukask on, eriti noores eas, kiirekasvuline ja väga valgusnõudlik, kuid mullastiku suhtes vähenõudlik. Kasvab harilikult 20-30 meetri kõrguseks. Vanemate arukaskede vanus küünib 150-250 aastani. (Eesti Entsüklopeedia, 2012)

Arukase puit on valge, veidi kollaka varjundiga, kõva, sitke, hästi poleeritav, tihedus 0,64 g/cm<sup>3</sup>. See on kiirekasvuline puuliik, eriti noorena (5...25-aastaselt). Kõrguskasv pidurdub alates 60. eluaastast. Puude vanus ulatub umbes 200 aastani. (Sibul, 2009: 110)

Arukask on levinud Euroopas (v.a põhja- ja lõunapoolseimad alad) ning Lääne-, Kesk- ja Ida-Siberis. Lehtpuudest on kask kõige laiema levikuga. Kask moodustab 31% puistute pindalast (647600 ha) ja 22,9% kasvava metsa tagavarast. Kaasikute keskmine vanus on 47 aastat ja keskmine hektaritagavara on 185 m<sup>3</sup>, aga võivad saavutada kuni 35 meetrise kõrguse ja enam kui 400 m<sup>3</sup> hektaritagavara. Kask kasvab parasniisketes ja niisketes viljakates ning keskmise viljakusega kasvukohtades ning madalsoodes. Liigiliselt on kaasikutes kõige rohkem aru- ja sookaske, kuid metsanduses neid liike ei eristata. Sookask kasvab märjematel aladel,



moodustades puhtpuistuid või kasvab koos sanglepa või männiga. Arukask eelistab parasniiskeid kasvukohti; kasvab puhtpuistuna, kuid sageli moodustab segapuistuid kuuse, haava, männi ja hall-lepaga. Kaasikud saavutavad harva kõrgema vanuse kui 100 aastat, küündides maksimaalselt 120 aastani. Kase aastane juurdekasv on 3,2 mln m<sup>3</sup>. (Pärt, 2011)

**Tabel 1.** Kase omadused (Saarman & Veibri, 2006: 244)

<b>Kase omadused:</b>	
Tihedus õhkkuivalt	630...670kg/m <sup>3</sup>
Kahanemine	14,20%
Tõmbetugevus	137 MPa
Survetugevus pikikiudu	54...60 MPa
Paindetugevus	107...123MPa
Elastsusmoodul	13 000... 15 000 MPa
Janka kõvadus	Otspinnal 460, radiaalpinnal 420

Peamist kasutusala leiab kasepuit vineeri-, mööbli-, paberi-, suusa- ja keemiatööstustes, aga ka ehitus- ja küttepuiduna ning trei- ja nikerdustöödel jm. Kasepuidust saadakse ka puidusütt, äädikhapet, metüülpiiritust ja sülitooli. Kasetohust toodetakse kasetõrva ehk tõkatit. Kase tüvel esinevate laineliste puidukiududega pahasid on väga hinnatud käsitöömaterjal. (Sibul, 2009: 110)

### **1.2.2 Harilik mänd**

Mänd on üle maailma üks levinumaid puiduliike. Männilisi on palju eri liike, mille põhjuseks on tema laialdane leviala. Põhja-Euroopas ja Eestis on üks levinumaid männilisi just harilik mänd (*Pinus sylvestris*).

Mänd on lülipuiduline puu, malspuit on lai, valkjast kuni kollakas, kollakas- või punakaspruun lülipuit hakkab tekkima pärast 40. eluaastat. Seistes puidu värv tumeneb. Aastarõngad on ebakorrapärased ja hästi nähtavad. Puit on vaigukäikude rohkuse tõttu väga vaigune. Iseloomulikud on vertikaalsed (nähtavad puidu ristlõikes valgete täpikestena) ja horisontaalsed vaigukäigud (0,1 mm), mis on omavahel ühendatud vaigu-käigud. Vaigukäike leidub ka koores ja okastes, kuid need pole ühenduses puidu vaigukäikudega. Puit on kerge, pehme, kriimustustele keskmiselt vastupidav, kuid löökkoormusele vähese vastupidavusega.

Kõrgus kuni 50 m, eluiga kuni 800 a. Eesti kõrgeim harilik mänd asub Järveljal ja on 46 m kõrgune. (Sibul, 2009: 40)

**Tabel 2.** Mäni omadused. (Saarman & Veibri, 2006: 260)

<b>Mäni omadused:</b>	
Tihedus õhkuivalt	480...530 kg/m <sup>3</sup>
Kahanemine	12,40%
Tõmbetugevus	104 MPa
Survetugevus pikikiudu	47 MPa
Paindetugevus	87MPa
Elastsusmoodul	10 000... 12 000 MPa
Janka kõvadus	Otspinnal 300, radiaalpinnaal 250

Mändi on kerge lõhestada, töödelda ja kuivatada. Lülipuit on vastupidav, maltspuitu on kerge immutada (Saarman & Veibri, 2006: 259). Hästi töödeldav, poleeritav, peitsitav ja immutatav hinnaline puit leiab kasutust ehituses, mööbli-, lennuki- ja laevatööstuses, tugipuudena kaevandustes, raud-teeliipritena, telefoni- ja elektriliinipostidena jm. Männiivaigust toodetakse tärpentini ja kampolit. (Sibul, 2009: 40)

### ***1.2.3 Medium Density Fiberboard***

Keskmise tihedusega puitkiudplaat ehk MDF-plaat (ingl *Medium Density Fiberboard*) on välja töötatud Ameerika Ühendriikides 1960-ndate aastate lõpul ja 1973. aastal jõudis see tehnoloogia Euroopasse, kuid tõhus läbimurre toimus alles 1990. aastal ning 2004. aastal oli Euroopas tootmisvõimsus ligikaudu 11,9 miljonit m<sup>3</sup>. (Rowell, 2012: 369)

MDF-plaat on puitkiudplaadi ja laastplaadi vahepealne tüüp, mida toodetakse peeneks jahvatatud puiduosakeste sideainega kokku pressimise teel kuivmeetodil. Kiud liimitakse kokku kõrge surve all ja tulemuseks on tihe ning suhteliselt ühtlase koostisega kiudplaat. (Saarman & Veibri, 2006: 214)

MDF on küllaltki ühtlane, kuid kiudude struktuur erineb väliskihtides ja sisekihtides. Väliskihtides on kiud peenemad ja tihedama paigutusega. Sisekihis on kiud natukene laiemad ja hõredamalt paigutatud.

MDF-i saagimisel, freesimisel, puurimisel ning hõõveldamisel jäävad materjali kandid ja pinnad puhtaks, mistõttu ei ole plaadi servi vaja eraldi kantida nagu laastplaatide puhul. MDF-plaate võib värvida ja lakkida ilma eeltötluseta ning selle plaadi suureks eeliseks on see, et plaati saab kõrgel surve ja pressimise teel vormida. Samuti on võimalik plaati katta vineeri, kile või lehtmaterjaliga ning sügavfreesida, mis ei tohiks olla sügavam kui 1/3 plaadi paksusest. (*Ibid.*: 215)

MDF-i on saadaval paksusvahemikus 2-100 mm (Rowell, 2012). Mööblitööstuses on levinumad 12 – 40 mm paksused plaadid. Olenevalt tootjast müüakse ka erinevaid suuruseid. Neist kõige levinum on 2750x1840 mm (Luhpol, 2011).

MDF-plaadi kasutusvaldkond on väga lai, näiteks kasutatakse seda mööbli tootmisel ja tiseritöödel: köökide sisustuse, uste, aknalaudade, liistude, sein- ja laevoodrite jaoks. Üha rohkem kasutatakse MDF-plaati eriotstarbelistel eesmärkidel, näiteks niiskuskindlate vannitoaplaatidena, välisustena ja (eelkõige ehituses) tulekindlate plaatidena, sest MDF sisaldab mittesüttivaid kaitseaineid. (Saarman & Veibri, 2006: 214)

**Tabel 3.** MDF-i omadused (Saarman & Veibri, 2006: 214)

<b>MDF-i omadused:</b>	
Tihedus	640...850kg/m <sup>3</sup>
Kahanemine-paisumine	Pealispinnas 0,25%, paksuses 2,5%
Tõmbetugevus	0,6-1,4 MPa
Paindetugevus	30 MPa
Kruviväljatõmme	600-1200N

**Tabel 4.** MDF-i omadused – (Luhpol, 2011).

<b>MDF-i tehnilised andmed:</b>	
Paksus	16mm
Tihedus	750 kg/m <sup>3</sup>
Pundumine (24h)	12%
Paindetugevus	30 MPa
Siduvustugevus	0,55 MPa
Elastsus moodul	3000 MPa
Paksuse tolerants	±0,2mm
Mõõtmete tolerants	± 2mm/m
Niiskus	4-9%

### **1.2.4 Puitlaastplaat**

Puitlaastplaadid (ingl *chipboard*) ehk PLP-d koosnevad puitlaastudest ja liimist, mis on kokku pressitud kõrge temperatuuri ja surve all. Puitlaastplaatide tööstuslikku tootmist alustati 1950-ndate aastate alguses eesmärgiga ära kasutada puidutööstuse tootmisjäätmel. Peagi avastati, et kasutades plaatide valmistamiseks ühesuguste mõõtmete ja kujuga laaste, võib toota väga erinevaid puittooteid. Näiteks madalakvaliteedilistest väiksema diameetriga palkidest hakati tootma laaste, millest pressitud plaatidel oli märgatavalt suurem tugevus ning kahjuritekindlus. Peaaegu samal ajal alustati ka sünteetiliste materjalide, plastide, tootmist. Nii plast- kui ka puitlaastplaatide areng on 1900-ndate aastate teisel poolel arenenud tohutu kiirusega. Laastplaate toodetakse ühe-, kolme- või enamakihilisena, kusjuures kahe viimase tüübi pinnakihid valmistatakse peenema struktuuriga laastudest. (Saarman & Veibri, 2006: 205)

Puitlaastplaadi valmistamiseks saab ära kasutada väikese läbimõõduga harvendusraietelt saadavaid ümarsortimente ning ka puidu töötlemisjäätmel. Seetõttu on puitlaastplaat palju odavam ehitusmaterjal kui näiteks vineer. Puitlaastplaate on nii ühekihilisi kui mitmekihilisi. Nende erinevus seisneb selles, et ühekihilistes plaatides paiknevad puidu laastud kogu plaadi ulatuses ühtlaselt, kuid näiteks kolmekihilisel puitlaastplaadil sisaldavad pindmised kihid peenemat puidufraktsiooni ja keskmine kiht suuremaid puiduosakesi. Sellisel viisil plaadi tootmine tagab plaadi parema kasutuse ning muudab pinnakihid lihtsamalt töödeldavaks. (Youngquist, 1999: 34)

Puitlaastplaadi omadusi mõjutavad niiskus, aga ka valmistamisel kasutatava laastu suurus, tihedus ning laastu orientatsioon plaadis. Lisaks laastu omadustele sõltuvad puitlaastplaadi omadused ka kasutatava sideaine tüübist ja kogusest. (Kaps, 2010)

Puittooted, nii nagu ka toorpuu, sisaldavad alati teatud hulgal niiskust, mis puidu pinda sisenedes ja sealt väljudes muudab puidu mõõtmeid ja omadusi. Puidupõhiste plaatide peamine miinus lõppkasutuse puhul ongi puidu dimensioniline ebastabiilsus, mis väljendub eelkõige paisumises paksuse suunas (Mantanis, 2010: 237-239). Üldkasutuses olevaid puitlaastplaate ei tohikski seetõttu kasutada tingimustes, kus on ülemäärane niiskus, sest see kahjustab plaadi välimust ja omadusi. Suhtelise õhuniiskuse tõttu muutuvad üldkasutatava puitlaastplaadi lineaarmõõtmed umbes 0,03 – 0,06% ning paksus umbes 0,3 – 0,5% vastavalt 1% -le niiskuse tõusule. Sellest tulenevalt on niisketes tingimustes oluline rakendada

niiskuskindlat puitlaastplaati või eemaldada risk plaadi pinda ja servi pealistades. (EWPAA, 2008)

Niiskuse suurenedes suureneb ka formaldehüüdi eraldus, mis on aga pikemas perspektiivis tervisele kahjulik. Mööblitööstuses kasutatavad puitplaadid peavad üha enam täitma uusi, aina rangemaid nõudmisi seoses vaba formaldehüüdi eraldusega. Järjest rohkem pööratakse tähelepanu formaldehüüdi eraldusele puitlaastplaatide erinevates tootmisetappides, kuna ka puittoote hoiutingimused mängivad lõpptoodetest eraldumises suurt rolli. On leitud seos materjali niiskusesisalduse ja formaldehüüdi eraldumise vahel, kusjuures niiskusesisalduse tõus 0,1% kuni 4,0% tipneb 6-kordse formaldehüüdi eralduse kasvuga (Boruszewski, *et al.*, 2011). Tänapäeval vastavad enamikud puitlaastplaadid E1 emissiooni klassile, mille kohaselt on lubatud formaldehüüdi sisaldus  $\leq 8$  mg/100 g absoluutkuivas plaadis. (Kaps, 2010)

**Tabel 5.** Puitlaastplaatide tehnilised andmed: (Saarman & Veibri, 2006: 205)

<b>PLP omadused:</b>	
Laastu paksus	0,5 mm
Laastu laius	3...15 mm
Laastu pikkus	20...50 mm
Liimi koguseks	4...12% laastu kuivkaalust.
Tihedus	450...750 kg/m <sup>3</sup> .
Paindetugevusele	15...20 MPa
Tõmbetugevusele risti pinnal	0,3...0,4 MPa

**Tabel 6.** PLP omadused – (Koskisen, 2014)

<b>PLP tehnilised andmed:</b>	
Paksus	16mm
Tihedus	600-800 kg/m <sup>3</sup>
Pundumine (24h)	22%
Paindetugevus	11 MPa
Elastsus moodul	1600 MPa
Siduvustugevus	0,35 MPa
Tõmbetugevus	0,8 MPa

Puitlaastplaat on üks enim kasutatavaid aluspindu tööpindade lamineerimisel ja ühtlasi ka üks odavamaid variante mööbli valmistamisel. Seda kasutatakse näiteks sisseehitatud mööbli, kontorimööbli, riulite, kappide, sektsioonide, vooderkatete ning isegi mänguasjade tootmisel. Plaati saab kasutada mitmete rakenduste puhul, kus on nõutud ühtlast paksust, vastupidavust

painetele, pragunemisele ja lõhenemisele. Plaadi pind on vaba oksaaukudest, tühimikest ja muudest pinna ebataasustest. Vastavalt oma omadustele saab puitlaastplaati kasutada nii kuivades tingimustes (P2 plaat) kui ka niiskes keskkonnas (P5 plaat). Kasutusvaldkonnast sõltuvalt on erinevatele puitlaastplaatide tüüpidele määratud standarditega nõuded, millele teatud plaat peab vastama. Sisustuses kasutavad plaadid peavad vastama Euroopa standardile EN 312:2010. (Puitlaastplaadid. Spetsifikaadid, 2010)

### ***1.2.5 Valchromat***

1996.aastal hakkas Valopani tehas Portugalis (*Famalicão da Nazaré*) välja arendama uutset puidu baasil valmistatud materjali, milles lähtuti juba turul olevatest toodetest. 1998-ndaks aastaks töötati välja uudne ja innovaatiline materjal, mis oli puidul baseeruv, paksuses läbiva värvusega, spetsiifiliste omadustega ja tugeva mehhaanilise vastupidavusega. Valchromat sai koheselt innovatiivse tehnoloogia auhinna Pariisi *Approfali* messil. Sellest ajast peale on toode läbinud mitmed tööstuslikud testid, mis võimaldasid materjali täielikult välja arendada. Koostöös tootjate, arhitektide ja tehnikutega on tõestatud materjali tehnilisus ja esteetilisus. Tänu arhitektidele, disaineritele, dekoraatoritele ja puuseppadele on Valchromat jõudnud erinevatesse maailma osadesse ja loonud tugeva edasimüüjate võrgustiku. (Valchromat, 2013)

Valchromat on innovatiivne toode, mis kombineerib puidu naturaalsed omadused, vastupidavuse, värvide erksuse, materjali paindlikkuse ning tugevad füüsilised omadused. Tänu sellele on materjalil mitmeid kasutusvõimalusi nii kolmemõõtmelisel töötlemisel kui erinevate tekstuuride välja arendamisel. (*Ibid.*)

Valchromati aetakse tihti segi MDF-iga. Kuid tootja üritab alati kasutajatele meelde tuletada, et Valchromat ei ole MDF. Valchromat on MDF-i evolutsioon. Valchromati lisaväärtus ei tulene ainult mitmekesisest värvivalikust, vaid silmapaistvatest koostise ja tootmisprotsessi omadustest. Puidu kiud on värvitud läbi materjali paksuse, individuaalselt ja orgaaniliste värvainetega. Materjali kiud on sama tihedusega läbi terve materjali ja need on ühendatud omavahel spetsiaalselt välja töötatud vaikudega, mis annavad Valchromatile tema unikaalsed füüsilised ja mehhaanilised omadused. (*Ibid.*)

Valchromati peamised erinevused värvitud MDF-i suhtes: (*Ibid.*)

- On niiskuskindlam;
- Sisemine kohesioon on suurem: materjal on seega 30% parema mehaanilise tugevusega;
- Võimaldab kolmemõõtmelist töötlemist;
- Parema paindetundlikkusega;
- Vajab viimistlusel vähem töötlemist;
- Tagab lõiketerade vähesema kulumise.

**Naturaalsus:** pinnal on näha väikesi puidukiude, millesse ei ole imendunud orgaanilist värvusainet. See annab Valchromatile tema unikaalse naturaalse väljanägemise. Puit on naturaalne materjal: on tavapärane, et tema värvustoon varieerub. Sellest lähtudes võib ka Valchromatil esineda väikesi tooni erinevusi. (*Ibid.*)

**Viimistlus:** Valchromati saab viimistleda erinevate viimistlusmaterjalidega erinevate tulemuste saavutamiseks mati või läikiva lakiga, värvidega, õlidega, vahadega; poleeritud või tulekindla viimistlusega. (*Ibid.*)

**Taaskasutus:** Valchromati on võimalik taaskasutada plaadi tootmisel. Valchromati tootmisel kasutatakse taaskasutatavatest materjalidest näiteks: männipuidu töötlemisel järgi jäänud saepuru, puidu pelletite või männi puidu hakke jääke. (*Ibid.*)

Valchromatil on CARB 2 sertifikaat, mis kinnitab, et formaldehüüdi sisaldus on alla 0,11 ppm. Formaldehüüdi sisaldus on väiksem kui Euroopa standardi järgi puidul baseeruvatele materjalidele minimaalselt lubatud (E1). (*Ibid.*)

Valchromati toodetakse ilma tootmisjäägita. Koort või biomassi, mida jääb piisavas koguses järgi, kasutatakse aurukatelde kütteks, mis omakorda kuumutab plaadi presse. Tehas kasutab isemajandamise kaudu soojusenergiat ilma fossiilkütuseid kasutamata. (*Ibid.*)

Valopan tehas on võtnud kohustuseks järgida Portugali standardeid (*FSC-STD-40-004, FSC-STD-40-005 and the PEFC Portugal CdR Standardisation*), mis ei luba osta järgmisi puidutüüpe:

- metsaaladelt, kus rikutakse tsiviil- või traditsioonilisi õigusi;
- aladelt, kus loodus on metsamajanduse tagajärjel ohustatud;
- geneetiliselt muundatud puitu (GM);
- puitu ebaseaduslikult tarvitatud metsaaladelt;
- aladelt, kus naturaalne mets on muudetud istanduseks või mõneks muuks metsandusega mitteseonduvaks kasutusalaaks. (*Ibid.*)

Tabelis 7 Valchromati omadused 16mm paksuselt (Sortimendis: 8,12,16,19,25 ja 30mm)

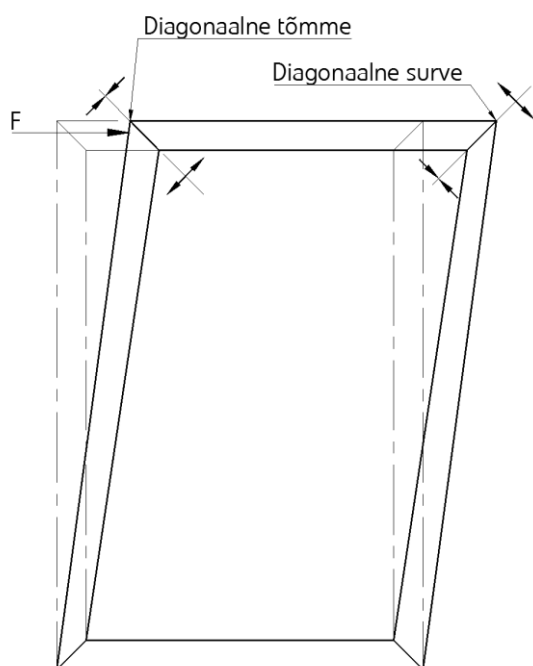
**Tabel 7.**Valchromati omadused (*Ibid.*)

<b>Valchromati omadused:</b>	
Paksus	16mm
Värvus	Hall
Tihedus	800 kg/m <sup>3</sup>
Pundumine (24h)	8%
Siduvustugevus	0,75 MPa
Elastsus moodul	3100 MPa
Paindetugevus	38 MPa
Formaldehüüdi sisaldus	≤8mg/100g



## 2. METODOLOOGIA

Käesolevas peatükis käsitletakse katsekehade valmistamise ja –katsetamise meetodikat. Korpusmööblis on võimalik kasutada palju seotisi. Mõned neist seotistest käsitletakse ka käesolevas töös. Joonisel 8 on näha, et karkassi nurkadele mõjuvad diagonaalsed tõmbe- ja surve jõud. Tõmbe jõul sikutatakse haari laiali seega tõmmatakse siseküljest ühendust lahti. Survejõul aga surutakse haari kokku ja tõmme toimub välisservast. Olenevalt jõu suurusest esineb sellist nähtus mööblis peaaegu kogu aeg. Isegi kui sahtel kummutist välja tõmmatakse võib ta saada õrna ristliikumist ja esineb all toodud nähtus vähesel määral.



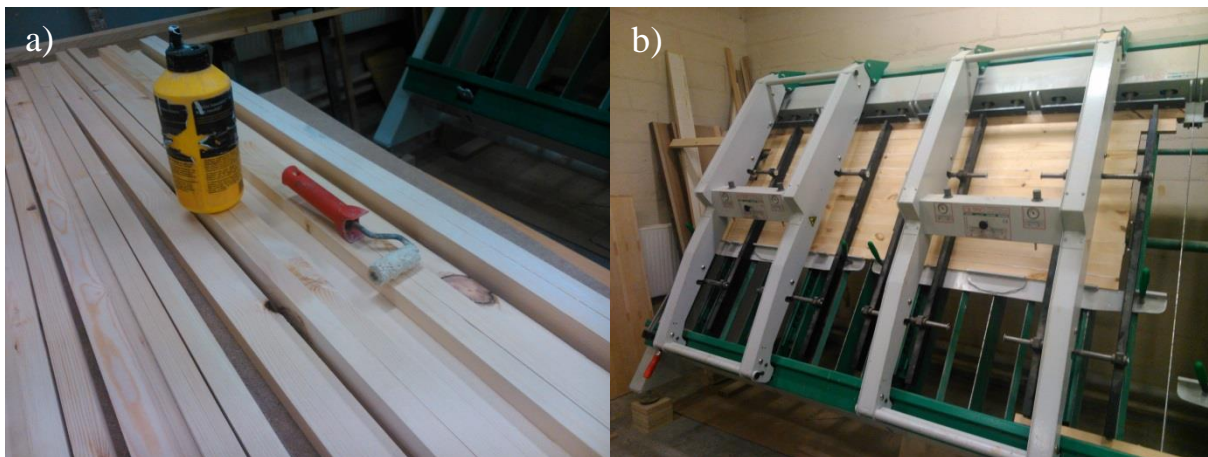
**Joonis 8.** Karkassmööbli nurkühendustele mõjuvad jõud

### 2.1 Katsekehade valmistamine

Katsekehad valmistati autori poolt Kalla Mööbel OÜ töökojas. Katsetusmetoodika ja katsekehad planeeriti ning valmistati vastavalt Tankut, Zhang ja Eckelman-i artiklites käsitletud meetodite järgi. (Eckelman & Zhang, 1993) (Tankut & Tankut, 2009)

Katsekehade valmistamisel kasutati tavapäraseid puidutöötlemise tövõtteid. Kasepuidust valmistati kaseliimpuitu (edaspidi töös nimetatud kui kasepuit). Männipuidust valmistati männiliimpuitu (edaspidi töös nimetatud kui männipuit). Liimkilpide valmistamisel kontrolliti, et aastarõngad oleksid lamellide kõrvutamisel erisuunalised (joonis 9.a). Materjali niiskust kontrolliti tihti, et detailides ei tekiks niiskuste erinevust.

Valmistati detailid mõõtmetega 250x100x16mm ja 218x100x16mm. Katsetusteks oli vaja 120x100x16mm detaile, kuid autor otsustas, et lihtsam ja efektiivsem on valmistada kastiseotiste jaoks kaste (joonis 11). Tänu sellele sai lihtsalt kontrollida, et kõik nurgad oleksid täpselt 90°. Samuti on sel juhul kokku pressimise pinges seotistes ühtlane.



**Joonis 9. a)** Esmane töötlus ja liimitamine **b)** Liimkilbid pressis

**Esmane töötlus** - männi ja kase ehk täispuit-toorikud valmistati eelneva töötlustega. Servamata saematerjalile hõõveldati baaspinnad, mis saeti lamellideks. Lamellid liimiti omavahel kokku pneumaatilises liimkilbi pressis Altec Maschinenbau Power line series EC1-065/3750 (joonis 9.b). Liimimisel kasutati PVA-liimi Cascol 3339. Liimimisel jälgiti, et aastarõngaste suunad oleksid vastusuunalised, et katsekehades ei tekiks liigseid pingeid ja kõmmeldumisi. Seejärel hõõveldati baaspinnad ja paksus, ning saeti ketassael Altendorf F-45 3200 detailid laiusesse.

Töötlemise hetkel oli männi niiskus 7,6% ja kase niiskus 10%. Niiskus mõõdeti kontakt-niiskumõõtjaga CANN Hydromette Compact C102010.

Plaatmaterjalide eeltöötlemiseks kasutati formaatsaagi Altendorf F-45 3200 (joonis 10), kus katsekehad lõigati formaatplaadi servast väikese varuga, et hiljem üle saagimisel oleks lihtsam tagada detailide laiuse täpsus. Detailid saeti samal sael ka pikkusesse.



**Joonis 10.** Materjali lahtisaagimine



**Joonis 11.** Valmistatud katsekehade kastid, enne lahtilõikamist

**Sileservseotis** oli pärast esmast töötlust juba valmis. Otspind liimitati 0,6-ml liimiga. Liimipinna ühtlustamiseks kasutati liimikammi, mille haarad olid 1x1 mm. Liimi pinna pindala on 16cm<sup>2</sup>. Seejärel anti detailidele survet pitskruvidega. Pärast tehnoloogilist ooteaega saeti kasti nurgad lahti ja saadi igast kastist 4 nurkseotist, mida hiljem katsetama hakati.

**Eerungseotise** valmistamiseks keerati sae nurk 45° peale ja saeti toorikute otsad 45° alla. Järgmiseks liimitati lõigatud pind. Liimipinna ühtlustamiseks kasutati liimikammi (joonis 13.a), mille haarad olid 1x1 mm. Liimi pinna pindala on 22,6cm<sup>2</sup> ehk 1,4 korda suurem ala kui sileservseotise puhul. Liimitati üks pool ühenduse otspinnast. Liimi kulus pinnale 0,8 ml. Pärast tehnoloogilist ooteaega saeti kasti nurgad lahti ja saadi igast kastist 4 nurkseotist, mida hiljem katsetama hakati.



**Joonis 12. a)** Tüübelseotise toorikud. **b)** Lamelltüübelseotise toorikud.

**Tüübelseotise** valmistamiseks puuriti ühe tooriku otspinda kaks tüübliava sügavusega 14 mm ja teisele toorikule lapikpinna serva 2 tüübliava sügavusega 25mm. Tüübliavade tsentrite vahe 100 mm laiuses detailis oli 64 mm. Puurimiseks kasutati mitmespindlist puurpinkki Grass Tecmator Combi. (joonis12.a) .Seejärel liimitati tüübliavad. Lapikpinda, kus sügavus oli 14 mm, pandi 0,4 ml liimi ja otspinnas olevatesse avadesse 0,8 ml liimi (vt tabel 8). Liim segati laiali liimipulgaga, et ava pinnad oleksid ühtlaselt liimiga kaetud. Tüübel suruti esmalt lapikpinnas olevatesse avadesse. Jälgiti, et liimi tüübliavadest ei väljuks. Enne kahe detaili kokku surumist kontrolliti, et detailide pinnale ei oleks liimi sattunud. Detailide kokku surumiseks kasutati montaaživasarat ja seejärel pandi detailid pitskruvide abil surve alla. Ühe tüübli liimitatava ala pindala on 8,8cm<sup>2</sup> kui arvestada ka põhjasid ja soonelisust, siis selleks

on 10,84cm<sup>2</sup>. Ühes nurkseotises on kaks pikisoonelist tüüblit mõõtmetega 8x35 mm, seega on liimitatud pindala seotises 21,68cm<sup>2</sup>. Peale tehnoloogilist ooteaega saeti kasti nurgad lahti ja saadi igast kastist 4 nurkseotist, mida hiljem katsetama hakati.

**Lamelltüübelseotise** valmistamiseks kasutati Lamello käsifreesi Classic X. Toorikutele märgiti tsentrite asukoht ja need kinnitati töölauda külge. Seejärel freesiti tooriku otspinda ja lapikpinda lamelli ava (joonis 12.b). Antud juhul kasutati lamelltüüblit number 20, mille mõõtmed on 23x57mm. Ühepoolse lamelli ava mõõtmed tulid 12x65mm. Mõlemasse lamelli avasse kanti 0,6-ml liimi. Liim aeti liimipulgaga ühtlaselt laiali. Lamelli liimitatav pindala oli 24,67cm<sup>2</sup>.

Lamelltüübel suruti käsitsi avasse ja see järel survestati karp pitskruvidega. Peale tehnoloogilist ooteaega saeti kasti nurgad lahti ja saadi igast kastist 4 nurkseotist, mida hiljem katsetama hakati. Siin kohal tuleb ka ära märkida, et kasutatud lamelltüüblite tootjaks on Häfele GmbH & Co KG.

**Rööptappseotis** valmistati formaatsael Altendorf F-45 3200, kus eelnevalt valmistati 12 ja 9 mm laiused kasepuidust distantliistud. Toorikud kinnitati omavahel pitskruviga. Tänu sellele tekkis toorikute töötlemiseks piisavalt suur baaspind. Samuti tagas see ka kõigi seotiste ühekujulisuse. Tapiavad saeti saejuhtlata ja distantliistude abil, kus liiste laoti üle ühe (9+12+9+12...). Peale baassoonte saagimist saeti puhtaks ka tapiava põhjad, edasi-tagasi detaile liigutades. Hiljem kontrolliti kvaliteeti ja puhastati põhjad käsitsi peitliga. Seejärel kanti igale liimitatavale pinnale ca 0,2ml liimi. Ühe seotise peale kokku kulus ca 4,6 ml liimi.

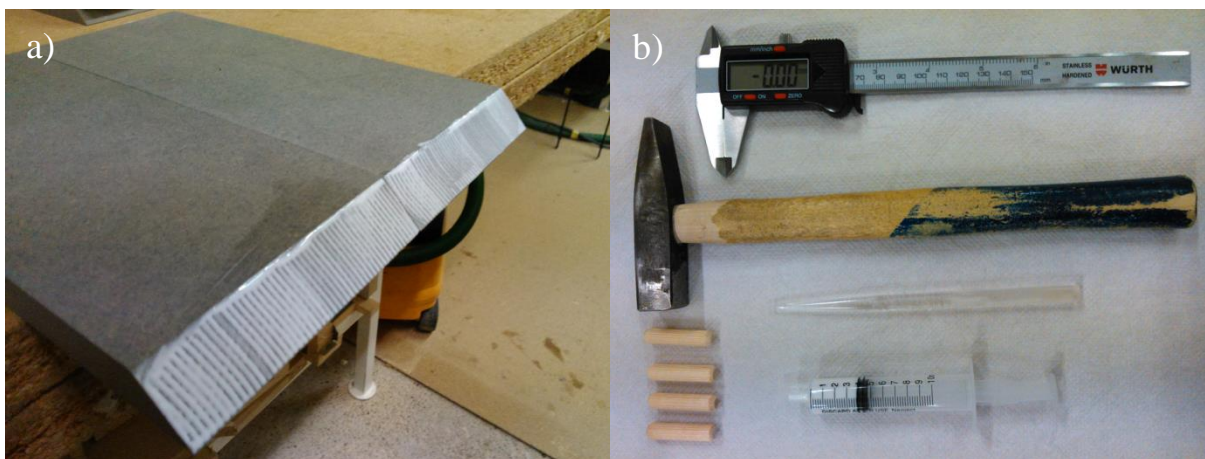
Detailid suruti omavahel kokku. Suurema jõu avaldamiseks kasutati montaaži vasarat. Detailid tõmmati 4 pitskruviga kokku ja diagonaalid kontrolliti üle. Pärast tehnoloogilist ooteaega eemaldati seotisest välja tulnud liim ja lihviti üleulatuvad tapiotsad. Seejärel saeti kasti nurgad lahti ja saadi igast kastist 4 nurkseotist, mida hiljem katsetama hakati.

**Liimimiseks** kasutati PVA liimi Akzo Nobel Cascol 3351 (vt tootekaart lisa nr.8). Liimi andmed: tihedus 1080kg/m<sup>3</sup>, viskoossus 18 000 MPa (spindel nr.4, rpm 6, temp 25°C), suletud ja avatud ooteaeg 10min. Liimi peale kandmiseks kasutati süstalt koguse määramiseks ja liimipulka liimi laiali ajamiseks (vt joonis 13.b). Lamelltüübelseotise liimitamisel kasutati 1x1 mm sammuga liimi kammi. Kasutatud liimi pindala ja –kogused on toodud tabelis 8.



**Tabel 8.** Katsekehade liimipindala ja liimitamise kogus

Seotis	Liimi pindala (cm <sup>2</sup> )	Liimi kogus (ml)
Rööptappseotis	37,1	4,6
Lamelltüübel	24,7	1,2
Eerungseotis	22,6	0,8
Tüübelseotis	21,7	1,2
Sileservseotis	16	0,6

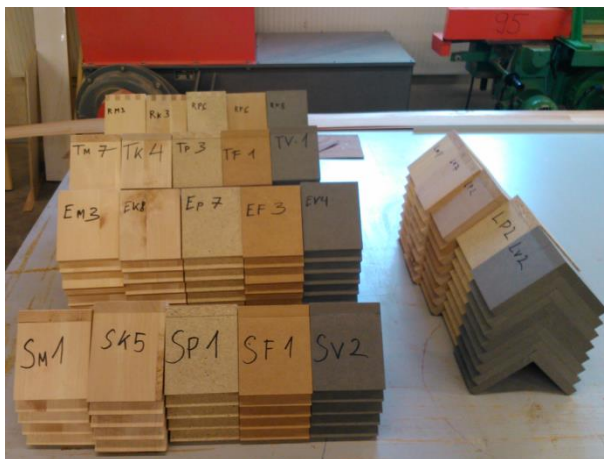


**Joonis 13.** a) Eerungseotis liimitatud liimikammiga b) Liimitamise abivahendid.

Katsekehasid valmistati kokku 185tk (vt tabel 9) (vt. joonis 14). Need pakendati pakkepappi ja seejärel kiletati. Katsekehad olid hermeetiliselt suletud ja hoiti nädal aega 22°C temperatuuri juures. Pakendis ühtlustusid täispuidu niiskused omavahel. Täispuit detailid pakendati üle ühe – kask, mänd, kask. Katselaboris avati pakendid ja lasti katsekehadel seista 2 päeva temperatuuril 22°C ja õhuniiskusel 60-65%. Laboris on õhuniisutajad, mis reguleerisid õhuniiskust.

**Tabel 9.** Katseplaan

<b>Materjal</b> <b>Seotis</b>	<b>Kask</b>	<b>Mänd</b>	<b>MDF</b>	<b>PLP</b>	<b>Valchromat</b>	<b>Kokku</b>
<b>Sileservseotis</b>	5	5	5	5	5	<b>25</b>
<b>Eerungseotis</b>	8	8	8	8	8	<b>40</b>
<b>Tüübelseotis</b>	8	8	8	8	8	<b>40</b>
<b>Lamelltüübelseotis</b>	8	8	8	8	8	<b>40</b>
<b>Rööptappseotis</b>	8	8	8	8	8	<b>40</b>
<b>Kokku</b>	<b>37</b>	<b>37</b>	<b>37</b>	<b>37</b>	<b>37</b>	<b>185</b>



**Joonis 14.** Katsekehad pärast lahtisaagimist

## 2.2 Katsed

Katsed viidi läbi Võrumaa Kutsehariduskeskuse puiduõppetooli puidulaboris, kus on erinevate katsetuste läbiviimiseks palju erinevaid katsemasinaid.

Läbiviidud katsed olid järgmised: Diagonaalne tõmbekatse nurkseotisele, absoluutniiskuse katse ahjus, paindetugevuse katse, materjalikõvaduse katse ehk Janka katse, 24h pundumise katse, liimi viskoossuse katse, pindniiskuskatse ja mikroskoopiline analüüs. Kõik katsetused jäädvustati digitaalselt.

### 2.2.1 Surve- ja tõmbejõu katseseade

Katsemasinaks kasutati universaalsurve- ja tõmbepinki Imal IB600 (joonis 15). Seade on eelkõige mõeldud erinevate puitmaterjalide ning pressplaatide laboratoorseks katsetamiseks.

Masin koosneb mitmest erinevast liseseadmest ja on ühendatud arvuti ja printeriga. Gabariitmõõtmete seade ja kaalu mõõtmise tulemused kantakse automaatselt tabelisse. Arvutiga on ühendatud ka mikroskoop (Leica EZ4D).

**Tabel 10.** Imal IB 600 tehnilised andmed (Imal pal, 2013)

Nimetus	Andmed
Minimaalne katsekeha paksus	2mm
Tööorgani kiirus	0,001-999 mm/min
Kaalumistäpsus	1/100 g
Täpsus	± 0,1 %
Mootori võimsus	1 kW
Nõutud õhusurve	3 bar



**Joonis 15.** Imal IB 600

Katsete läbiviimiseks seadistati eelnevalt masin: keerati lahti supordid ja pöörati ümber, et tekitada seotistele toepind. Katsekehade asukoha kõrgendamiseks pandi seotistele alla kuus 10mm paksust toepatja. Padjad ja relss õlitati selleks, et vähendada hõõrdejõust tulenevaid tegureid katsekehale, kuna surve suureneb katsekehade alumine diagonaal. Survestamiseks kasutati tammepuidust valmistatud survepead, kuna vajaminevat mehhanismi ei olnud masinal kaasas. Tammest survekeha mõõtmed on 120x60x45mm, see kinnitati mutriga masina külge.



### ***2.2.2 Diagonaalsete tõmbekatsete läbiviimine***

Diagonaalsete tõmbekatsete ettevalmistamiseks ja planeerimiseks kasutati Tankut ja Eckelman-i artiklites käsitletud katsemeetodeid, mis vastasid (ASTM D143-83) surve ja tõmbetugevuse standardile. (Tankut & Tankut, 2009) (Eckelman & Zhang, 1993)

Kõik katsekehad tähistati. Tähistes kasutati seotise nimetuse esimest tähte ja materjali nimetuse esimest tähte ning katsekeha järjekorra numbrit, näiteks: EP3= Eerungseotis Puitlaastplaadis katse nr. 3. MDF-i tähistamiseks kasutati tähte F, sest mändi tähistati M tähega.

Katsekehad kaaluti ja mõõdeti individuaalselt katsemasina abil. Pikkuseks anti katsekeha täispikkus ehk  $120+104=224$ mm. Katsekehade kaalu, paksuse ja laiuse kandis masin ise andmetesse. Mõõtmete võtmiseks kasutati masina gabariitmõõtmise seadet, kus katsekeha paigutati mõõtehaaratsite vahele. Survestamisel määras masin katsekeha mõõdu. Kaalu ja mõõtmete abil arvutas masin katsekeha tiheduse  $\text{kg/m}^3$ .

Seejärel asetati katsekeha masina vahele ja alustati katset. Katseseadme tööorgani liikumiskiiruseks määrati 5,5mm/min. See andis katsekehale ühtlase surve kasvu. Katsetus kestis kuni katsekeha deformeerus ja vastupanujõud langes 20% maksimumjõust. Kõik andmed märgiti dubleerivalt käsitsi paberile.

Katsekehad jäädvustati digitaalselt ja hinnati visuaalselt. Igale katsekehale määrati analüüsi indeksid, määratlemaks katsekeha purunemise viisi. Indeks kanti tulemuste tabelisse kohe pärast katsetuse läbiviimist (vt lisa 9). Indeksite loetelu tabel 11. Indeksite korduvus joonis kõigi katsete ulatuses on toodud lisa 10.

Indeksite kirjeldamisel keskenduti kõikidele võimalikele katsetulemuste stsenaariumitele. Sisestamisel avastati, et kirjeldus kordus katseseeriati ehk sarnased seotised purunesid ühesuguselt. Kõrvalekaldeid oli 1-2 tükki katseseerias. Indeksit nr. 13 ei kasutatud kordagi, sest mitte ükski katsetus ei ebaõnnestunud.

**Tabel 11.** Kasutatud indeksi loetelu

<b>Indeks</b>	<b>Indeksi kirjeldus</b>
1	Katsekeha liimühendus ja materjal purunesid osaliselt
2	Katsekeha liimühendus ja materjal purunesid
3	Katsekeha materjali kiud purunesid
4	Katsekeha mõranes keskelt
5	Katsekeha mõranes seotise ümbert
6	Katsekeha mõranes veidi
7	Katsekeha mõranes ühenduse kohtadest
8	Katsekeha purunes liimühendusest
9	Katsekeha ühendus purunes osaliselt
10	Katsekeha ühendus purunes täielikult
11	Lamelltüübel murdus
12	Tüübel paindus
13	Katse ebaõnnestus
14	Katsekeha nõrkes, kuid jäi terveks
15	Visuaalselt ei muutunud
16	Liimi pole piisavalt
17	Lamelltüübel kiud purunesid

### ***2.2.3 Niiskuse ja absoluutse niiskuse määramine***

Puiduniiskuseks nimetatakse katsekehas leiduvat vett väljendatuna protsentides tema massist. Seejuures, kui seda väljendada protsentides absoluutselt kuiva puidu massi kohta, saame absoluutse niiskuse sisalduse %, ja kui niiske puidu massist, siis on tegemist suhtelise ehk relatiivse niiskusega. (Saarman & Veibri, 2006: 75)

Niiskust määrati täispuidu ja plaatmaterjali töötlemise käigus ja vahetult enne katsekehade katsetamist. Esmasel töötlusel kasutati kontakt-niiskusemõõtjat CANN Hydromette Compact C102010. Enne katsetamist kasutati pinna niiskuse mõõtjat Wagner L606 Moisture meter.

**Absoluutse niiskuse** mõõtmiseks kasutati ahju ja kaalu meetodit (Saarman & Veibri, 2006: 75): katsekehad mõõdeti, kaaluti ja pandi seejärel ahju Carbolite PN30, millele oli antud temperatuuriks 103°C. Peale 8 tundi võeti katsekehad ükshaaval ahjust välja ja kaaluti uuesti.

Seejärel arvutati absoluutse niiskuse % järgmise valemiga:

$$W = \frac{M - M_0}{M_0} * 100, \quad (4)$$

\*Kus:

$W$  = Materjali absoluutne niiskus

$M$  = Katsekeha mass

$M_0$  = Katsekeha mass 0% niiskusega

Antud andmetest on võimalik välja arvutada ka materjali tihedus. Siinkohal kasutas autor kahte tiheduse arvutamise valemit, kus arvutatakse materjali absoluutne kuiv tihedus ja materjali tihedus normaalniiskuse protsendil. Nendest tulemustest on näha kui vähe või palju niiskuse muutus materjalis mõjutab materjali tihedust: niiskuse puudumisel on materjali tihedus palju väiksem kui niiskes olekus.

Tiheduse arvutamiseks kasutati järgmisi valemeid.

$$\rho_{o;w} = \frac{\text{Absoluutselt kuiva puidu kaal (kg)}}{\text{Niiske puidu ruumala (m}^3\text{)}} = \text{kg/m}^3, \quad (5)$$

$$\rho_{w;w} = \frac{\text{Niiske puidu kaal (kg)}}{\text{Niiske puidu ruumala (m}^3\text{)}} = \text{kg/m}^3, \quad (6)$$

(Saarman & Veibri, 2006: 66)

#### **2.2.4 Paindetugevuse katse**

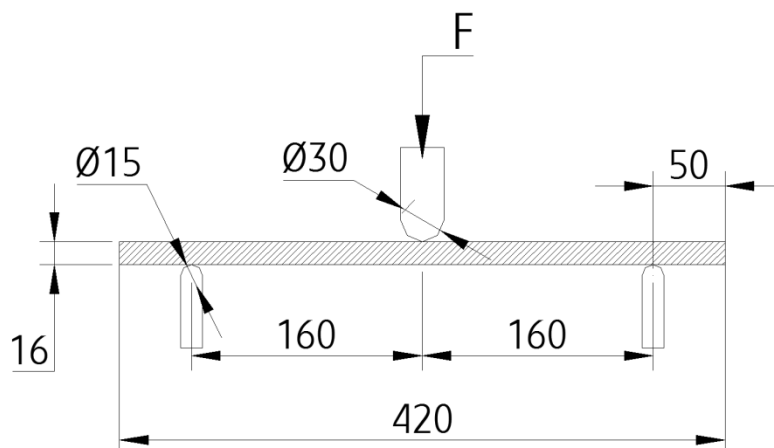
Kõikidele materjalidele viidi läbi ka paindetugevuse katse, standardi EVS-EN 310:2002 (Puitplaadid ... 2002) kohaselt - valmistati katsekehad mõõtmetega 420x100x16mm. Paindetugevuse mõõtmiseks kasutati 3 punkti süsteemi, kus kaks punkti on toed ja kolmas surveade (joonis 16). Katsed viidi läbi masinaga Imal IB 600 samas ruumis sama temperatuuri ja niiskusega, mis teised katsed.

Katsete käigus koguti järgmisi andmeid:

- Materjali tihedus;
- Rakendatud jõud;
- Paindetugevus;

- Elastsuse moodul materjalis.

Katsekeha paigutati masinasse kahe 60mm-se supordi peale. Detail survestati survepeaga, mille laius oli 80 mm, kiirusega 5mm/min. Katse kestis kuni katsekeha vastupanujõu lõppemiseni.



**Joonis 16.** Kolme punkti paindekatses põhimõtte skeem

Nagu joonisel 14 näha, oli suportide vahekaugus 320 mm ja katsekeha ulatus üle suportide 50 mm mõlemast otsast. Tulemuseks saadi detaili paindetugevus ja vastupanujõud. Katse lõppes siis kui vastupanu jõud oli langenud 50%.

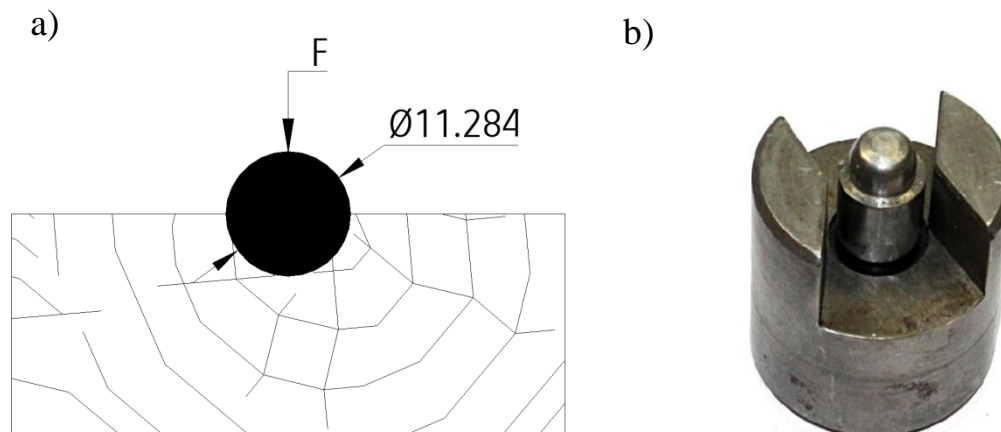
Paindetugevust kontrollitakse enamasti plaatmaterjalidel. Kui vaadelda nõ. standardset riiulit siis riiul ja tema küljed peavad vastupanu osutama eelkõige raskusele. Kui paindetugevus on liiga väike, paindub katsekeha rohkem läbi. Sama kehtib külgede kohta, neile on kinnitatud raskust kandvad riiulid. Painde käigus hakkab riiul kumeraks tõmbuma ja seega sikutab endaga kaasa ka külgi. See katsetus vajalik selleks, et tootjad teaksid mis materjale valida vastavatele riiulitele või toodetele. Mida vähem riiul läbi paindub seda kauem ta vastu peab.

### **2.2.5 Janka kõvaduse katse**

Kõvaduskatse ehk Janka katse viidi läbi sama masina ja samade ruumi näitajatega. Janka kõvaduskatse on puidu jaoks kohandatud metallide puhul kasutatava Brinelli meetodid järgi. Erinevalt Brinelli katsest ei ole tulemuseks mitte kindla jõu juures metallkuuli tekitatud lohu diameeter, vaid jõud, mis kulub poolsfääri materjali sisse surumiseks. Kuuli diameeter on

11,288 mm (joonis 17.a.b). Kuuli mõõt on selline, et poolsfääri pindala oleks  $100\text{mm}^2=1\text{cm}^2$ . (Saarman & Veibri, 2006: 152) Katse tulemust kirjeldades kasutatakse erinevaid jõu ühikuid: ameeriklased kasutavad nael-jõudu (lbf), aga kohata võib ka kilogramm-jõudu kgf, kuid levinuim on Njuuton (N) või kilo-Njuuton (kN).

Katsel kasutatakse enamasti spetsiaalset rakist mille välimurus võib erineda, kuid tööpõhimõte on sama. Antud töö juures kasutatud rakist võib näha jooniselt 10b.



**Joonis 17. a)** Janka katse põhimõtte skeem **b)** Janka katsel kasutatud surveseade

### **2.2.6 Materjali pundumise katse**

Materjali pundumise katsel mõõdetakse paisumise protsenti 24 tunni jooksul vees olles. Katsekehad mõõdetakse ja vajadusel ka kaalutakse. Seejärel pannakse nad 24-ks tunniks toatemperatuuril vette. Kergemate materjalide puhul asetatakse peale ka raskus, et katsekehad veest välja ei tuleks. Ööpäeva möödumisel võetakse katsekehad välja ja mõõdetakse parameetrid uuesti. Katsekehade mõõdud arvutatakse kuupmeetriteks ( $\text{m}^3$ ). Seejärel jagatakse tulemused omavahel ja saadakse pundumise protsent.

Seda katset viiakse läbi selleks, et välja selgitada kui palju erinevad materjalid vees paisuvad. Plaatmaterjalide tootjad annavad välja ka niiskuskindlat plaaditüüpi P5 - selle plaaditüübi pundumise protsent on palju väiksem kui tavalistel plaatmaterjalidel.

Saadud tulemustega on lihtne võrrelda erinevaid materjale. Puitmaterjali katsetamisel tuleb alati juurde märkida ka materjali algniiskus, sest materjal võib olla juba sisemisest niiskusest pundunud.

### 3. KATSETE TULEMUSED

Käesolevas peatükis käsitletakse kõiki eelpool kirjeldatud katsete läbi viimisel kogutud andmeid.

Järgnev tabel 12 võrdleb erinevusi autori kogutud ja tehase poolt avaldatud andmete vahel. Nagu näha, on erinevusi mitmeid. See on ka arusaadav, sest kindlasti ei olnud kõikide katsete meetodid ja katsekehade ristlõiked sarnased tehase poolt läbi viidud katsetega. Arvatavasti viis tootja katsed läbi parimates tingimustes mis võimalik. Katsete tulemused varieeruvad nii tootja kasuks kui kahjuks.

**Tabel 12.** Materjalide tootjapoolsed andmed ja autori kogutud andmed.

<b>Omadus</b> <b>Materjal</b>	<b>Paksuse</b> <b>kõikumine</b> <b>(max-min)</b>	<b>Tihedus</b> <b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Pundumine</b> <b>24h (%)</b>	<b>Paindetugevus</b> <b>(MPa)</b>	<b>Elastusmoodu</b> <b>I (MPa)</b>	<b>Absoluut.</b> <b>niiskus (%)</b>
<b>Tehase esitatud andmed</b>						
<b>MDF</b>	0,4	750,0	12	30	3000	4-9
<b>PLP</b>	0,4	600-800	22	11	1600	-
<b>Valchromat</b>	0,2	800	8	38	3100	-
<b>Kask</b>	0,6	630-670	14	105	13000	-
<b>Mänd</b>	0,6	480-530	12,4	87	10000	-
<b>Autori kogutud andmed</b>						
<b>MDF</b>	0,5*	767,3*	19,5	22,5	2584,9*	5,6
<b>PLP</b>	0,8*	658,8*	38,4	9,7	1712,8*	5,6
<b>Valchromat</b>	0,5*	751,2*	11,0	19,8	3028,8*	5,8
<b>Kask</b>	0,8*	629,9*	8,3	X	9284,2*	9,0
<b>Mänd</b>	0,4*	506,4*	7,6	48,7	7259,7*	9,4

X - Katsed ebaõnnestusid \*-Katseseeria tulemuste keskmine

#### 3.1 Diagonaalsete tõmbekatsete tulemused

Diagonaalse tõmbekatse tulemuste arvutamiseks valiti aritmeetiline keskmine. Tulemusi vaadeldi ka teiste keskmiste arvutamise meetoditega nagu näiteks: mediaan, keskmine deviatsioon ja geomeetriline keskmine, aga nende tulemused ei erinenud aritmeetilise keskmise arvutamise teel leitud tulemustest (vt lisa 11), seega valiti enimlevinud keskmise leidmise meetod. Jooniselt 19. on näha tõmbekatsete keskmiste tulemuste tulpdiaagramm.

Tulemustest saab ka välja lugeda miinimum- ja maksimumtulemuse. Paljudes katsetustes on näha, et samm miinimumist maksimumini on päris suur. Kui vaadelda kasepuidust rööptappseotist, siis miinimum katsetulemus on 2749N ja maksimum 4250N - nendevaheline erinevus on 1501N. Siinkohal peab täheldama, et kõik katsekehad valmistati ja katsetused viidi läbi võimalikult ühesugustes tingimustes. Tulemused on siiski väga erinevad ja seda mõjutavad väga väikesed parameetrid: näiteks materjali omadused või erinev pitskruvide surve, katsekehade valmistamisel.

Nagu jooniselt 19 näha, tulemused erinevad nii seotiseti kui materjaliti. See tähendab, et erinevad materjalid ei toimi seotistes sarnaselt. Selles tulenevalt saab seotised reastada tugevuse järgi. Nurkühendused on erineva konstruktsiooniga ja tänu sellele on katsetest saadud tulemused erinevad. Katsetulemustest tulenevalt saab seotised seada järjekorda tugevuse järjestuses: rööptappseotis, eerungseotis, tüübelseotis, sileservseotis ja lamelltüübelseotis.

Materjale ei saa nii lihtsalt järjestikku seada. Materjalide efektiivsus nurkühenduses erineb seotiseti. Näiteks MDF on eerungseotise puhul Valchromatist tugevam, kuid tüübelseotis on Valchromat tugevam. Seega tuleb vaadelda materjale ja seotisi eraldi.

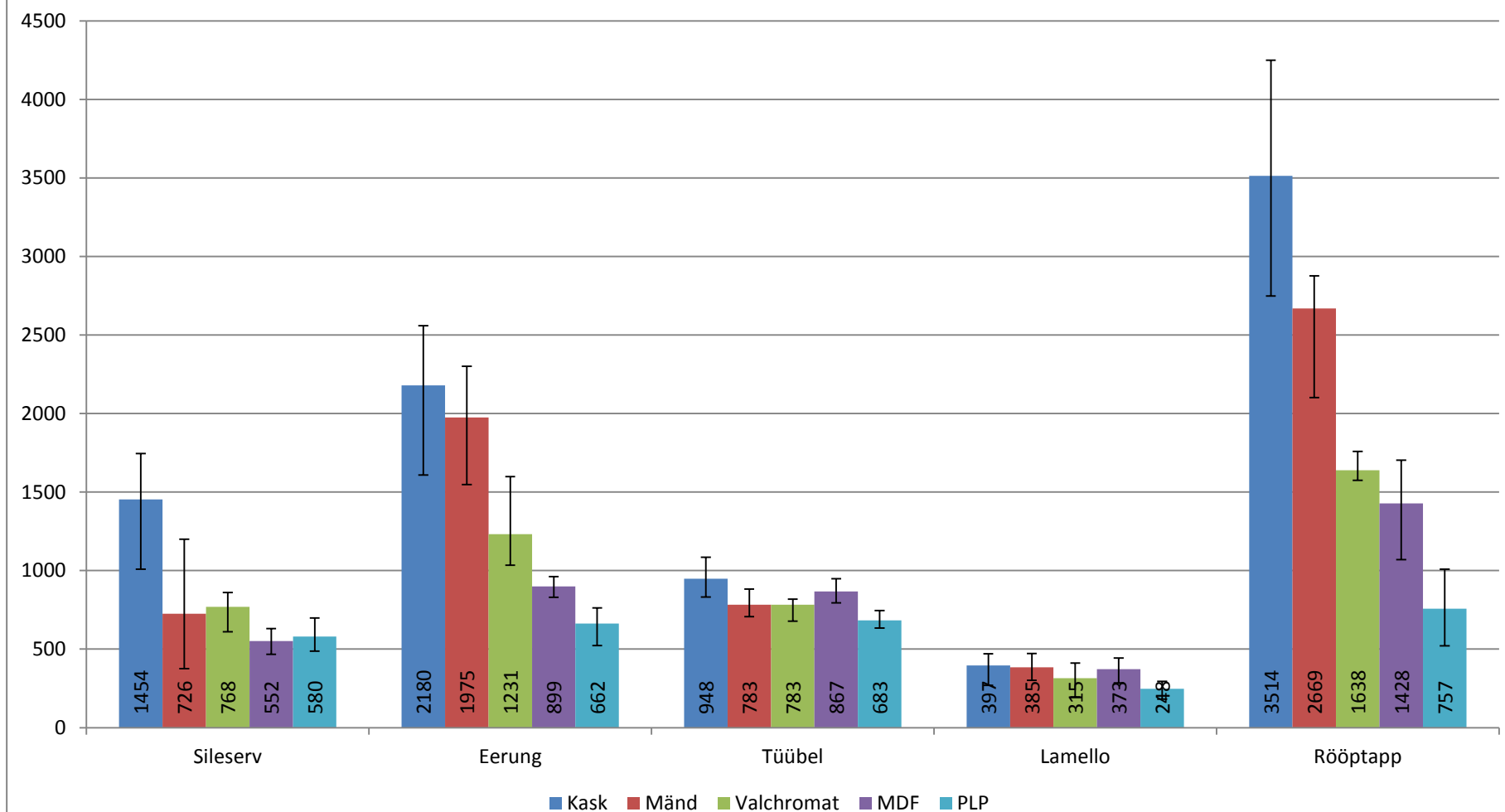
Tulemustest on näha, et selles katseseerias on kasepuit kõige tugevam nurkühendustes, aga tema vastupidavus varieerub siiski 397-3514N vahel. Katsekehade vastupidavus sõltus ikkagi suurel määral nurkseotisest.

Seotiste ja materjalide käitumisest lähemalt peatükis 4. Katsekehade joonised peale katsetus lisa 6.



**Joonis 18.** Eerungseotise diagonaalne tõmbekatse puitlaastplaadil korral

## Diagonaalsete tõmbekatsete keskmised tulemused (N)



48

Joonis 19. Seotiste diagonaalsete tõmbekatsete keskmised tulemused



### 3.2 Absoluutse niiskuskatse tulemused

Absoluutse niiskuse katsetamiseks valmistati katsekehad 16x16x16mm. Valchromati detail oli natuke suuremate mõõtmetega (100x22x16mm), kuid katsetulemusi see ei mõjutanud. Katsekehasid valmistati kaks tükki igast materjalist, et oleks võimalik deviatsiooni võrrelda. Nagu tulemustest näha (vt tabel 13), siis väike niiskuse erinevus detailides tuleneb väikestest kaalu erinevustest. Kui mõõtmetelt samade katsekehade kaal erineb, siis saab järeldada, et üks detail oli toorikus keskel ja seega omas natukene rohkem niiskust kui ääre pool olevad detailid. See erinevus on 0,01 g - lõpptulemustes ei ole see erilist kõrvalekallet tekitanud. Tabelis 13 on toodud absoluutne niiskus materjalis ja nende kuiv ning niiske tihedus.

**Tabel 13.** Absoluutne niiskus materjalides

Nr.	Nimetus	Kaal (g)	Kaal (g <sub>0</sub> )	Niiskus (W%)	Kuiv tihedus ρ <sub>0,w</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	Niiske tihedus, ρ <sub>w,w</sub> (kg/m <sup>3</sup> )
1	<b>Mänd</b>	1,963	1,794	<b>9,420</b>	419,54	459,06
2	<b>Mänd</b>	1,870	1,704	<b>9,742</b>	398,49	437,31
3	<b>Kask</b>	2,452	2,249	<b>9,026</b>	525,94	573,41
4	<b>Kask</b>	2,470	2,261	<b>9,244</b>	528,75	577,62
5	<b>PLP</b>	2,871	2,715	<b>5,746</b>	634,92	671,40
6	<b>PLP</b>	2,814	2,663	<b>5,670</b>	622,75	658,07
7	<b>MDF</b>	3,361	3,180	<b>5,692</b>	743,66	785,99
8	<b>MDF</b>	3,348	3,168	<b>5,682</b>	740,85	782,95
9	<b>VALC*</b>	25,453	24,05	<b>5,834</b>	688,82	729,00

\*-Katsekehade ruumala 0,00000427m<sup>3</sup> va. katsekehal nr. 9. Katsekehal nr.9 oli 0,0000349m<sup>3</sup>.

Katsetulemustest on näha, et täispuitmaterjalid sarnanesid omavahel ja ka plaatmaterjalide niiskus oli terve katseseeria või materjali lõike suhtes sama. Katsekehade valmistamisel kontaktmõõtjaga mõõdetud tulemused erinesid männi- ja kasepuidu puhul. Männipuidus oli töötlemise ajal niiskus 8% ja kasepuidus 10%. Selle erinevuse tõttu pakendati katsekehad pakendis üle ühe. See tähendab, et ca 8-9 päeva jooksul pakendis hermeetiliselt suletuna suutis kasepuit ära anda niiskust ja männipuit ülearust niiskust imada. Seega niiskused tasakaalustusid.

Sellisest tulemusest saab järeldada, et näiteks tootes, kus kasutatakse erinevaid materjale, tuleb hoida erinevad materjalid koos ühes hunnikus või pakendis. Selle tulemusena väheneb ka risk, et detailid hiljem tootmisfaasis oma niiskust ja mõõtmeid drastiliselt muutma hakkaksid.

Plaatmaterjalide niiskus on enamasti faktor, mida ei ole vajalik pärast plaadi tootmist mõõta, kuigi mööblitootjad on täheldanud, et kevadel ja sügisel on plaadid natukene paksemad kui talvel. Selline kõikumine lahendatakse enamasti lihvkalibreerimisega. Töö käigus tehtud katsetustes on ka näha materjalide paksuse erinevust. Autor on täheldanud, et 16 mm plaadi paksus kõikus veidi. Kõik katsekehad mõõdeti mehaaniliselt: plaatmaterjalist katsekehade paksused olid 15,6-16,3 mm. Kahjuks plaatmaterjali puhul on väike osa plaadist keskmisest veidi kõrgem või madalam. Seda nähtust nimetatakse plaatmaterjali muhulisuseks. Vastavalt plaatmaterjali täidisele võib esineda nii positiivset kui negatiivset muhulisust. Kuigi plaaditootja kalibreerib kõik plaadi enne lahtisaagimist siis on ikkagi soovitatud teha korduv kalibreerimine enne lõplikku viimistlemist.

### 3.3 Paindekatsetuse tulemused

Tulemused erinevad päris palju tootja omadega või teiste käesolevas töös ette antud tulemustega (vt tabel 14). Selle peamiseks põhjuseks on see, et etteantud andmetes ei ole enamasti ära toodud detaili mõõtmed või siis standard mida katsetamiseks kasutati. Tootjapoolsed andmed on siiski ligilähedased, sest paksuse parameeter 16 mm on siinkohal kindel. Väike hälve võib tekkida katsekehade pikkuse ja laiuse tõttu. Siinkohal võib rahule jääda plaatmaterjalide katsetulemustega. Tootja andmete võrdlus on näha tabelis 8. Katsekehad paindusid 8-11mm enne nõrkemist. Tabelis 14 on toodud katseseadme poolt kogutud andmed.

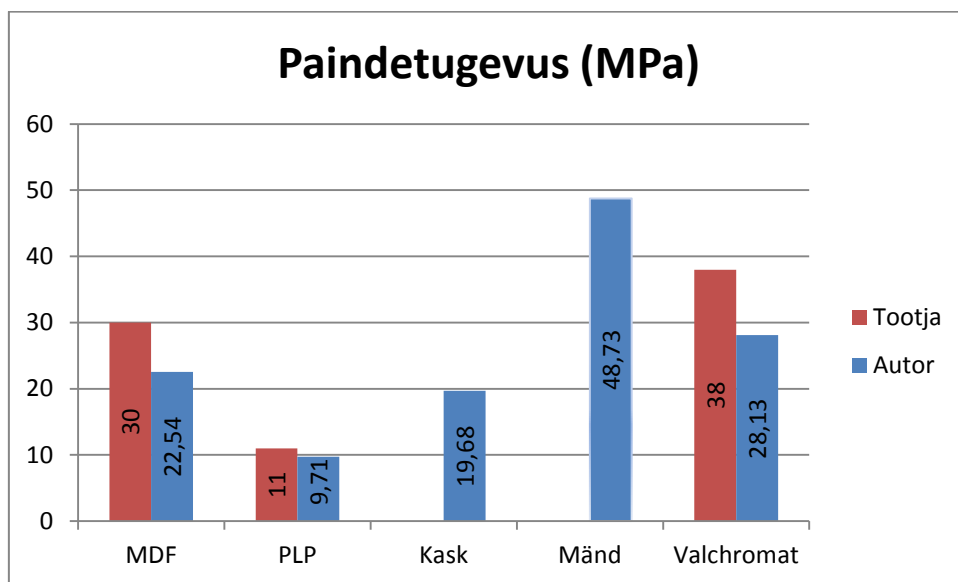
**Tabel 14.** Paindekatsetuste tulemused

Jrk nr	Nimetus	Pikkus (mm)	Laius (mm)	Paksus (mm)	Kaal (g)	Pinna kaal (kg/m <sup>2</sup> )	Tihedus (kg/m <sup>3</sup> )	Jõud (N)	Painde tugevus (MPa)	Elastsus moodul (MPa)
1	<b>MDF</b>	420	100,1	15,93	521,5	12,41	779	<b>1908</b>	<b>22,54</b>	973,77
2	<b>PLP</b>	420	99,84	15,87	464,3	11,07	698	<b>814</b>	<b>9,71</b>	721,70
3	<b>Kask</b>	420	98,63	15,84	419,4	10,13	639	<b>1623</b>	<b>19,68</b>	1229,62
4	<b>Mänd</b>	420	99,77	16,03	326,5	7,79	486	<b>4164</b>	<b>48,73</b>	2228,92
5	<b>Valc.</b>	420	99,64	16,19	512,9	12,25	760	<b>2420</b>	<b>28,13</b>	1105,12

Plaatmaterjalide katsetulemustest on näha (vt joonis 20) , et tulemused erinevad tunduvalt omavahel. Põhjuseks on plaatmaterjalide koostis. Puitlaastplaadi struktuuri arvestades ei saagi see paindele eriti vastu pidada. PLP paindetugevus sõltub palju puidulaastude suurusel materjalil ja sisesidususest. Puitlaastplaadi laastude vahel on ka palju õhku, mis aitab materjali paindumisele kaasa, sest laastudel on võimalus liikuda. Puitlaastplaadi

katsetulemustel on ka enamasti kohata nii öelda rebestumist. Samas homogeensemata plaatmaterjalide juures võib näha mõranemist, sest need materjalid on tihedamad ja laastude asemel on mikroskoopilised kiud, mis on üksteise külge kleepunud. Seega sikutatakse paindel kiude puruks. Homogeensete materjalide vastupanu paindele on seega suurem.

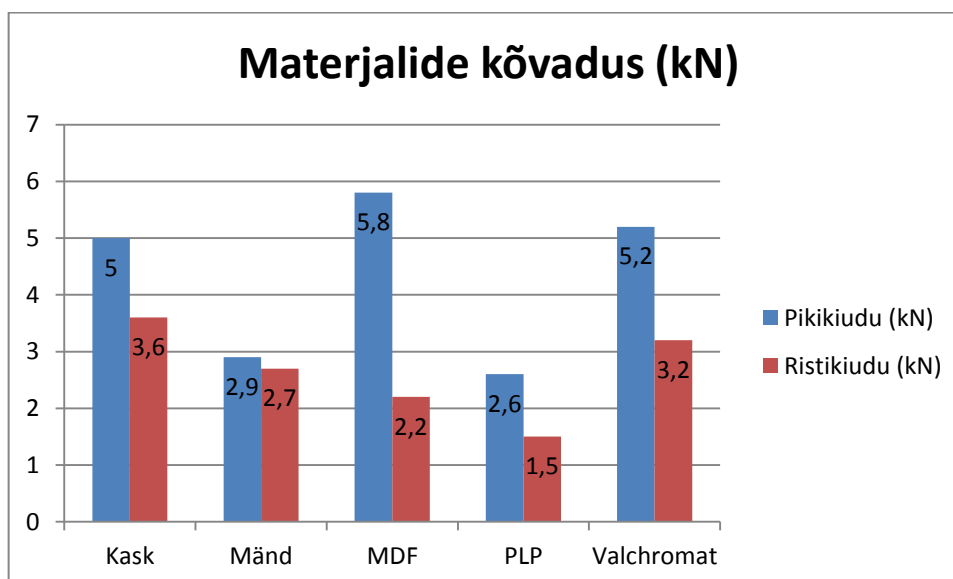
Täispuidule enamasti paindekatsed ei tehta. Täispuitmaterjal ei ole homogeenne ja katsetulemusi mõjutab liiga palju muid parameetreid, näiteks oksakohad, aastarõngaste tihedus, materjali niiskus, materjali tihedus või mõni muu määrav tegur. Antud katsetulemustes on näha, et männipuit oli paindele vastupidavam kui kask. Uurides männist katsekeha on näha, et liimikilbis on kõrvuti kaks väga kitsaste aastarõngastega lamelli. Juba aastarõngaste rohkus detailis sai tulemusele määravaks. Kasepuidul aastarõngad väga palju tulemust ei mõjuta. Kask peaks eeldatavalt olema paindele vastupidavam kui mänd. Siinkohal tekkis autoril küsimus, miks katsetulemused seda ei näita. Hilisemal katsekeha uurimisel selgus, et täpselt survetalla alla oli sattunud kaks oksa, mille tuvastamiseks tuli katsekeha pooleks murda. Välispindadelt oli näha ainult kaks väikest täppi. Lamellid olid omavahel kokku liimitud serviti nii, et välispindadelt ei olnud okste tegelikku suurust võimalik aru saada. Puidurikke esinemise tõttu ei saanud kasepuidu paindekatses võrreldavat tulemust.



**Joonis 20.** Materjalide paindetugevused. (Tootja andmed ja autori kogutud andmed)

### 3.4 Materjali Janka kõvaduskatse tulemused

Katsetulemustest võib näha (vt joonis 21), et tulemused erinevad pikikiudu ja ristikiudu - materjalid on pikikiudu kõvemad kui ristikiudu. Täispuitmaterjalides on see nii ristikiudu asetonud aastarõngaste tõttu. Aastarõngaste tiheduse määrab teadupärast puidu aastakäigu kasv. Mida tihedamad on aastarõngad, seda kõvem on ristikiudu tugevus. Pikikiudu kõvadusel mängib aastarõngaste tihedus veidi väiksemat rolli. Pikikiudu kõvaduse mõõtmisel surutakse pikikiud omavahel kokku. Neid on raskem kokku suruda, sest sügispuidu osakaal on suurem kui ristikiul. Seega on pikikiu kõvadus suurem. Kui vaadelda kasepuitu, siis kask on hajusooneline ja tema aastarõngad ei paku ristikiudu piisavalt vastupanu. Nagu joonisel 21. on näha, siis pikikiu ja ristikiu tulemuste vahe on kasepuidus üpris suur.



**Joonis 21.** Materjalide kõvadus piki- ja ristikiudu

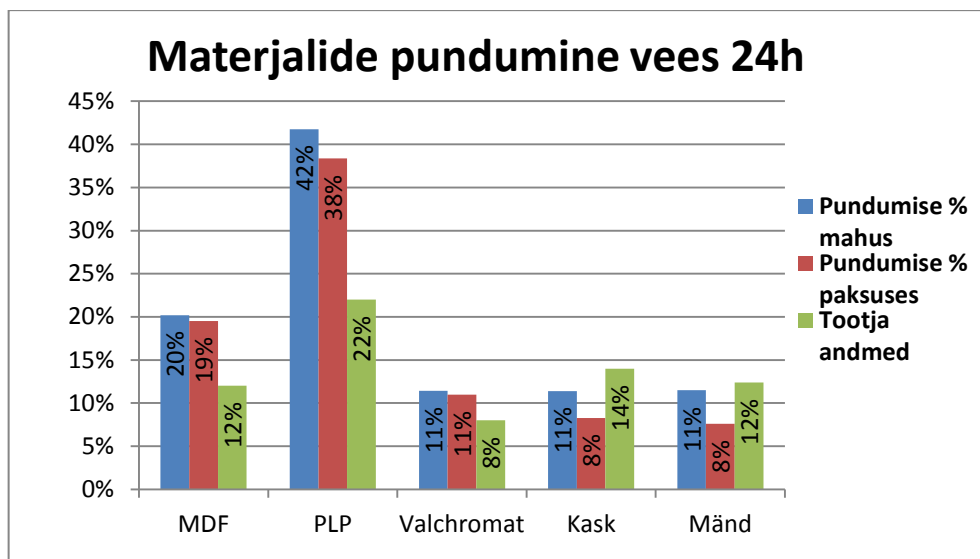
Plaatmaterjalide tulemus on ettearvatav. Plaatmaterjalide põhimõte ongi see, et väliskihid on tihedamad ja kõvemad kui sisekihid. Sellest lähtudes on näha, kuidas nõ pikikiudu on kõvadus kordades suurem kui ristikiudu kõvadus. Plaatmaterjalides on ristlõikes ehk sisekiududes palju nõrgemad. Nende struktuur on õhulisem ja kiud pikemad. Ainus plaatmaterjal, mis on ka ristlõikes väga tugev on vineer. Kui võrrelda MDF-i ja Valchromati siis on näha, et MDF-i väliskihid on palju tihedamad kui Valchromati omad. Põhjus on selles, et Valchromat on homogeensem materjal kui MDF. Seega ei ole Valchromati välispinda tehnoloogiliselt üle töödeldud. MDF-i välispind sisaldab rohkem karbamiidformaldehüüdi, mis annab tema väliskihile eriti kõva pinna. Siiski nende tulemused ei erine palju üksteisest.

Valchromatil on siiski eelis, sest MDF-i plaadil kõvadusarv alaneb juba peale paari millimeetri sügavusjälje pressimist. Valchromati kõvadus on läbi plaadi ristlõike ühtlane.

### ***3.4.1 Materjali pundumise katse tulemused***

Katsetulemustest on näha, et enamus pundumist toimus materjali paksuses. Joonisel 22. on toodud üldine pundumise protsent ja paksuses pundumise protsent. Üleüldises arvestuses on arvestatud materjali mahtu kuupmeetrites ja massi kg-des enne ja pärast katset. Protsendid näitavad katsekehade pundumist, massi ja mahu kasvu niiskuse suurenedes. MDF-i paksus pundus 3 mm, mis iseenesest on hea tulemus. Siiski jäi plaatmaterjalide seas see keskmiseks tulemuseks. Puitlaastplaadil ei ole erilist veekindlust, sest laastud imevad endasse hästi niiskust ja tänu suurtele õhuavadele liigub vesi hästi läbi materjali. Puitlaastplaat paisus ühtlaselt 6 mm ehk üle kolmandiku oma mõõtmetest, mis on piisav kasv, et muuta toode kõlbmatuks. Valchromat paisus paksuses aga vaid 1,7 mm. See kinnitab tema niiskuskindlust, kuigi tulemus 3% suurem kui tootja poolt lubatud. Siiski on Valchromat plaatmaterjalidest kõige ligilähedasema tulemusega tootja antud andmetele.

Täispuitmaterjal paisus paksuses ainult 1,2 mm, mis on lubatud piire arvestades isegi alla normi. Täispuidu paisumist mõjutavad erinevad tegurid: aastarõngaste tihedus, kiudude lõike suund, kas siis tangentsiaalne või radiaalne. Okste juures on paisumine palju väiksem, kui just ei ole tegu mäda-oksaga. Liimikilbis mängib palju rolli ka lamellide laius ja lamellide aastarõngaste paigutus. Tabelis on ära toodud mahus lubatud paisumine. Täispuidu paisumine olenevalt puidu liigist õhuniiskuse muutumisel on pikkuses 0,3%, radiaal-suunaliselt 1%, ja tangentsiaal-suunaliselt 2%.



**Joonis 22.** Materjalide pundumine vees 24h jooksul

## 4. ANALÜÜS

Käesolevas peatükis analüüsitakse ja võrreldakse seotisi ja materjale katsetulemuste põhjal. Iga alapeatüki lõpus tuuakse välja ka seotise või materjali individuaalsed diagonaal tõmbekatse tulemused.

### 4.1 Seotiste analüüs

Katsekehad käitusid erinevates nurkühendustes väga erinevatel viisidel. Mõnedes nurkühendustes oli probleemiks liimi imendumine materjali - seega purunesid paljud nurkühendused kohesiivselt, kuid samuti oli nurkühendusi, kus purunes pigem materjal kui liim. Täispuitmaterjalides mängisid rolli aastarõngad ja materjali tihedus. Plaatmaterjalidel mängis peamist rolli sise- ja väliskihtide adhesioon. Katsetulemustest tulenevalt saab seotisi järjestada tugevuse järgi nii: rööptappseotis, eerungseotis, tüübelseotis, sileservseotis ja lamelltüübelseotis. Materjalide puhul kui jätta välja kõrvalekalded ja erisused, siis üldine järjestus on: kask, mänd, Valchromat, MDF ja PLP. Tabelis 15 on toodud käesolevas töös kasutatud seotise paremusjärjestus.

**Tabel 15.** Seotiste paremusjärjestus materjaliti

<b>Materjal</b> <b>Seotis</b>	<b>Kask</b>	<b>Mänd</b>	<b>MDF</b>	<b>PLP</b>	<b>Valchromat</b>
<b>Sileservseotis</b>	I	III	V	IV	II
<b>Eerungseotis</b>	I	II	IV	V	III
<b>Tüübelseotis</b>	I	IV	II	V	III
<b>Lamelltüübelseotis</b>	I	II	III	V	IV
<b>Rööptappseotis</b>	I	II	IV	V	III

Tabelis 16 on näha, kuidas autor hindab seotiste efektiivsust nii tugevuses kui ka kasutus otstarbekuses. Välistatud on seotised, mille valmistamine võtab liiga palju aega ja annab liiga vähe tulemusi.

**Tabel 16.** Autoripoolne soovituslik seotiste kasutamine, tulemuste põhjal.

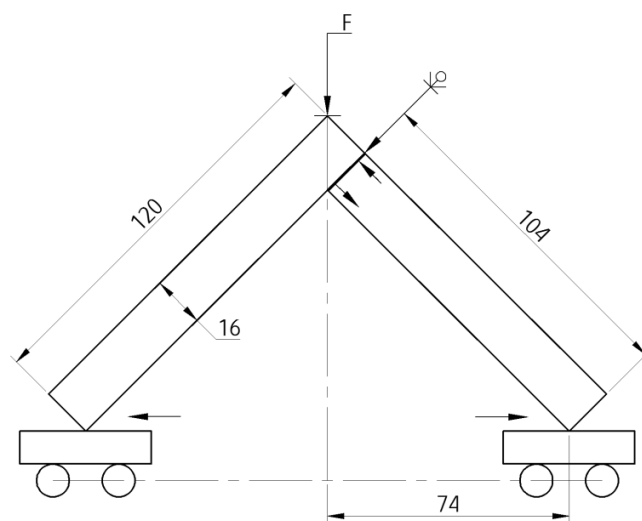
Seotis	Sileservseotis	Eerungseotis	Tüübelseotis	Lamelltüübelseotis	Rööptappseotis
Materjal					
<b>Kask</b>	0	X	X	~	X
<b>Mänd</b>	0	X	X	~	X
<b>MDF</b>	~	X	X	~	*
<b>PLP</b>	~	X	X	~	*
<b>Valchromat</b>	~	X	X	~	*

(X-Soovitatav, ~ -Vajadusel, \*-Liiga palju tööd-vähe tulemust, 0 - ei ole soovitatav)

#### 4.1.1 Sileservseotis

Sileservsetis oli kõigi tulemuste kontrollgrupiks. Ainus asi, mis seda seotist koos hoidis oli liim. Palju mängisid rolli materjalide välimised kihid. Seotises olid liimi kogused samad, aga tulemused erinesid omavahel ikkagi väga palju.

Sileservseotise puhul tulenes enamus purunemist materjali välispinnalistest kiududest. Vaadeldes joonist 23 siis on näha, et kiude sikutati detaili keskme poolt, mitte servast. Servale ostus survejõud, mis kiude lahti ei tiri. Katsekeha sisemisele küljele mõjus tõmbejõud, kus jõu suurenemisel hakati kiude materjalist lahti tõmbama. Katsekehade pildid lisas 6. Materjalides olid suur erinevus muidugi täispuudu ja plaatmaterjalide vahel. Täispuudu katsetusel mängis rolli puidu tüüp ja aastarõngaste samm, aga plaatmaterjalide puhul peamiselt väliskihtide tugevus.

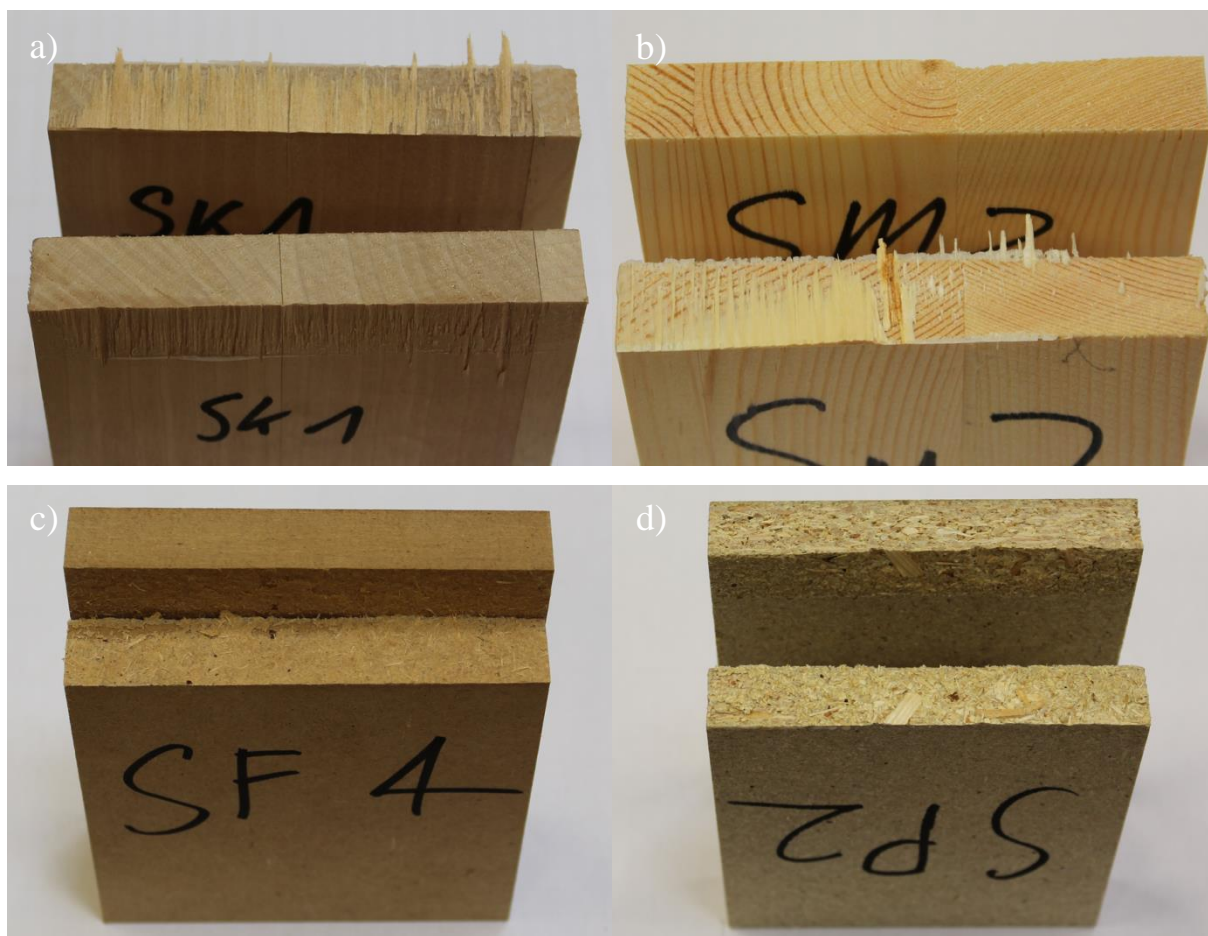


**Joonis 23.** Sileservseotisele diagonaalsel tõmbekatsel mõjuvad jõud



Hajusoonelises puidus on pikikiud väga ühtlase tihedusega ja ristikiud väga tugevad, seega ei purunenud ühendus nii kergesti. Vaadeldes joonist 24.a on näha, kuidas detaili siseküljest on sikutatud kiudusid serva poole. Kiud on püstised ja materjali pinnast väljapoole ulatuvad. Siinkohal on näha, et liimühendus pidas tõmbele vastu, kuid materjal mitte.

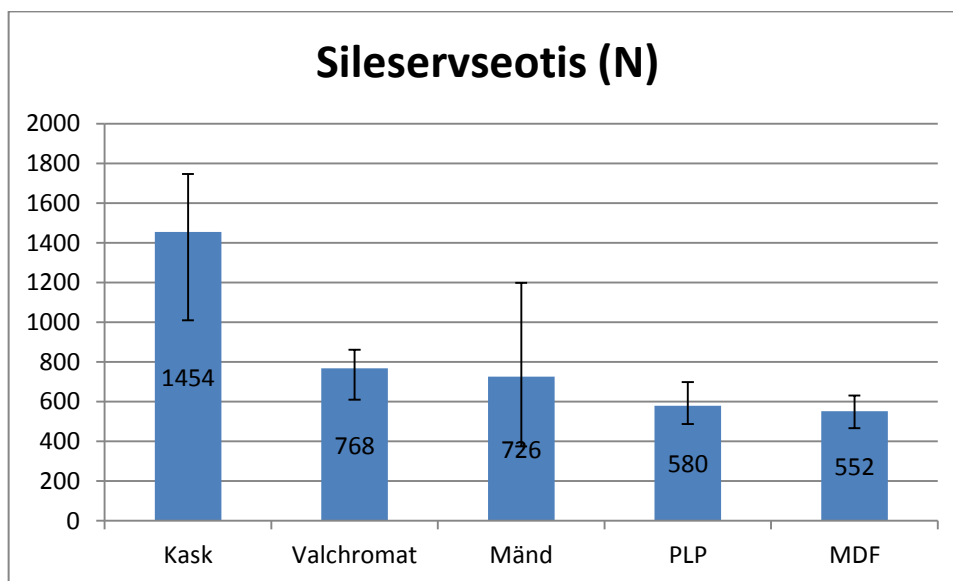
Valchromati kiud on enamvähem ühtlased läbi materjali. Seega kiud pidasid tõmbele piisavalt kaua vastu. Visuaalsel uurimisel näha, et välimine pind on materjalilis järgi andnud ca.1-2mm sügavuselt. Kiud on siiski lahti andnud ühtlaselt detaili laiuse ulatuses. See tähendab, et liim on pinnale ühtlaselt kantud ja paar millimeetrit materjaligi imendunud.



**Joonis 24.** Sileservseotise katsekehad peale tõmbekatset **a)** kask **b)** mänd **c)** MDF **d)** PLP  
MDF-i välimised kihid pidasid niikaua vastu kuni keskmised kihid rolli mängima hakkasid ja välimistest kihtidest järgi andsid (Joonis24.c). Materjali puhul oli pinna murdumine 2 mm. Kui Valchromatis olid kiud ühtlaselt lahti sikutatud, siis MDF-i puhul võis kohata kiu kimpe ehk kiukogumikke. MDF-i tulemus oli sileservseotise puhul materjalidest nõrgim. Põhjuseks nõrk sisesidusus väliskiudude ja sisemiste kiudude vahel.

Puitlaastplaadil on väliskihi paksus 3mm. Puitlaastplaat andiski järgi keskmise kihi välimisest servas, ehk katsekehad purunesid kõik keskmistest kihtidest. Sellest tulenes ka nõrk tulemus. Puitlaastplaadi puhul ei saanud täheldada liimist purunemist, sest materjal purunes enne. Visuaalsel uurimisel on näha, et väliskihi all on palju suuremad laastud (Joonis 24.d). Siit saab järeldada, et sisemiste kihtide laastude ja välimiste kihtide peenikeste laastude vahel on nõrk adhesioon.

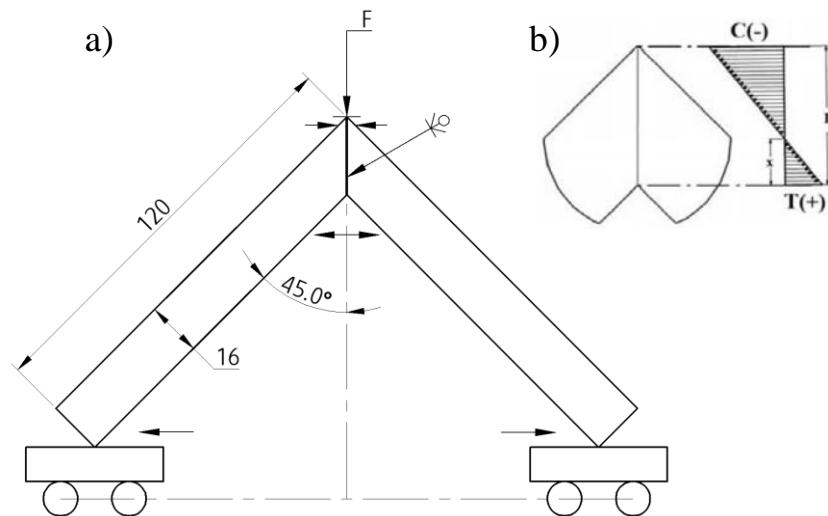
Männipuidu tulemused on peaaegu kaks korda väiksemad kui kasepuidu puhul. Männipuidul ei ole kiud nii tihedasti paigutatud ja on see seega kergemini lõhenev. Kuigi kiudude mõõtmed pinnal oli väga väiksed, siis nende purunemise osakaal kohesiivsusega oli võrdne. Kiudude suurus varieerus väga palju katsekehades (Joonis 24.b). Kiude on palju tulnud välja ka detaili keskmisest poolest. Tänu sisemise pinna tõmbejõule on liimühenduse perimeetrist kiude ka paar sentimeetrit väljast poolt kaasa tõmmatud. Joonisel 25 on näha, et männipuidust liimliite tugevuse miinimum ja maksimum tulemused on väga suure vahega. See näitab, et täispuit materjalides on katsetuste tulemused väga suure erinevusega. Seda mõjutavad puiduehitus omadused.



**Joonis 25.** Sileservseotise diagonaalse tõmbekatse tulemused.

### 4.1.2 Eerungseotis

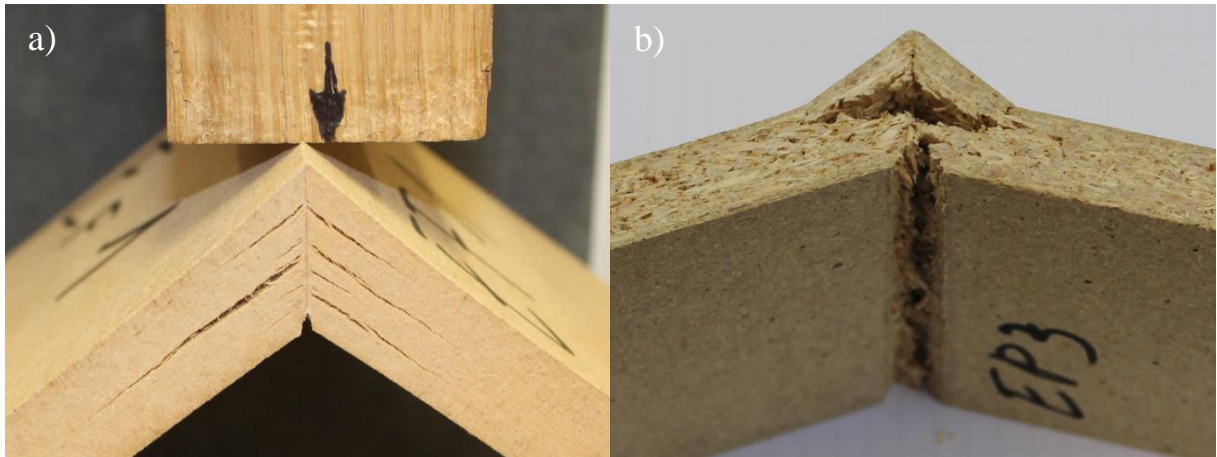
Võrreldes sileservseotisega on tulemused palju paremad eerungseotises. Põhjuseks 1,4 korda suurem liimi pindala ja teistsugused tõmbe/surve jõu nurgad. Vaadeldes joonist 26.a siis on näha, et jõud töötavad hoopis teise nurga alt kui sileservseotise puhul. Joonisel on näha, kuidas välimised kihid kokku surutakse ja sisemised kihid lahti sikutatakse. Joonisel 26.b on näha, kuidas eerungseotise tipu lähedal on suured survepinged ja alumises osas tõmbepinged.



**Joonis 26. a)** Eerungseotisele diagonaalsel tõmbel mõjuvad jõud **b)** Tõmbel mõjuvad jõud (Mosayeb, *et al*, 2013)

Täispuitmaterjalides oli selle katsepuhul materjali kiud samasuunalised. Mõlemal detailil oli liimi pind ristlõike pinnal. Selles katses andis järgi ainult liimi adhesioon. Vähesel määral sikutati katsekeha pinnast välja väikseid kevadpuidust kiude. Katse tulemustest on näha (vt joonis 28), et täispuitmaterjalid saavutasid oma vastupidavusega hea tulemuse. Männi ja kase puidu tugevuse vahe on siinkohal ainult 205N.

Plaatmaterjalides on vahed materjali omaduste tõttu silmnähtavalt suuremad. Selles katses said suuremat tõmmet/survet keskmised kihid, seega enamustes plaatmaterjalidest tekkisid mõrad just seal. Siinkohal tuleb välja, et Valchromat purunes peamiselt adhesiivselt.

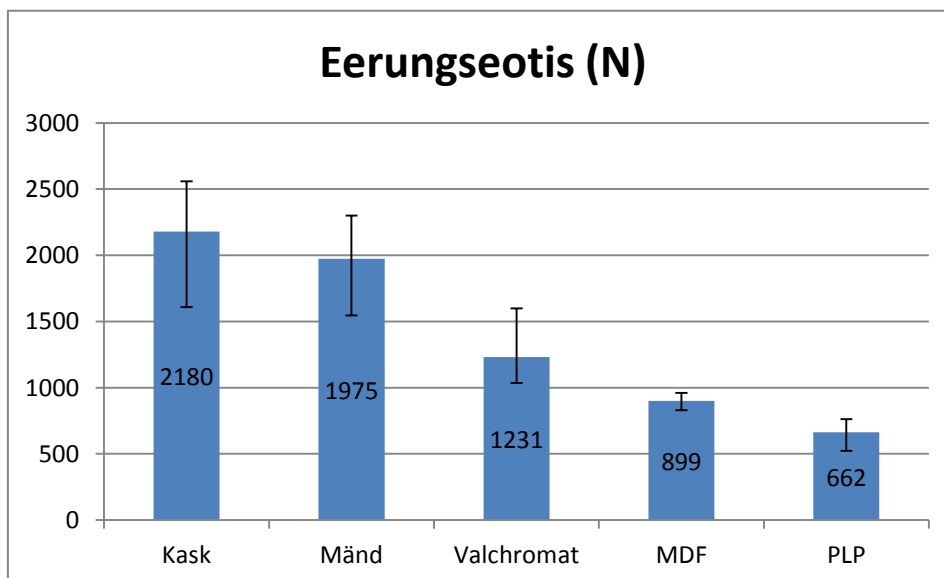


**Joonis 27.** Eerungseotise katsekehade deformatsioonid **a) MDF b) PLP)**

MDF-il andsid järgi keskmiste kihtide kiud. Puitlaastplaadi vastupidavus sõltus vaid välimistest kihtidest. Keskmised kihid purunesid kohe. Siinkohal tuli välja väga huvitav nähtus: PLP välispinna välimine kiht ei purunenudki vaid umbes 3 mm jäi kinni hoidma (Joonis 27.b). See oli nii sellepärast, et eerungseotisel töötavad väliskihid vaid survele, mitte tõmbele.

Liimi ühtlus eerungseotise ühenduspinnal võib puitlaastplaadi materjali vastupidavust tõsta kuni 10%. Liimühenduses täidab PVA puitlaastplaadi lõhed ja seob puidu laaste omavahel, eriti sisekihtides, kus on väiksem tihedus ja rohkem tühimike. (Norvydas, *et al.*, 2012)

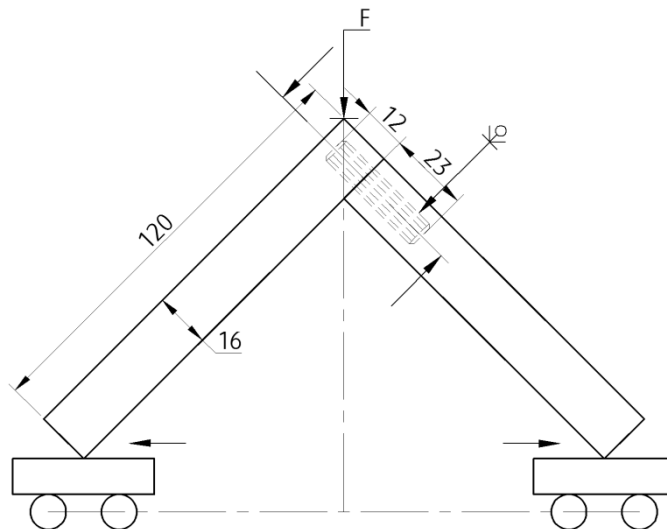
Norvydas-e parim katsetulemus otsjätkatud eerungseotisel puitlaastplaadis oli 908N (*Ibid.*). Käesolevas töös oli PLP parim tulemus eerungseotises 762N.



**Joonis 28.** Eerungseotise diagonaalse tõmbekatse tulemused

### 4.1.3 Tüübelseotis

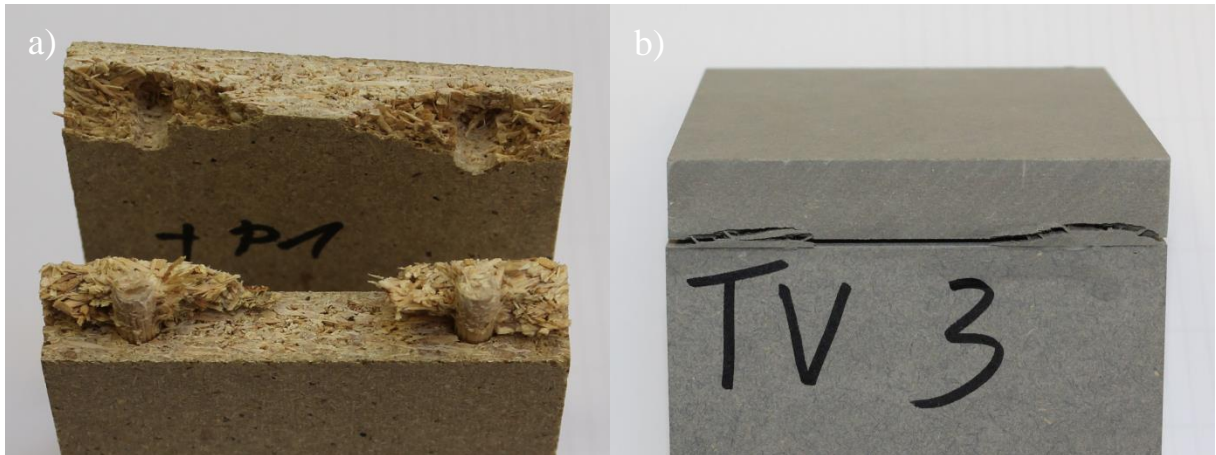
Katsetulemustest võib näha (vt joonis 32), et tulemused erinevad katseseerias ainult 265 N võrra. Sellel katsel sai määravaks tüübli liimipind ja liimikihi paksus. Selle katse jooksul tõmmati tüübel liimist lahti. Peale liimühenduse nõrkemist jõud langesid ja tüüblid hakkasid materjali kiude murdma, ühelt katsekeha poolelt survele ja teiselt poolt tõmbele (vt joonis 29). Nähtust saab nimetada kangiefektiks.



**Joonis 29.** Tüübelseotise diagonaalsele tõmbekatsel mõjuvad jõud

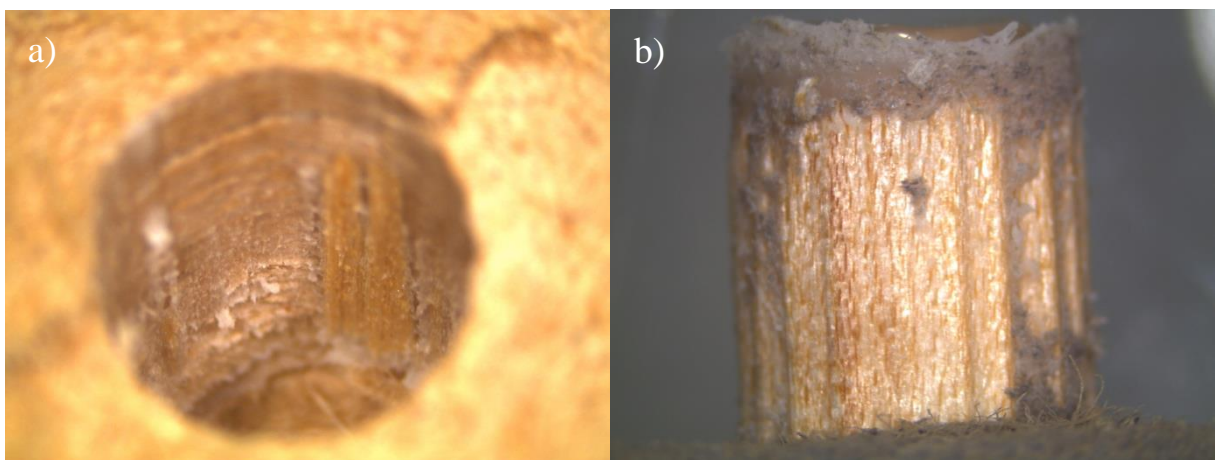
Selle katse peamiseks mõjutavaks faktoriks sai materjalide liimiimavus. Tüüblid on väga kuivad, neis on ligikaudu 5-7% niiskust. Seega liimiga kokkupuutel hakkasid tüüblid niiskust imama. Tekkis võistlusmoment, kumb jõuab rohkem niiskust siduda. Samuti on üleüldine liimipind väiksem kui teistel seotistel va. sileservseotis.

Kasepuidu tulemus on teistest parem, sest tüüblid olid samuti kasepuidust valmistatud ja liimimendus mõlemasse materjali võrdselt. Uurides kasepuidust tüübli ava mikroskoobi all on selgelt näha ühtlane liimi kiht avause seintel. Tükikesi liimist on puruks sikutatud ja liim on tüübli tõmbele ka kohati kaasa veninud. Sellest saab järeldada, et liimikiht oli ühtlane ja siduvus tüübli ja materjali vahel oli piisav. Vähesel määral oli kohata ka aastarõngaste nihet katsekehas.



**Joonis 30.** Tüübelseotise katsekehad peale diagonaalset tõmbekatsetust **a)** PLP **b)** Valchromat

Männipuidust seotiste tulemusi mõjutas oluliselt tüübli asukoht. Tüübel oli väga ristlõike serva lähedal ja seega väiksema sisemine pinge lõi aastarõngastesse mõrad. Sellepärast purunesid katsekehad juba väga vähese jõu juures. Mikroskoobi uuringul oli näha tüübli peal palju männipuidu tükikesi ja kiude, mis oli väljatõmbamisel tüübli külge jäänud. Tüüblit uurides on näha väikeseid kilde, mis on tüüblist puudu. Sellest saab järeldada, et liim suutis siduda mõlemat materjali ühtlaselt. Tõmbel lihtsalt andsid nõrgemad kohad kergemini järgi.

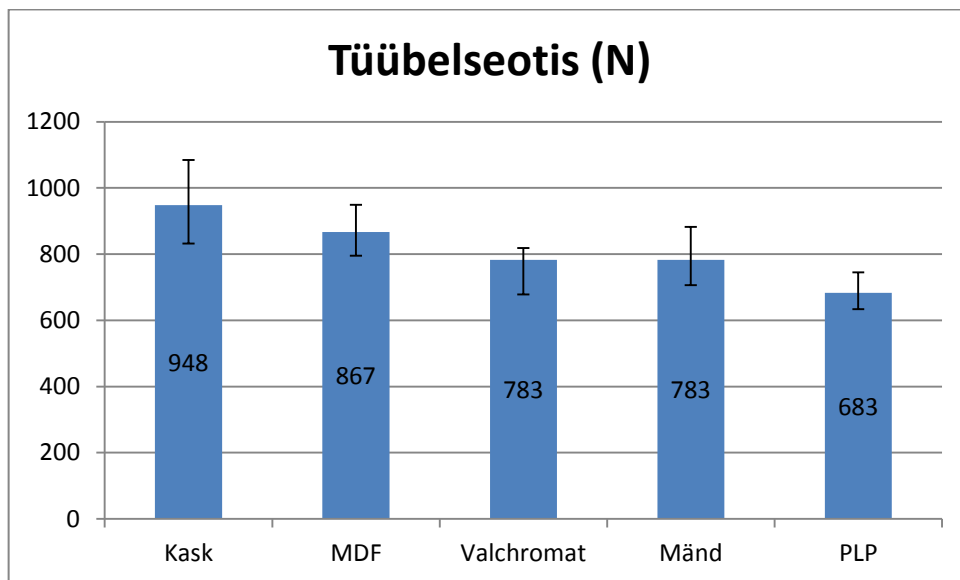


**Joonis 31. a)** Tüübli auk MDF-is (Suurendus 8x) **b)** Tüübel Valchromatis (Suurendus 8x)

Plaatmaterjalide tulemusest on näha, et need olid piisavalt kuivad, et enesesse liimi imada. Valchromat on seega MDF-i tulemusest veidi tagapool. Selle põhjuseks on Valchromati hea niiskuse vastupanu, ehkki see imas niiskust aeglasemini. Seetõttu ei imendunud liim piisavalt sügavale materjal. Mikroskoobi all tüübli pinda uurides on näha (vt joonis 31.a), et tüüblit katab liim ja vähesed pisikesed materjali kiud. Selle probleemi vastu aitab tüübliavade eel-liimitamine.



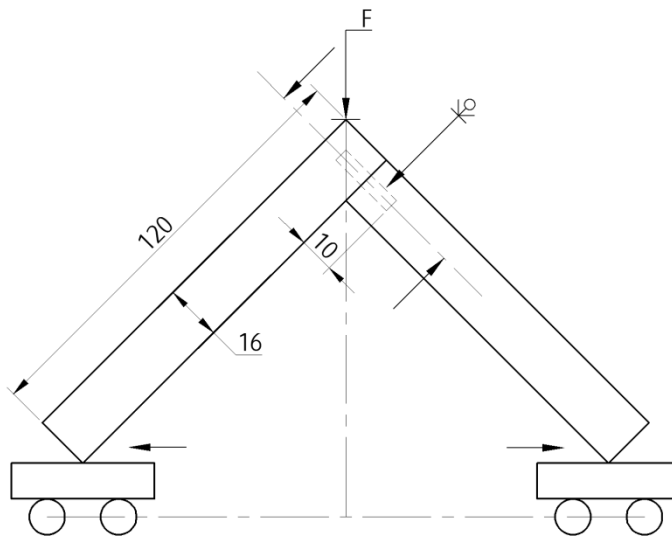
Puitlaastplaadi puhul on peamine seotiste purunemise põhjus tema sisemiste kiudude ehitus. PLP sisemised kiud on väga õhulised. Seetõttu sisaldab materjal palju õhku, sest struktuuris on palju avausi. Seega vähenes tegelik liimipindala tüüblis ja katsekeha oli teistega võrreldes tunduvalt nõrgem. Katsetulemusi vaadeldes on näha, et katsekeha sisemiselt poolt on liim purunenud. Välimisest servast on materjal täielikult purunenud ja purunenud osa on tüübli küljes. Välja kisuatud tükide suurused on ca. 40mm (Joonis 31a).



**Joonis 32.** Tüübelseotiste diagonaalse tõmbekatse tulemused

#### 4.1.4 Lamelltüübelseotis

Lamelltüüblite katsetulemustest on näha (joonis 35), et nende tulemused on võrreldes teiste katsetega kõige nõrgemad. Põhjus on sama mis tüüblite puhul: lamelltüübel on väga kuiv ja hoopis teisest materjalist kui katsekehade materjalid. Lamelltüübel on disainitud nii, et ta hakkaks niiskuse juurdepääsul paisuma, et ühendus muutuks tugevamaks. Plaatmaterjalides sai määravaks nende sisekihtide sisesidusus. Kõik tulemused erinevad üksteisest vaid paarikümne Njuutoni võrra, kuid purunemise põhjused olid iga materjali puhul erinevad. Lamelltüübel katsekehale mõjusid samad jõud, mis tüübelühendusele (joonis 33).



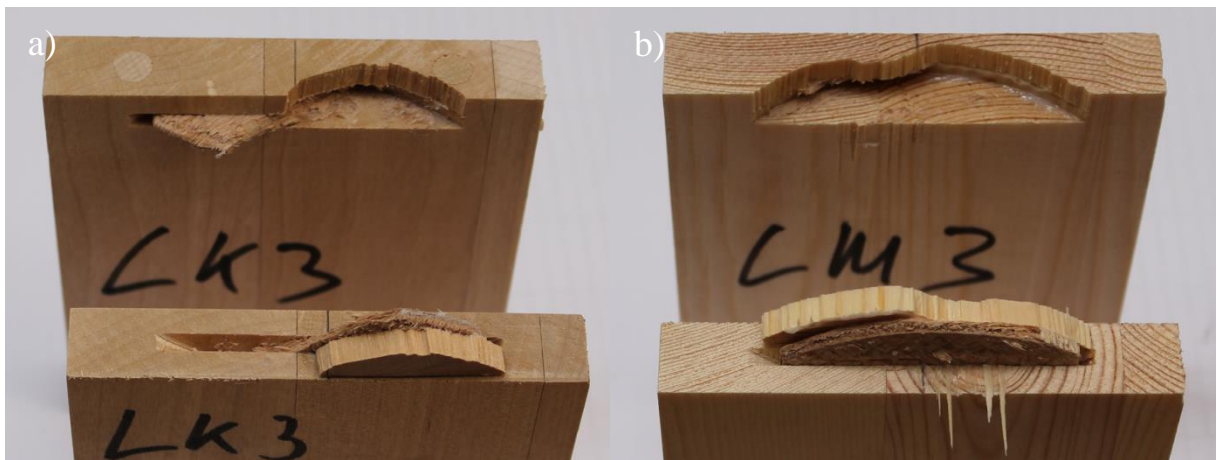
**Joonis 33.** Lamelltüübelseotisele mõjuvad jõud diagonaalse tõmbe katsetusel.

Kui vaadelda niiskuskindlat Valchromati siis see ei jõudnud liimi piisavas koguses ja piisavalt sügavale imada. See on ilmne faktist, et katse tulemusena sikutati väga õhukene kiudude kiht Valchromati sisekihtidest välja. Lamelltüüblit vaadeldes on näha, kuidas lamelltüübel on kaetud ühtlase õhukese Valchromati kiudude kihiga. Katsetustes võis kohata ka lamelltüübli kilde lamelltüübel avauses. Visuaalsed tulemused sarnanesid päris palju MDF-ile.

Täispuitmaterjalides purunesid nii liimühendus kui lamelltüübel. Puidust purunemine toimus nihkepingete tõttu. Kohata võis ka materjali purunemist ristlõikes. Enam kui pooltel katsetel võis täheldada kõiki kolme tüüpi murdeid. Kasepuidul läks lamelltüübel pooleks ja peamiselt ühel poolel murdus kasepuit ristlõike servast (Joonis 34.a). See tähendab, et enamus jõude seotises olid võrdsed: nii materjali vastupanu kui lamelltüübli liimitatus seotises. Männipuidu puhul jäi enamasti lamelltüübel terveks, kuid purunes ristlõikes lamelltüübli ulatuses. Seega

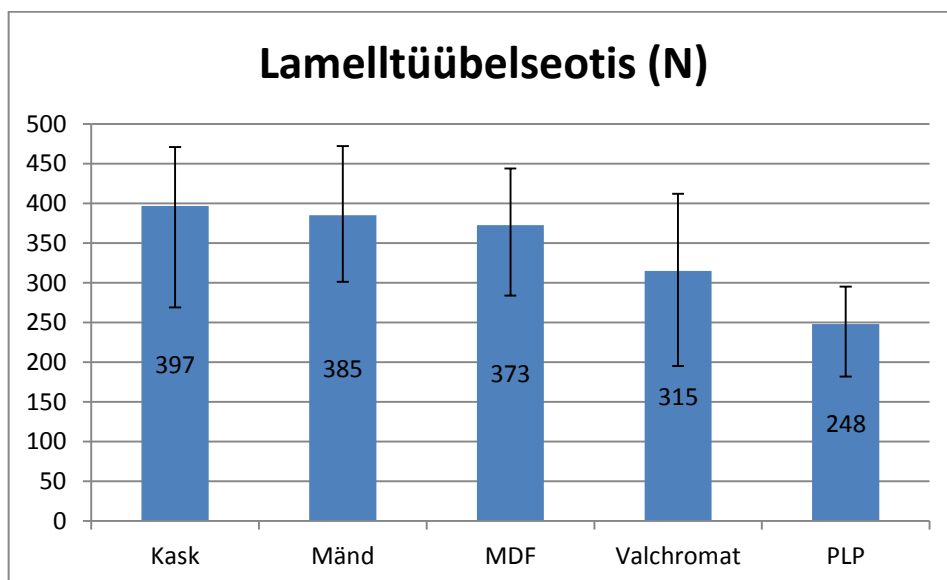


ühelt pinnalt tõmbasid tõmbejõud kiud lahti ja teiselt poolt pinda tõmbejõud purustasid materjali (Joonis 34.b).



**Joonis 34.** Lamelltüübliseotise katsekehad peale katsetust **a)** Kask **b)** Mänd

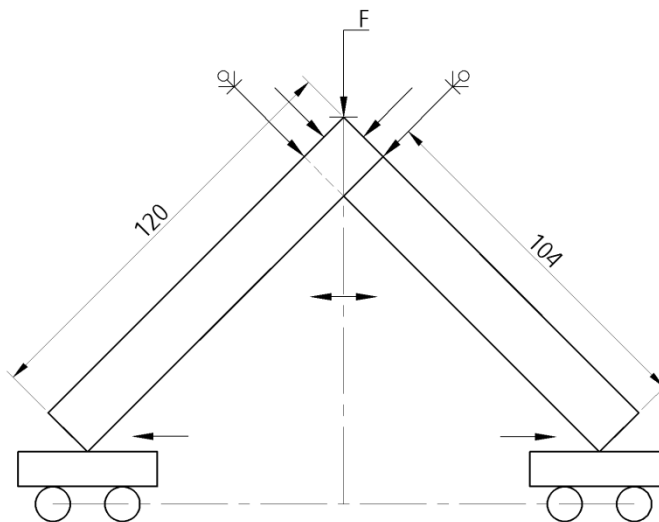
Puitlaastplaadi servas lamelltüübelseotis ei andnud erilisi tulemusi. Peamiselt purunes ühendus materjalist. Lamelltüübel paiknes väga materjali serva lähedal. Teadagi ei ole puitlaastplaadi sisemised kihid eriti efektiivsed jõu vastupanule. Seega tõmbejõud purustasid materjali kergesti. Katsekeha siseküljelt sikutati lamelltüübel liimist lahti.



**Joonis 35.** Lamelltüübel seotise diagonaalse tõmbekatse tulemused

#### 4.1.5 Rööptappseotis

Rööptappseotis on kõigist katsetulemustes kõige vastupidavam. Head tulemust näitasid ka plaatmaterjalid, kus seda seotist enamasti ei kasutata (vt joonis 38). Tänu oma suurele liimliite pindalale ja heale materjali sidumisele on see väga efektiivne nurkseotis. Tema nii-öelda tapikeeled töötavad risti üksteiste pikikudude suhtes. Samuti on ristipind ühenduses radiaalpinna (vt joonis 36). Selline kiudude ühendamise mitmekesisus annabki seotisele tema tugevuse. Seda tüüpi seotise puhul on ka tapikeele paksus määravas rollis, sest kui seotis ei ole eeltoodud valemi järgi valmistatud siis võib tulemus jääda väga nõrgaks.



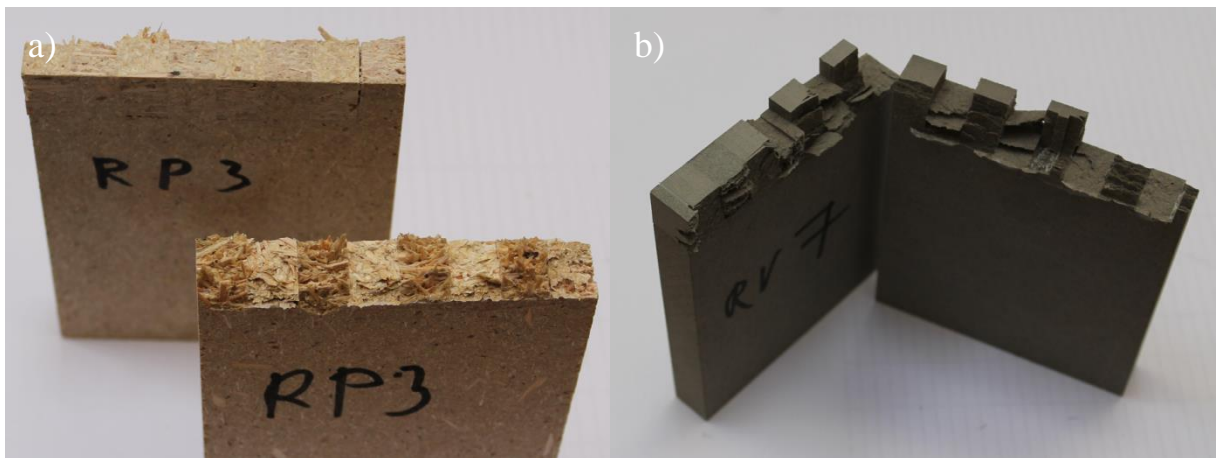
**Joonis 36.** Rööptappseotisele mõjuvad diagonaalse tõmbekatsetusel

Parim tulemus rööptappseotise juures oli jälle kasepuidul. Visuaalsel uurimisel on kohati märgata mõne tapikeele vähest kildumist. Seotis purunes peamiselt liimühendusest. Siit saab järeldada, et jõud materjalides olid võrdsed ja mõlemad pinnad pidasid vastu tõmbele, seega purunes seotise kõige nõrgem osa mis selle seotise puhul oli liim.

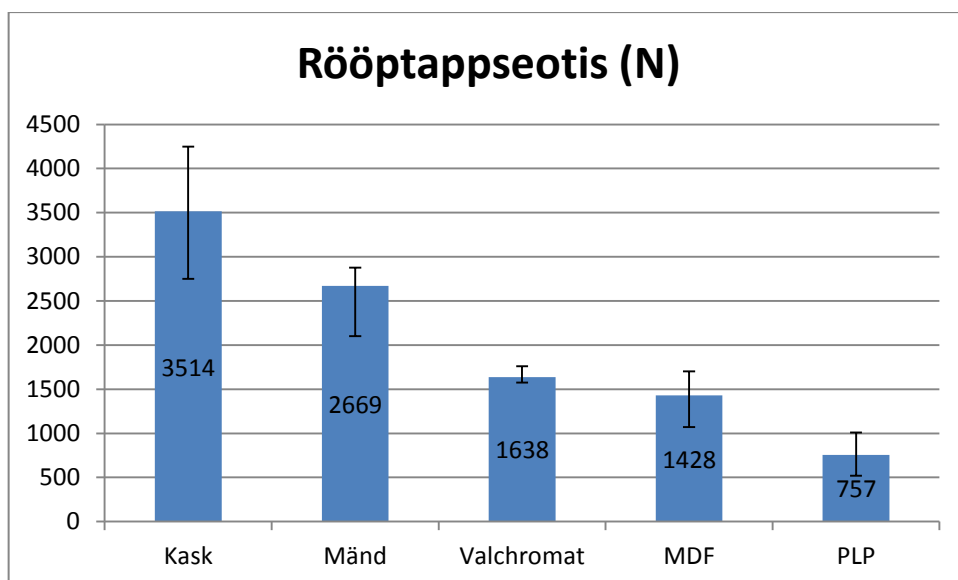
Ka männipuidu tulemused olid selles seotises väga head, kuigi visuaalne kasepuidu omadest väga erinev. Katsekeha purunes liimist, kuid esines ka mõranemisi ja lahti rebimist aastarõngaste juures. Paljudel katsekehadel jäi pool tapikeelest tapipesasse. Seega seotis purunes nii liimist kui ka materjalist.

Valchromat materjalist valmistatuna purunes see seotis teistega võrreldes väga erinevalt. Seotis purunes vähesel määral liimühendusest, enamasti purunes materjal. Kohata võis mõranemist suurel määral tapikeelte keskel, mõlemal katsekeha puhul. Ülejäänud pooltel katsetel purunes materjal tapikeelte algusest, jättes seotise liimliite osa terveks. Nagu joonisel

36b. näha, katseseerias oli kohata ka juhtumeid, kus samalaadne purunemine toimus mõlemal katsekeha detailil.



**Joonis 37.** Rööptappseotise katsekehad peale tõmbekatsetust **a) PLP b) Valchromat** MDF-i tulemused sarnanesid Valchromati omadele. Katsekehad purunesid materjalist, kuid mõlemad detailid purunesid katsekehas sarnaselt (vt lisa 6.15a). PLP purunes selles seotises ainult materjalist. Liimühendus jäi siin katsetustes täielikult terveks. Siiski tulemus oli siiani PLP parim. Samas joonisel 37.a on näha, miks seda seotist ei saa kasutada plaatmaterjalide puhul. Purunemine toimus tapikeeltes, seega jäi seotis ise praktiliselt terveks.



**Joonis 38.** Rööptappseotise diagonaalse tõmbekatse tulemused

## 4.2 Materjalide analüüs

Materjalide paremusjärjestust seotiseti saab näha all olevast tabelist 17. Tabelist on selgesti näha mis materjalid andisid paremaid tulemusi üksteise suhtes. Käesolevas peatükis analüüsitakse materjali käitumist diagonaalsel tõmbel.

**Tabel 17.** Materjali paremuse järjestus seotiseti

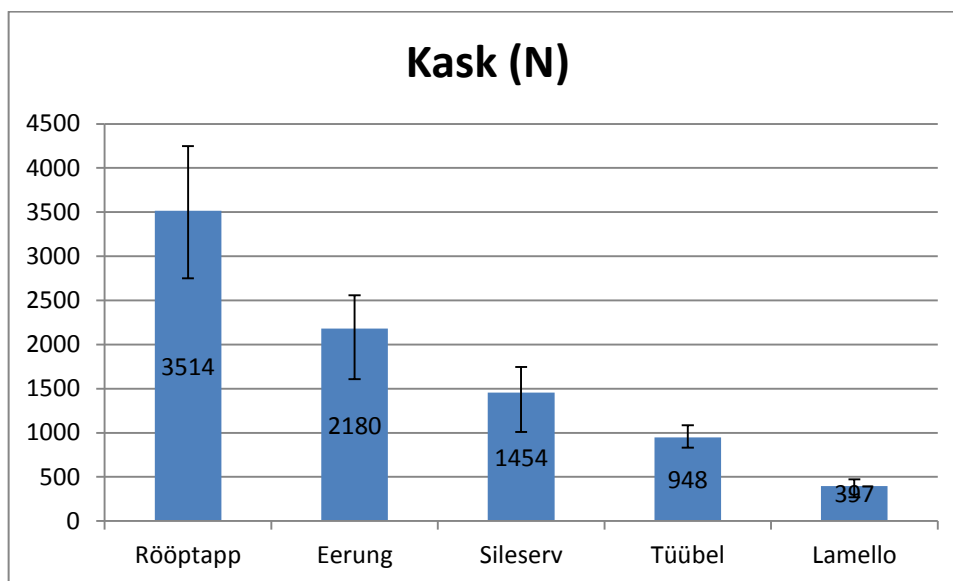
<b>Seotis</b> <b>Materjal</b>	<b>Sileservseotis</b>	<b>Eerungseotis</b>	<b>Tüübelseotis</b>	<b>Lamelltüübel- seotis</b>	<b>Rööptappseotis</b>
<b>Kask</b>	III	II	IV	V	I
<b>Mänd</b>	IV	II	III	V	I
<b>MDF</b>	IV	II	III	V	I
<b>PLP</b>	IV	III	II	V	I
<b>Valchromat</b>	IV	II	III	V	I

### 4.2.1 Kasepuidust seotised

Kasepuidu katsete tulemused põhjal võib öelda, et see oli kõigist selles töös käsitletud materjalidest kõige vastupidavam. Tulemustest on näha, et erinevad ühendusviisid andsid erinevaid tulemusi. Vaadeldes miinimum ja maksimum katsetulemusi kasepuidust liidete puhul (vt joonis 39), siis võrreldes teiste materjalidega on erinevus suur. See tähendab, et katsetusel mängisid täispuidu omadused väga olulist rolli. Võrreldes männipuiduga tehtud katsetuste miinimum ja maksimum tulemusi, siis mõnedes seotistes oli männipuidust liite maksimum tulemus palju tugevam kui kase miinimum tulemus, seega täispuitmaterjalide puhul oli nendevaheline võistlusmoment olemas. Keskmisi tulemusi arvestades olid aga kasest katsekehad tugevamad. Kasepühul olid katsetulemused ühtlasemad kui männi omad sellepärast, et kasepuidul ei mängi aastarõngad nii palju tugevuses rolli kui männil.

Tulemustes saab järeldada, et kasepuit on igati hea materjal erinevate seotiste kasutamiseks. Selle määravad hea liimi imavus ja füüsikalised omadused. Kask ei pruugi olla kõige tugevam

lehtpuu, kuid okaspuidu ja plaatmaterjalide võrdluses on ta neist kindlasti tugevuse poolest parim valik.

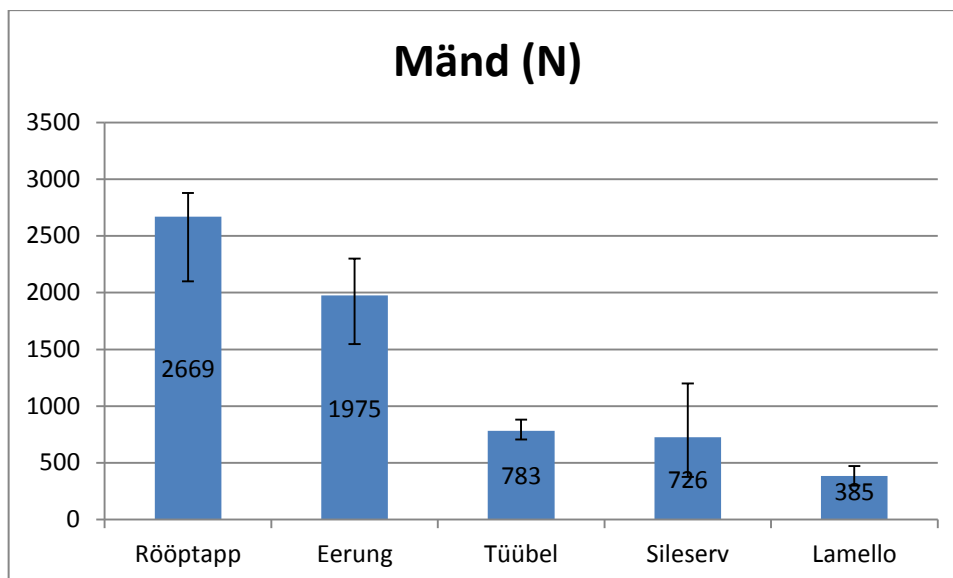


**Joonis 39.** Kasepuidust seotiste diagonaalse tõmbekatse tulemused

#### **4.2.2 Männipuidust seotised**

Männipuidust erinevate seotiste katsetulemused oli enamasti paremad kui plaatmaterjalide omad (vt joonis 40). Siiski pidas sileservseotises männipuidust paremini vastu Valchromat ja tüübelseotises MDF (männipuidu tulemused olid tüübelseotise puhul Valchromatiga võrdsed). Määravaks said tüübli ja liimiliite asukoht seotises. Siit saab järeldada, et männipuit on nõrgemate omadustega just servades. Seal tekib kergemini kildumine ja lõhenemine. Selle põhjuseks võib olla asjaolu, et puidust eraldub niiskus kiiremini servadest kui keskmisest osast ning selle tulemusena on servad rabedamad. Vaadeldes miinimum ja maksimum piire männipuidust seotiste tugevuses, siis nendevaheline erinevus ei ole nii suur kui kasepuidu juures. See näitab, et männipuidu omadused varieeruvad vähem kui kasepuidu omadused. Männipuidu tugevuse puhul on enamasti määravaks aastarõngaste kasv. Tänu laialdasele kasvupiirkonnale ja liigi rikkusele erineb männipuidu aastarõngaste laius väga palju.

Katsetulemustel sai peamiselt määravaks kildumine ja lõhenemine katsekeha otstes (Lisa 6).



**Joonis 40.** Männipuidust diagonaalse tõmbekatse tulemused

#### 4.2.3 Medium density fiberboard seotise materjalina

MDF-i tulemused olid väga mitmekesised ja jäid vaevu alla Valchromatile, välja arvatud tüübel- ja lamelltüübelseotiste tulemustes (vt joonis 42). Siiski tüübelseotise tulemused olid isegi männipuidust paremad. MDF-i ühendamisel on laialt levinud sileservseotis. Antud töös tuli välja, et on palju teisi otstarbekamaid ühendus viise MDF-i

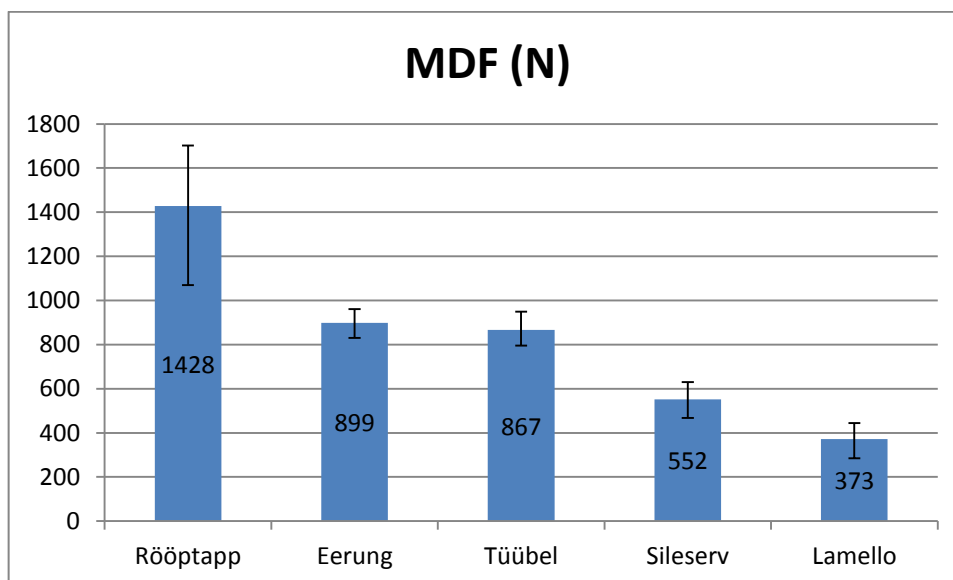


**Joonis 41.** MDF-i purunenud kiud 32x suurendusega

ühendamisel kui seda on sileservseotis. Nurkseotise kasutamise puhul MDF-is on

soovitav pigem eerungseotis või siis eerungseotis modifitseeritud kujul, lisades eerungile lamelli või tüübli. MDF-i peamiseks probleemiks nurkühenduses oli tema kihilisus, kuna plaadi välimine kiht on palju kõvem kui sisemine. Enamasti toimus mõranemine ja kildumine ikkagi sisekihtides või andis sisekiht väliskihist kergesti lahti (joonis 41). Paljudel juhtudel oli liimühendus tugevam kui materjal. Seega seotised purunesid materjalist mitte liimühendusest.

Miinumum ja maksimum tugevuspiiride vahet vaadates on näha, et võrreldes eelmiste tulemustega on vahe väga väike. See tähendab, et kõik katsekehad purunesid ühtlaselt ja sarnaselt.

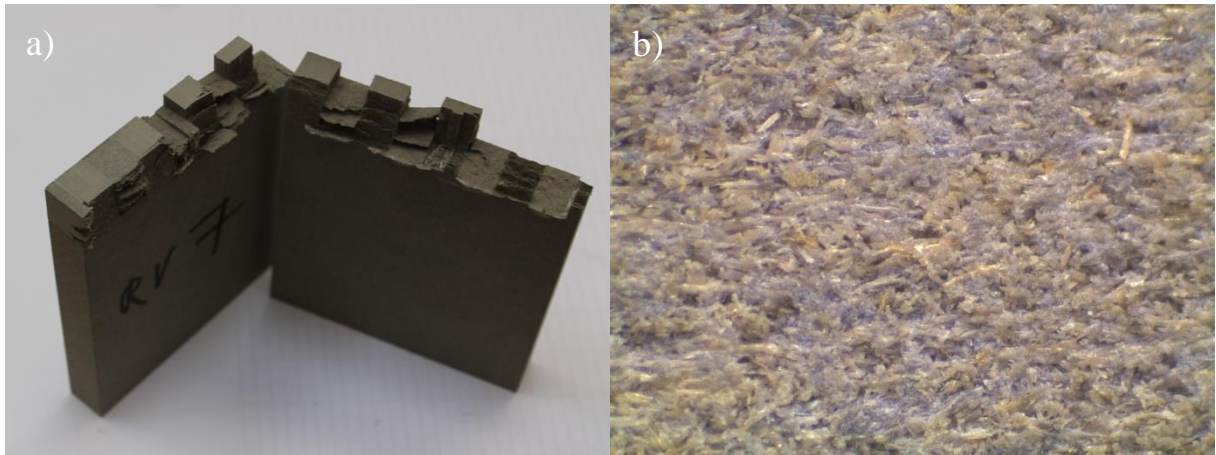


**Joonis 42.** MDF-ist seotiste diagonaalse tõmbekatse tulemused

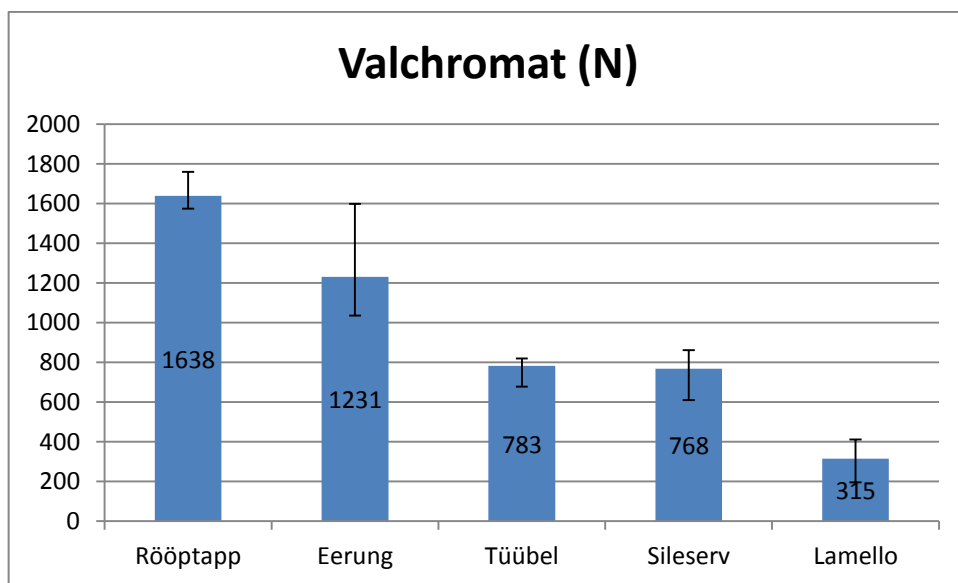
#### **4.2.4 Valchromat seotistes**

Teiste plaatmaterjalidega võrreldes olid Valchromati katsetulemused oluliselt paremad (vt joonis 44). Enamustel katsetulemustel järgnes Valchromati tulemus männipuidust seotiste omadele, vaid tüübelühenduse puhul oli tulemus männipuiduga võrdne. Materjal pidas hästi vastu ühendustest, kus peamine tõmbejõud läks liimühendusele nagu eerungseotise ja sileservseotise puhul. Valchromat on palju homogeensem materjal kui MDF, seega murdus Valchromat palju sügavamatest kihtidest kui MDF.

Nõrgemate tulemuste põhjuseks lamelltüübli ja tüübelühenduste puhul oli liimi pinna märgamise probleemid. Valchromat on niiskuskindel materjal, seega ei sidunud see liimühendeid endas piisavalt sügavalt. Peamine tüübel- ja lamelltüübel seotise purunemine toimus materjalist: Valchromati sisekihtidest nõ sikutati välja väga õhuke kiht kiude.



**Joonis 43. a)** Valchromat rööptappseotises **b)** Valchromati ristikiu suurendus 32x  
 Rööptappseotises pidas liimiühendus väga hästi vastu. Ühendus purunes peamiselt materjalist (vt joonis 43.a). Kui vaadelda murdekohta, siis on selgelt näha, et see ei ole ühtlaselt sirge. Materjali purunemisel murenes materjalist välja suuri tükke, mõlema detaili küljest. See näitab materjali homogeensust. Jooniselt 43.b on näha Valchromati ristikiu tihedus.



**Joonis 44.** Valchromatist seotiste diagonaalse tõmbekatse tulemused



#### 4.2.5 Puitlaastplaadist seotised

Puitlaastplaadist seotiste katsetulemused olid nurkühenduste seas kõige nõrgemad. Kui vaadata joonist 46 siis on näha, et tulemused ei erine üksteist eriti. See tähendab, et nurkühenduste füüsikalised erinevused ei mänginud puitlaastplaadi tugevdamisel erilist rolli. Suhteliselt võrdne tulemus on näiteks tüübel- ja eerungseotise puhul. Eerungseotise maksimumtulemus oli küll tüübelseotise tulemusest üle, kuid keskmise tulemuse tõttu



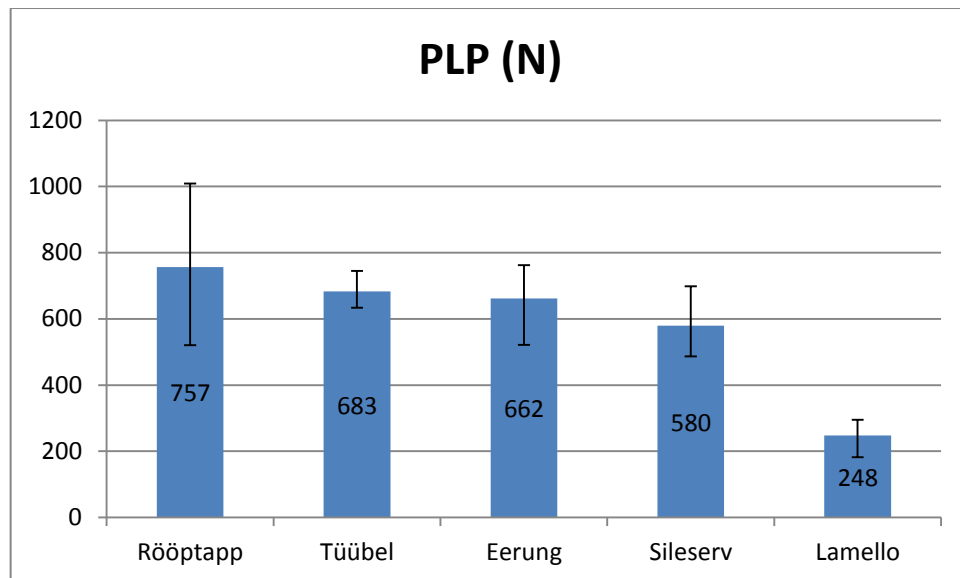
**Joonis 45.** Murdunud PLP ristikiud 32x suurendusega

on neil vahe 21N. Tulemuste parendamiseks tuleb tüübelühenduses tõsta tüüblite paigutuse tihedust. Eerungseotisele aitaks kaasa seotise modifitseerimine veedriga. Norvydas on oma artiklis öelnud, et eerungseotise valmistamine puitlaastplaadis on võimalik saavutada maksimaalne koormusetaluvus konstruktsioonis. (Norvydas, *et al.*, 2012)

Peamiselt määrab tugevuse puitlaastplaadi laastude suurus ja kihtide osakaal materjalis. Mida suuremad on laastud keskmises kihis, seda rohkem tekib plaadis õhuvahesid. Õhulisus vähendab liim-ühenduse pindala. Samuti saab tugevuse juures määravaks välimiste ja sisemiste kihtide omavaheline siduvus. Nagu sileservseotise katsetusest näha, siis tõmbele andis järgi välimiste ja sisemiste kihtide sisesidusus. Väliste kihtide tugevdamiseks ja plaadi omaduste parandamiseks on soovitatav kasutada kattmaterjali. Kattmaterjalide paksused on vahemikus 0,6-1,5 mm, mis parandavad väliskihtide tugevust märgatavalt palju. Puitlaastplaadi servi kaetakse enamasti servakandiga, mis aitab vähendada materjali kildumist. Siiski on puitlaastplaat üks odavaimaid mööbli valmistamise plaate ja seda kasutatakse igapäevaselt mööbli valmistamisel. Isegi võrdlemisi madalate tulemuste juures on puitlaastplaadi tugevus mööblikarkassina kasutamiseks piisav kui ta on pealistatud kattmaterjaliga.

Norvydas märkis oma artiklis, et kui lisada puitlaastplaadile kattmaterjal, siis võib see tõsta plaadi tugevust kuni 19,5%. Tõstab selle pärast, et kui pealistatud plaadis tekivad nurkühenduse surumisel paindepinged, venitavad need kõige alumist pealistust tõmbepingete tõttu ja suruvad ülemises kihis pealistust survepingetega kokku.

Pealistused töötavad tõmbele paremini kuna kattematerjali kiud on orienteeritud mõjuvate tõmbepingete suunaliselt ja pealeliimitud pinnakate talub paremini survet kui plaadi pind. (Norvydas, *et al.*, 2012)



**Joonis 46.** Puitlaastplaadist seotiste diagonaalse tõmbekatse tulemused

# KOKKUVÕTE

Igas korpasmööblitootes on kasutusel palju erinevaid seotisi, mis peavad kõik olema vastupidavad. Käesolevas magistritöös uuriti lähemalt nurkseotiste tugevusomadusi, mida kasutatakse erinevast materjalist sahtlikastide või kapikarkasside valmistamiseks.

Magistritöö esimeses peatükis tutvustati seotiste ja materjalide ajalugu, omadusi ja kasutusalasid. Eesmärgi täitmiseks ja hüpoteesi kontrollimiseks kasutati Tankut, Zhang ja Eckelman poolt kasutatud katsemeetodeid nii planeerimiseks kui ka katsekehade valmistamiseks. Kalla Mööbel OÜ tootmistöökojas Kuressaares valmistati katsekehad kahest täispuidust ja kolmest plaatmaterjalist: kasepuit, männipuit, MDF, PLP ja Valchromat. Igasse materjali tehti viis erinevat nurkühendust: sileservseotis, eerungseotis, tüübelseotis, lamellseotis ja rööptappseotis. Ühte seotist valmistati samast materjalist kaheksa tükki, seega sisaldas üks katseseeria kaheksa katsetust.

Seotiste ja materjalide katsetused viidi läbi Võrumaa Kutsehariduskeskuse puiduõppetooli puidulaboris. Diagonaalsete tõmbekatsete läbiviimiseks kasutati surve – ja tõmbe katsemasinat, kus nurkühendusele anti survet kuni tugevuspiiri ületamiseni. Lisaks viidi materjalidega läbi teisi füüsikalisi-mehaanilisi omaduste katseid, et täpsustada materjali omadusi, mida töös kasutati. Katsetest saadud andmeid võrreldi ka tehase poolt välja antud materjali spetsifikatsiooni andmetega.

Diagonaalsete tõmbekatsete tulemusi analüüsiti ja võrreldi omavahel. Kõige vastupidavam seotis oli rööptappseotis, mis näitas kõige parimaid tulemusi kõigis materjalides. Selle seotise kõige parem tulemus oli kasepuidul (425N). Nõrgim tulemus selles seotises oli puitlaastplaadil (521N). Plaatmaterjalid purunesid selle katsetuse puhul peamiselt materjalist.

Paremuselt teine nurkseotis oli eerungseotis, mille parim katsetulemus oli kasepuidus (2559N). Nõrgim tulemus oli puitlaastplaadil (522N). Siiski näitas eerungseotis väga tugevaid tulemusi kõigi kasutatud materjalide puhul. Männipuidust eerungseotiste katsetulemused olid peaaegu samal tasemel kasepuiduga. Eerungseotis on üks sobivaimaid seotisi plaatmaterjalides.

Paremuselt kolmas nurkseotis oli tüübelseotis. Enamus tulemusi ei erinenud üksteisest eriti palju. Parim tulemus oli kasepuidul (1085N) ja nõrgim tulemus oli PLP-1 (634N). Materjalidest oli teisel kohal selles seotises MDF tulemusega 949N.

Paremuselt neljas seotis oli sileservseotis. Maksimumtulemus oli kasepuidul (1746N) ja nõrgim tulemus männipuidul tulemusega 375N. Siinkohal on oluline ka mainida, et MDF-i tulemus oli 552N ja PLP oma 580N: selles seotises näitas puitlaastplaat paremat tulemust kui MDF.

Seotiste tugevusomaduste võrdluses viimasel kohal on lamelltüübelseotis, millel miinimum ja maksimum katsetulemused olid vahemikus 182-471N, nii nõrka tulemust ei olnud ühelgi teisel seotisel. Selle põhjus võis olla vähene liimi kogus või lamelli liimiimavusvõime. Siiski saab tulemuste põhjal soovitada lamellseotise avade eel-liimitamist.

Materjalide üldiste tulemuste põhjal saab materjalid järjestada nii: kasepuit, männipuit, Valchromat, MDF ja PLP. Materjalide peamise purunemise põhjus kordus mõnedes etteantud seotistes. Nurkseotised oli tehtud väga materjali otsa lähedale, seega tekitas otstugevus palju probleeme. Männipuidul olid suhteliselt laiad aastarõngad, seega olid aastarõngad servas suhteliselt nõrgad. Puitlaastplaadist seotiste katsetamise puhul tekkis purunemine sise- ja väliskihtide omavahelisest nõrgast adhesioonist ehk sisesidususest. Seda probleemi võis näha ka MDF-i katsekehade juures, kuigi MDF-il ei mõjutanud see katsetulemusi nii palju kui PLP puhul. Valchromatil oli probleeme liimi-imavusega, kuna materjal on niiskuskindel, ei märganud liim hästi materjali pinda ja ei tunginud piisavalt sügavale pinnakihti. Seda saab parandada kasutades pikema suletud ooteajaga liimi.

Katsete tulemustest ilmnes, et nurkühenduse tugevust mõjutavad väga palju materjali omadused. Plaatmaterjalid on oma omaduste ja ehituse poolest väga erinevad ja nende füüsikalised-mehaanilised omadused mõjutavad tõepoolest seotise tugevust.

Käesolevas töös püstitatud eesmärk sai autori poolt täidetud. Katsetulemustest lähtudes saab otsustada, millist seotist on otstarbekam kasutada projektides etteantud materjali ja konstrueeritud toodete korral, arvestades nende lühiajalisi- ja pikaajalisi tugevusnäitajaid.

Autor leiab, et teema on äärmiselt huvipakkuv ja soovib uurida käesolevast tööst väljajäänud mööblitööstuses harvem kasutatavate seotiste ja materjalide tugevusomadusi.

## SUMMARY

The objective of this thesis was to study the strength of different kinds of joints in relation to the used material properties. Their resistance to the applied compression load, with particular attention to select the most efficient joint for each material in furniture production. The products' resistance to the external forces and contortion and durability all depend on finding the right construction methods, but often new board materials are used in the same ways as solid woods, though it may not be efficient to use the same joints in both of these materials.

Hypothetically the material properties do have an effect on the ultimate strength and durability of different kinds of joints could be more effective in some materials rather than others. Five types of joints were studied: butt joint, miter joint, dowel joint, biscuit joint and box finger joint; in five materials: two solid woods (*Betula pendula* and *Pinus sylvestris*) and three board materials (MDF, chipboard and Valchromat).

The thesis introduced the history, characteristics and use of each joint and material. In order to study the hypothesis, test specimens were made and planned according to Tankut, Zhang and Eckelman's test methods. Specimens were produced in the laboratory of Kalla Mööbel OÜ in each material and each joint. The same joint in the same material was produced eight times, so each series involved eight tests. The tests were conducted at the Võrumaa Vocational Training Center's Chair of Wood Technologies department's wood laboratory.

The pressure tests were conducted with a pressure test machine that applied pressure to the joint until the resistance ceased. Other tests were conducted to specify the characteristics and properties of the used materials. The test results were compared to the data published by the producer.

The test results showed the finger joint as the joint with the highest resistance (on average 757-3514N), followed by the miter joint (662-2180N), and the dowel joint (683-948N). Next to last was the butt joint (580-1454N) and the least resistant joint was the biscuit joint (248-397N). The main problem of the materials was fracturing and cracking. In solid woods this happened around the annual rings, in the board materials in the external and internal layers. The materials' resistance results were as follows: birch (3514-397N), pine (2669-385N), Valchromat (1638-315N), MDF (1428-373N) and chipboard (757-248N).

The results can be used in selecting the joint according to the product and material used, considering their resistance and specific characteristics. Particular attention was given to studying the corner joints most frequently used in drawer or cupboard structure production.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- Boruszewski, P.**,(2011). *Formaldehyde emission from raw materials for particleboard production at the beginning of processing chain*. Singapore, International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering.
- Davy, P.**, (2007). *How to woodwork*. Hamlyn: Octopus Publishing Group Ltd
- Eckelman, C. & Munz, S.**, (1987). *Rational design of cases with front frames and semirigid*.:Forest Prod J. 1987;37(6):25-30
- Eckelman, C. & Zhang, J.**, 1993. *Rational design of multi dowel corner joints in case*. s.l.:Forest Prod J. 1993;43(11/12):52-8
- Eckelman, C. & Zhang, J.**, 1993. *The bending moment resistance of single-dowel corner*. s.l.:Forest Prod J. 1993;43(6):19-24
- Eesti Entsüklopeedia**, 2012. *Entsüklopeedia*. [WWW] <http://entsyklopeedia.ee/artikkel/kask3> ( 26.04.2014)
- EWPA**, 2008. *Australian Wood Panels Association Incorporated*. [WWW] [http://www.ewp.asn.au/library/downloads/ewpaa\\_facts\\_about\\_pb\\_and\\_mdf.pdf](http://www.ewp.asn.au/library/downloads/ewpaa_facts_about_pb_and_mdf.pdf) ( 25.04.2014)
- Imal pal, g.**, 2013. *Imalpal*. [WWW] <http://www.imalpal.com/en/scheda.php?pr=114> ( 5.05.2014).
- Isomäki, O., Koponen, H. & Tolvanen, P.**, (2007). *Tisleritoodete tööstuslik tootmine*. Tallinn: TEA kirjastus.
- Jackson, A. & Day, D.**, (2005). *Collins Complete Woodworker's Manual*. London: HarperCollins.
- Kaps, T.**, (2010). (loengumaterjal). *Puit-polümeerkomposiidid 2*. Tallinn: [WWW] [http://e-ope.ee/repositorium/otsing?@=7d42#euni\\_repository\\_10895](http://e-ope.ee/repositorium/otsing?@=7d42#euni_repository_10895) , ( 29.04.2014)
- Kiisk, T.**, (1989). *Mööblitoodete konstrueerimine*. Tallinn: ENSV Riiklik Hariduskomitee.

**Koskisen**, (2014), *Koskipan P.* [WWW] <http://www.koskisen.fi/> (28.04.2014)

**Luhpol**, (2011). DDL.[WWW] <http://www.ddl.cz/> (28.04.2013)

**Mantanis, G. I., Papadopoulos, A. N. & Mayer, J.**, (2010). *Reducing the thickness swelling of wood based panels by applying a nanotechnology compound.* European Journal of Wood and Wood Products, II(68), pp. 237-239.

**Marra, A. A.**, (1992). *Technology of wood bonding.* New York: Van Nostrand Reinhold.

**Mosayeb, D. Ghanbar, E. Akbar, R. H. Sadegh, M .**,(2013) *Analysis of factors affecting diagonal tension and compression capacity.* Journal of Forestry Research (2013) 24(1): 155–168

#### **of corner joints in furniture frames fabricated with dovetail key**

**Noll, T.**, (2002). *The Joint Book.* London: Apple Press.

**Norvydas, V., Baltrušaitis, A. & Juodeikiene, I.**, (2012). *Investigation of Miter Corner Joint Strength of Case Furniture.* Kaunas: ISSN 1392–1320 materials science (medžiagotyra). vol. 18, no. 4. lk. 352-357

*Puitplaadid. Paindeelastsusmooduli ja paindetugevuse määramine.* (2002). **Eesti standard EVS-EN 310:2002.** Tallinn: Eesti Standardikeskus.

*Puitlaastplaadid* (2010) Spetsifikaadid. **Eesti Standard EN 312:2010.** Tallinn: Eesti Standardikeskus.

**Pärt, E.**, (2011). *Eesti Metsandus 2011.* [WWW]

<http://www.keskkonnainfo.ee/failid/mets2011/EestiMetsandus> ( 26.04.2014).

**Rowell, R. M.**, (2012). *Handbook of wood chemistry and wood composites.* Boca Raton: CRC Press.

**Saar, M.**, (2012). *Mööblitööstustes enimkasutatud seotised nende konstruktsioonid ja tehnoloogiad.* Väimela: Võrumaa Kutsehariduskeskus

**Saarman, E. & Veibri, U.**, (2006). *Puiduteadus.* Tartu: Vali press OÜ.

**Sibul, I.**, (2009). *Väike puidualbum.* Tartu: Vali Press OÜ.



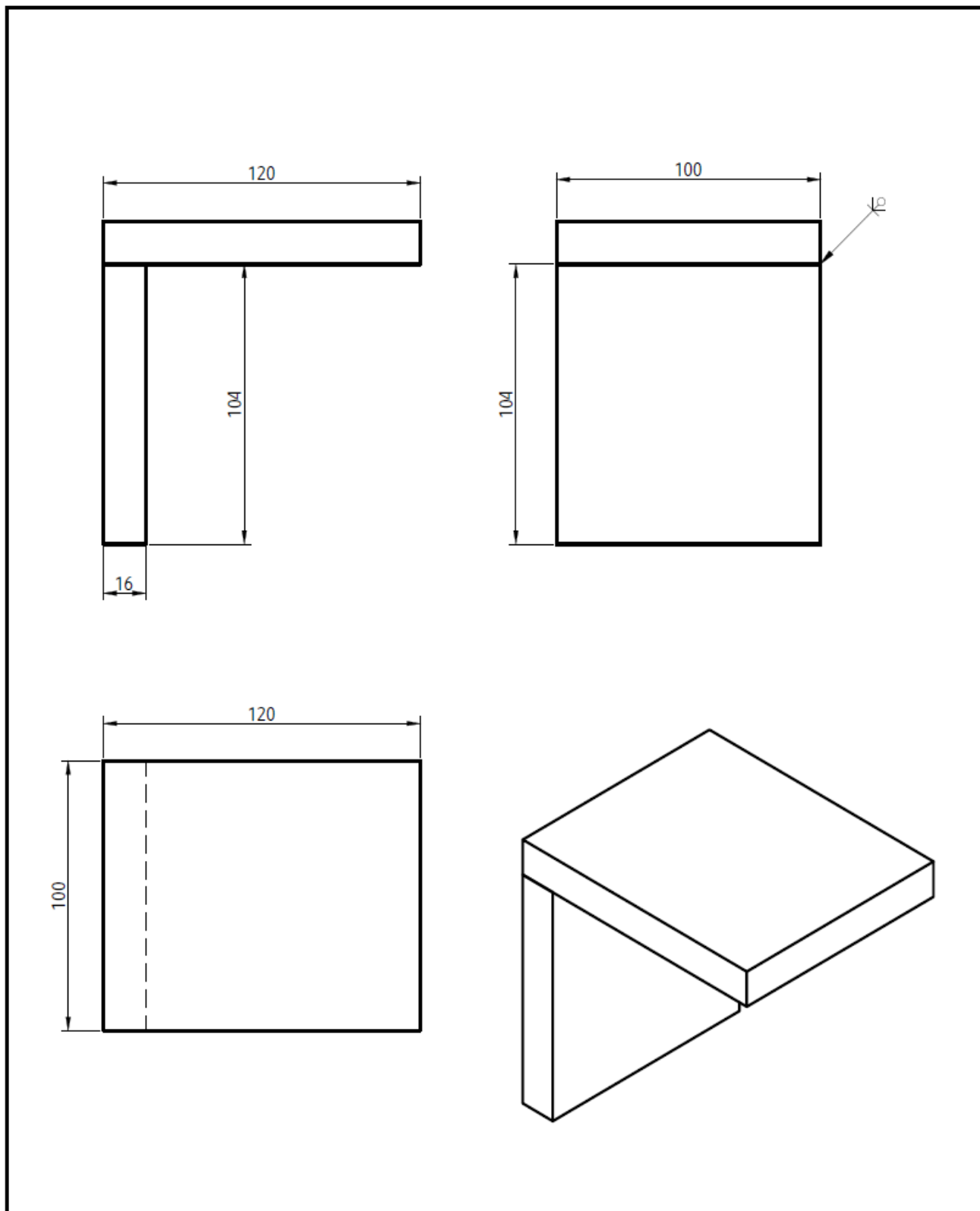
**Tankut, A. N. & Tankut, N.,** (2009). *Investigations the effects of fastener, glue, and composite material types on the strength of corner joints in case-type furniture construction.* Bartin, Turkey: Materials and Design 30. 4175-4182

**Valchromat,** (2013). *Investwood.* [WWW] <http://www.valchromat.pt/> ( 25.04.2013).

**Youngquist, J. A.,** (1999). *Wood-based composites and panel products.* Wisconsin: Wood Handbook: Wood as an Engineering Material pp. 10.1-10.31.

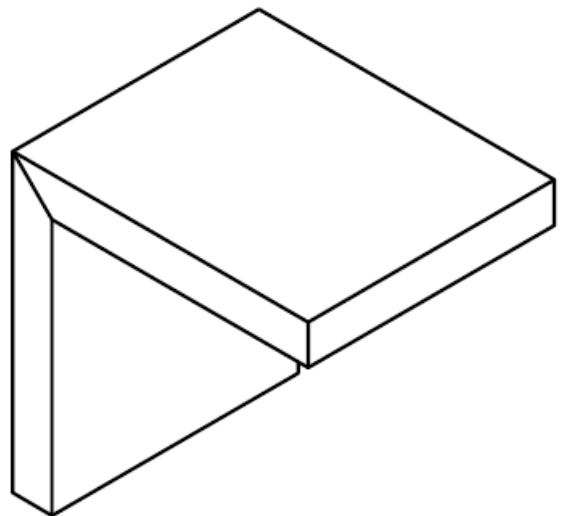
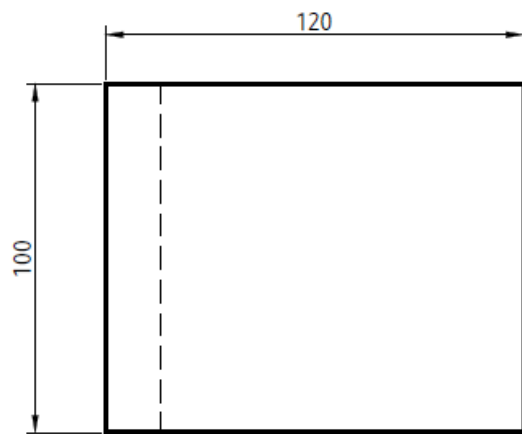
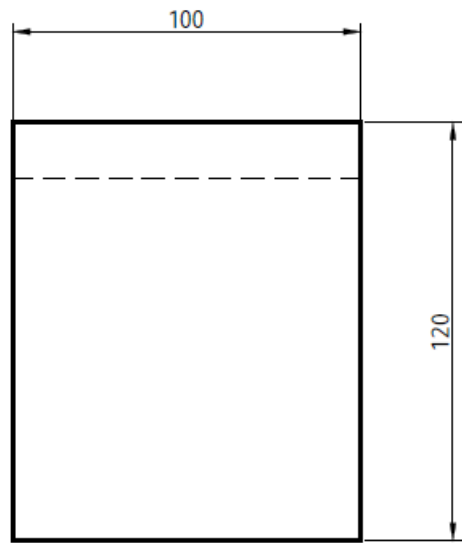
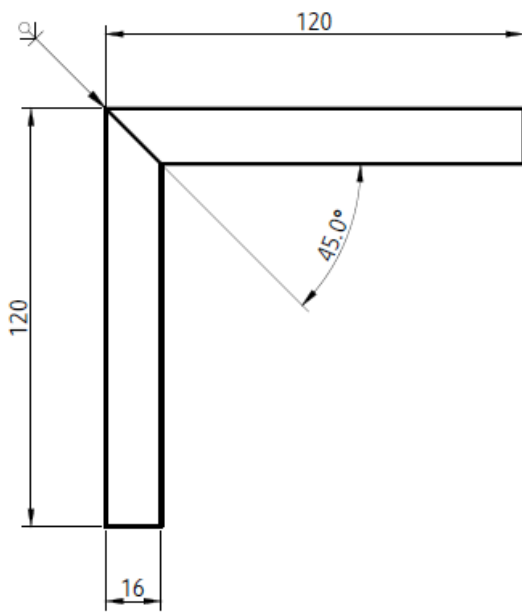
## LISAD

Lisa 1. Sileservseotise katsekeha tehniline joonis .....	83
Lisa 2. Eerungseotise katsekeha tehniline joonis .....	84
Lisa 3. Tüübelseotise katsekeha tehniline joonis .....	85
Lisa 4. Lamelltüübelseotise katsekeha tehniline joonis.....	86
Lisa 5. Rööptappseotise katsekeha tehniline joonis .....	87
Lisa 6. Katsekehade valmistamisest, katsetusest ja analüüsist.....	88
Lisa 6.1. a) Toorikute survestamine b) Tüübeldamine .....	88
Lisa 6.4. a) Sileservseotis MDF-is b) Sileservseotis PLP-s .....	89
Lisa 6.8. Eerungseotis Valchromatis, katsemasinas .....	90
Lisa 6.11. a) Tüübelseotis PLP-s b) Tüübelseotis MDF-is .....	91
Lisa 6.14. a) Lamelltüübelseotis kases b) Lamelltüübelseotis männis.....	92
Lisa 6.17. a) Tüübel Valchromatis b) Lamelltüübel Valchromatis .....	93
Lisa 6.19. a) Tüübli ava Valchromatis b) Eerungseotis männis – rebitud kiud .....	94
Lisa 6.20. a) Rööptappseotise ava kases b) sileservseotis kases .....	94
Lisa 7. Katsete surveskaalad.....	95
Lisa 7.1. Sileservseotis kase surveskaala.....	95
Lisa 7.2. Eerungseotis kase surveskaala .....	96
Lisa 7.3. Tüübelseotis kase surveskaala .....	97
Lisa 7.4. Lamelltüübelseotis kase surveskaala .....	98
Lisa 8. PVA Liim Cascol 3351 tehnilised andmed maaletoojalt.....	100
Lisa 9. Kõik katsetulemused.....	102
Lisa 10. Indeksite korduvus joonis .....	107
Lisa 11. Arvutuslike keskmiste tulemuste võrdlus.....	108
Lisa 12. Tänu sõnad.....	109



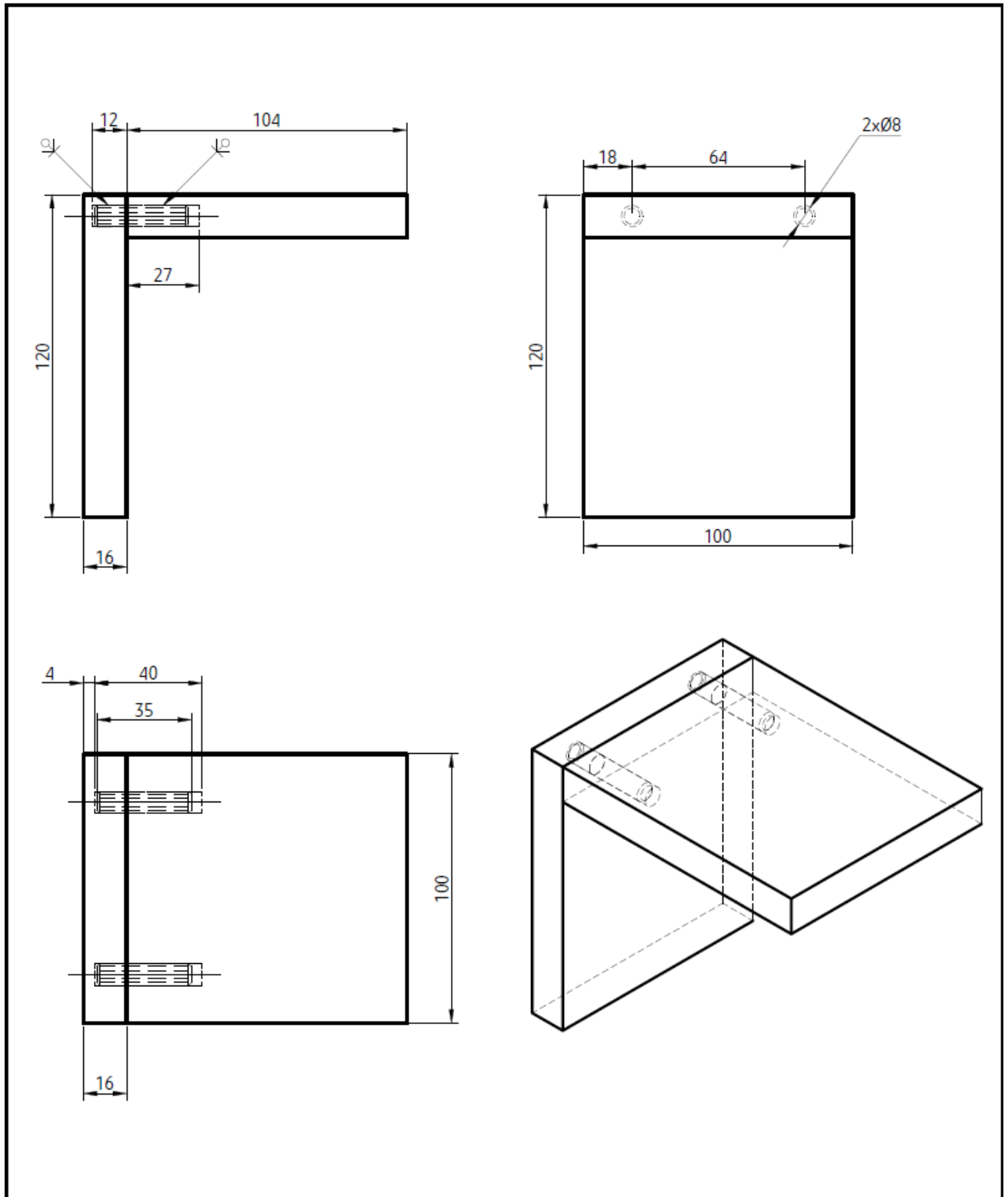
	<i>Materjal:</i>		<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> 1:2
	<i>Teostas:</i>	<i>Martin Saar</i>	<i>Nimetus:</i> <i>Sileservseotise katsekeha</i>		
<i>Kontrollis:</i>	<i>Jaan Kers</i>				
<i>Kinnitas:</i>					
<i>Tallinna Tehnikaülikool</i> <i>Puidutöötlemise õppetool</i>		<i>Leht:</i> 1	<i>Tähis:</i> 052014.001.00		

Lisa 2. Eerungseotise katsekeha tehniline joonis



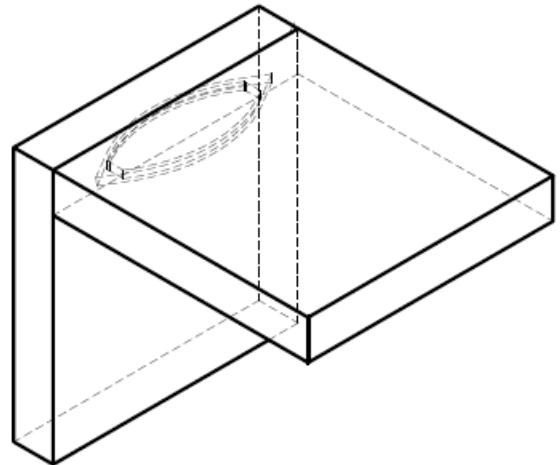
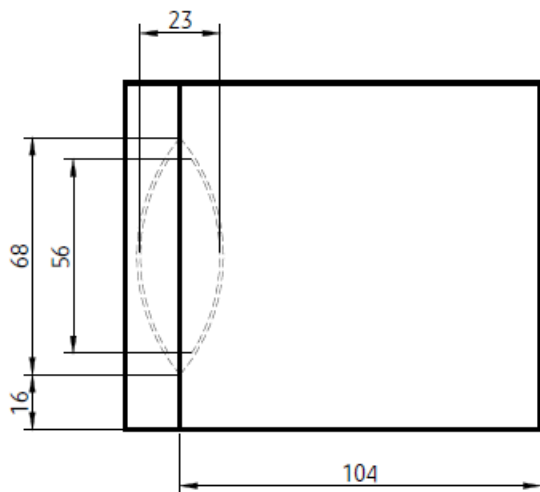
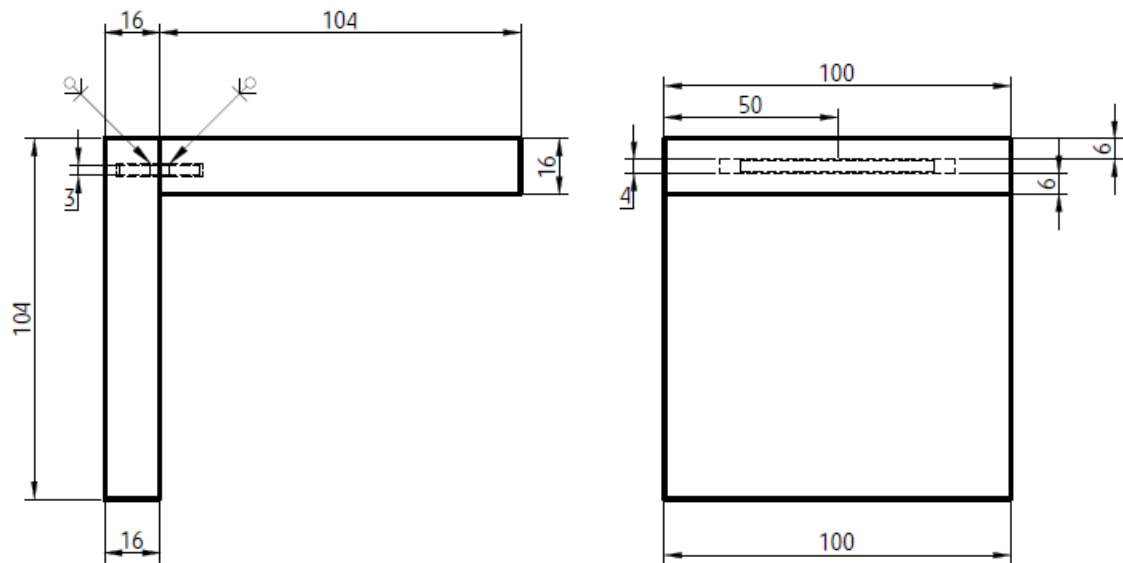
	<i>Materjal:</i>	<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mööd:</i> 1:2
	<i>Teostas:</i> Martin Saar	<i>Nimetus:</i> Eerungseotise katsekeha		
<i>Kontrollis:</i> Jaan Kers				
<i>Kinnitas:</i>				
Tallinna Tehnikaülikool Puidutöötlemise õppetool	<i>Leht:</i> 2	<i>Tähis:</i> 052014.002.00		

Lisa 3. Tüübelseotise katsekeha tehniline joonis



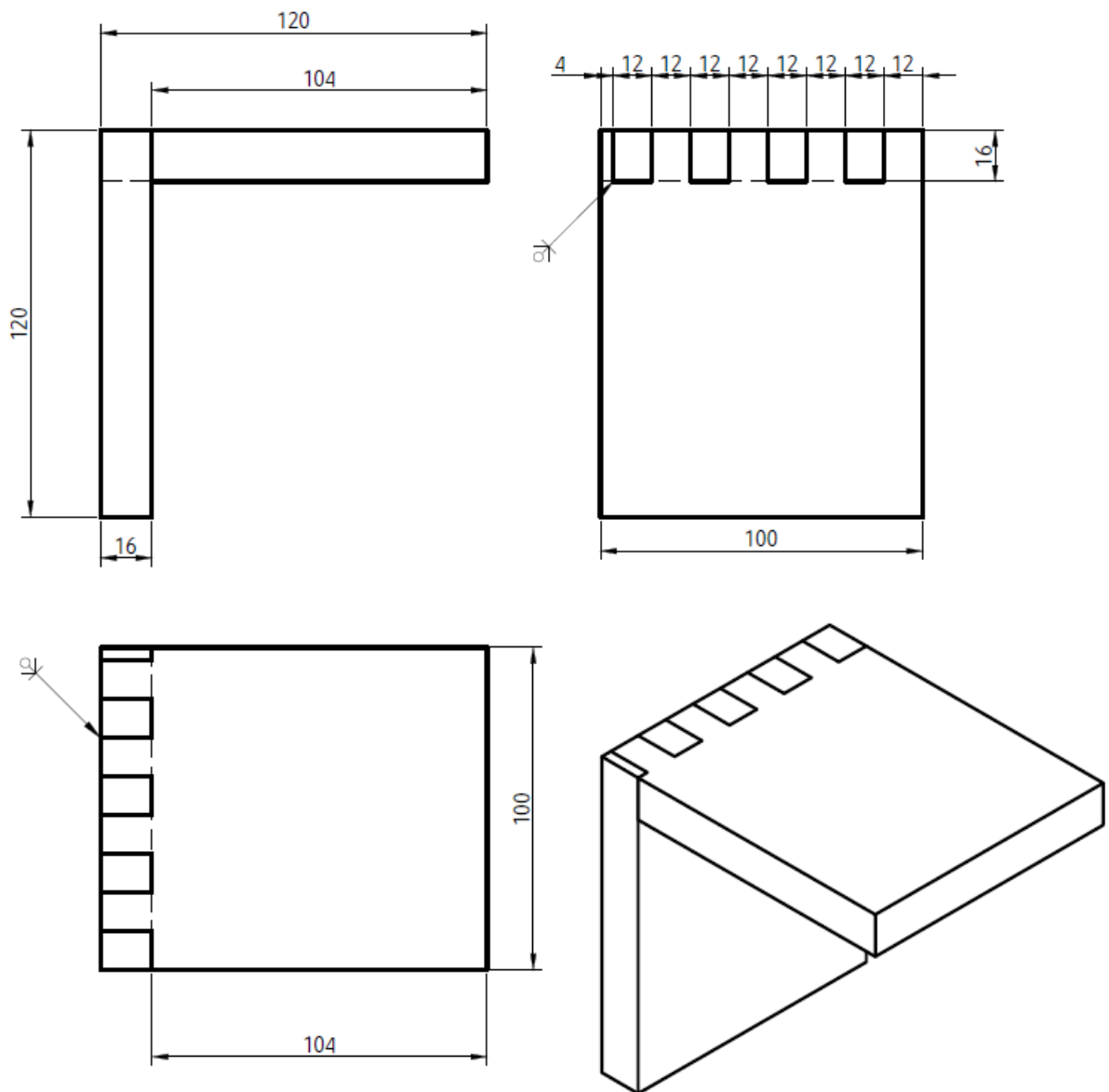
	<i>Materjal:</i>	<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mööd:</i>
				1:2
<i>Teostas:</i>	Martin Saar	<i>Nimetus:</i> Tüübelseotise katsekeha		
<i>Kontrollis:</i>	Jaan Kers			
<i>Kinnitas:</i>				
Tallinna Tehnikaülikool Puidutöötlemise õppetool		<i>Leht:</i> 3	<i>Tähis:</i> 052014.003.00	

Lisa 4. Lamelltüübelseotise katsekeha tehniline joonis



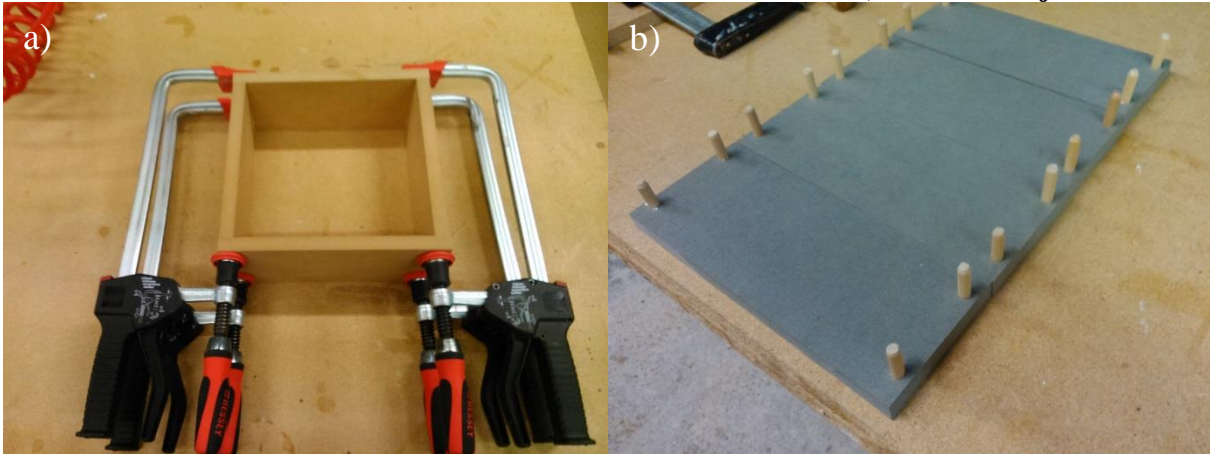
	<i>Materjal:</i>	<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> 1:2
	<i>Teostas:</i> Martin Saar	<i>Nimetus:</i> Lamell-tüübelseotise katsekeha		
<i>Kontrollis:</i> Jaan Kers				
<i>Kinnitas:</i>				
Tallinna Tehnikaülikool Puidutöötlemise õppetool	<i>Leht:</i> 4	<i>Tähis:</i> 052014.004.00		

Lisa 5. Rööptappseotise katsekeha tehniline joonis

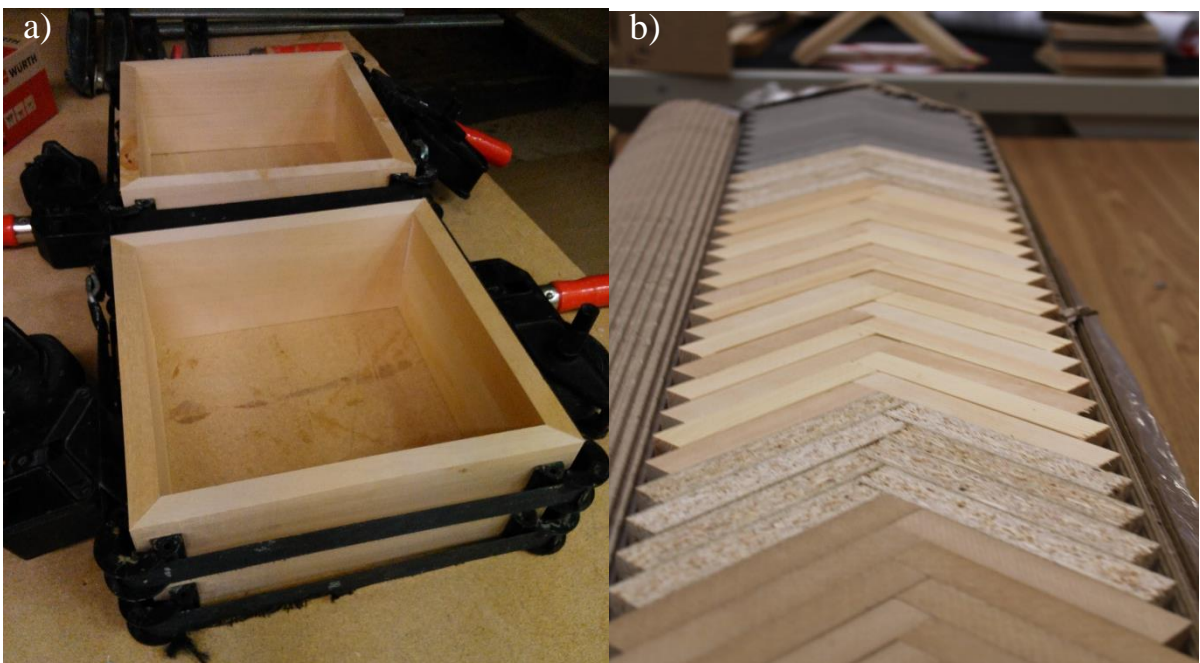


	<i>Materjal:</i>	<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> 1:2
	<i>Teostas:</i> Martin Saar	<i>Nimetus:</i> Rööptappseotise katsekeha		
<i>Kontrollis:</i> Jaan Kers	<i>Kinnitas:</i>	<i>Leht:</i> 5	<i>Tähis:</i> 052014.005.00	
Tallinna Tehnikaülikool Puidutöötlemise õppetool				

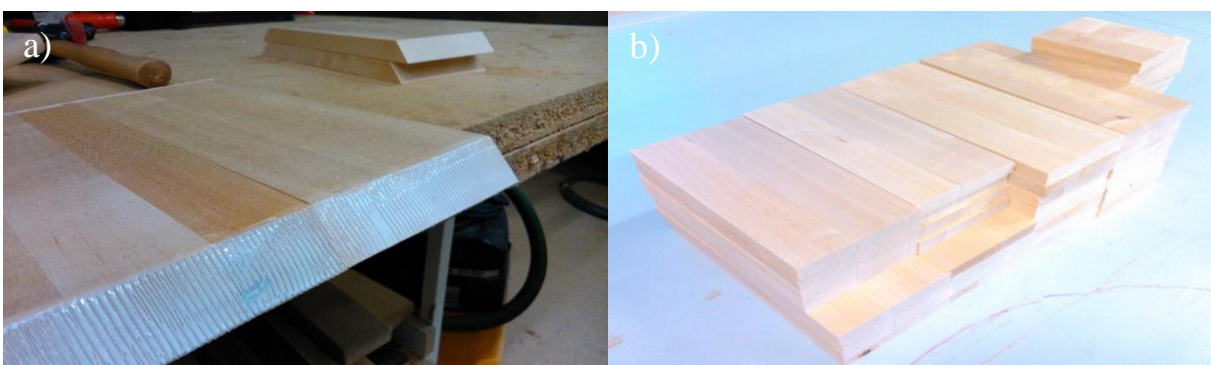
**Lisa 6. Katsekehade valmistamisest, katsetusest ja analüüsist**



**Lisa 6.1. a) Toorikute survestamine b) Tüübeldamine**

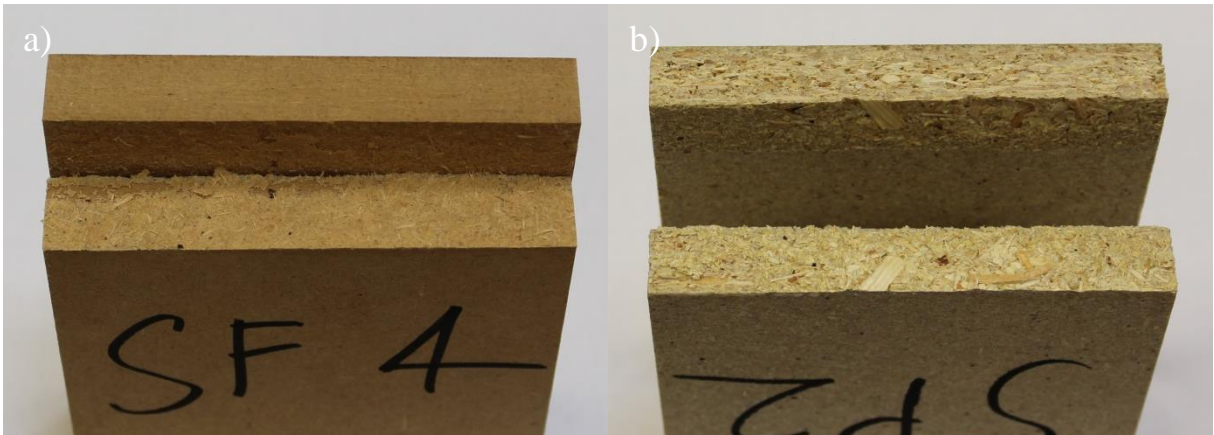


**Lisa 6.2. a) Toorikute survestamine b) Katsekehad pakendamisel**

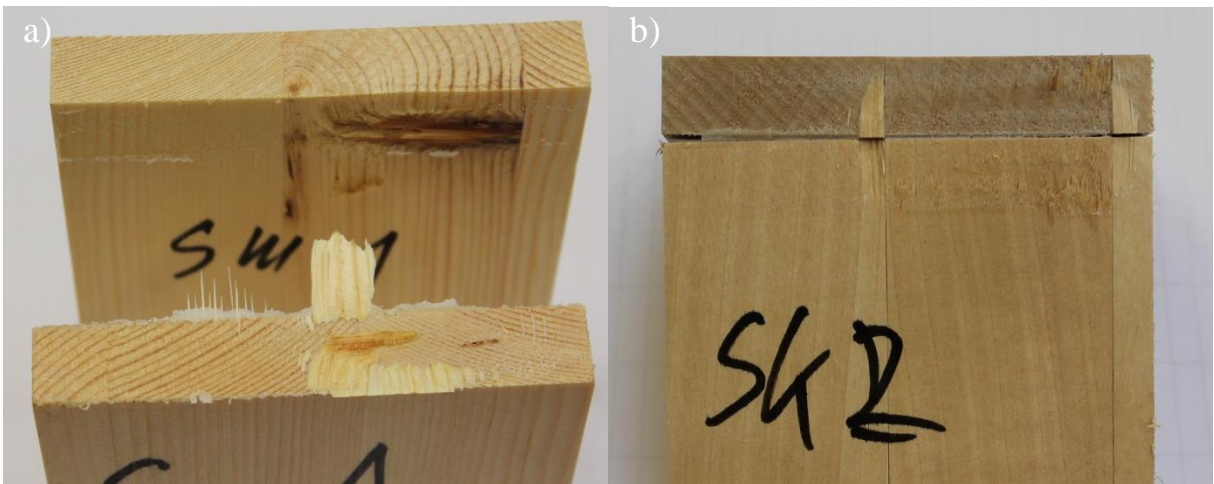


**Lisa 6.3. a) Eerungseotise liimitamine b) Kasematerjali katsekehad**

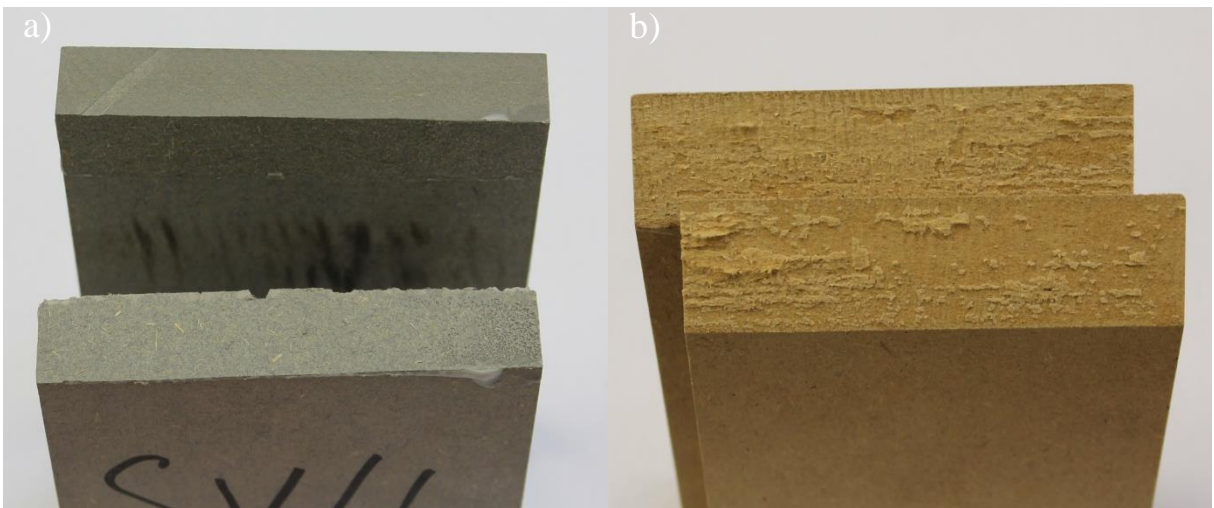




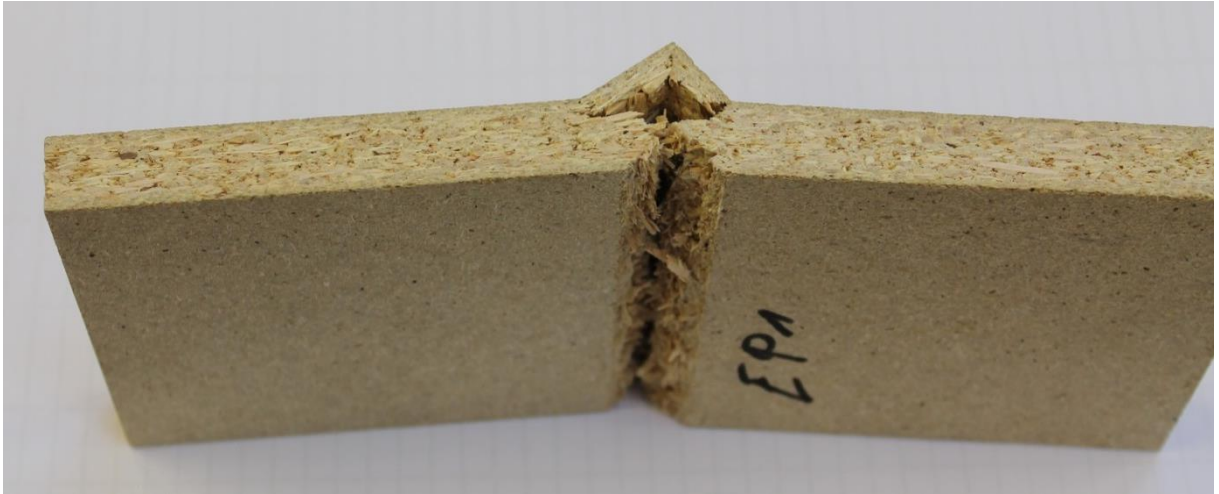
**Lisa 6.4. a) Sileservseotis MDF-is b) Sileservseotis PLP-s**



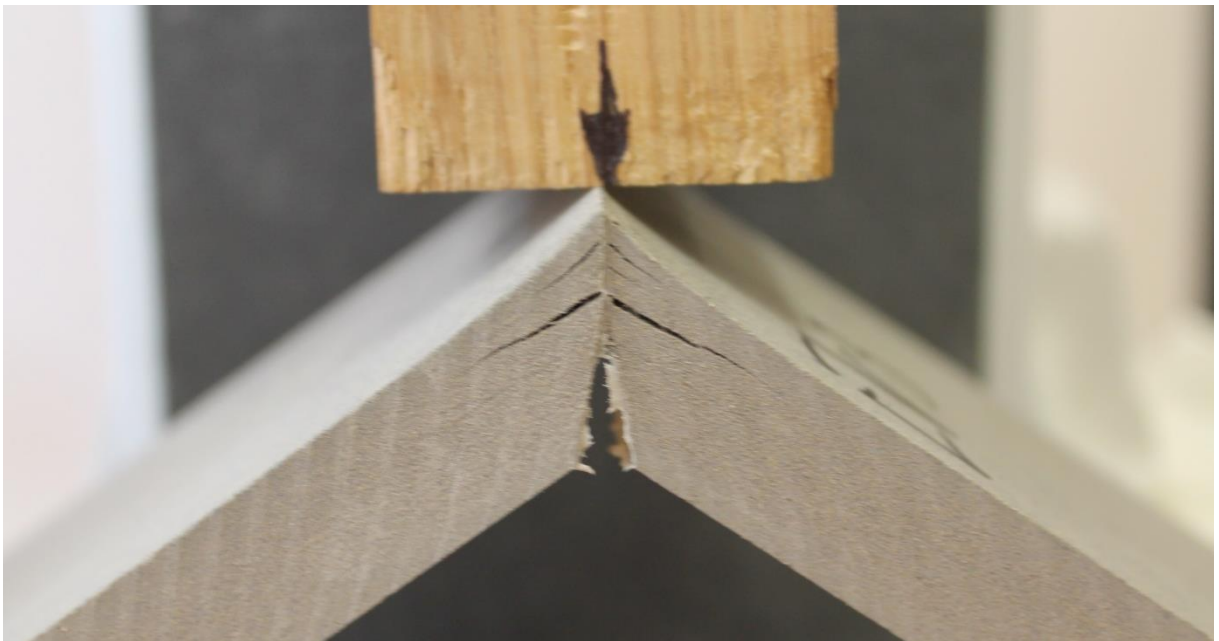
**Lisa 6.5. a) Sileservseotis männis b) Sileservseotis kases**



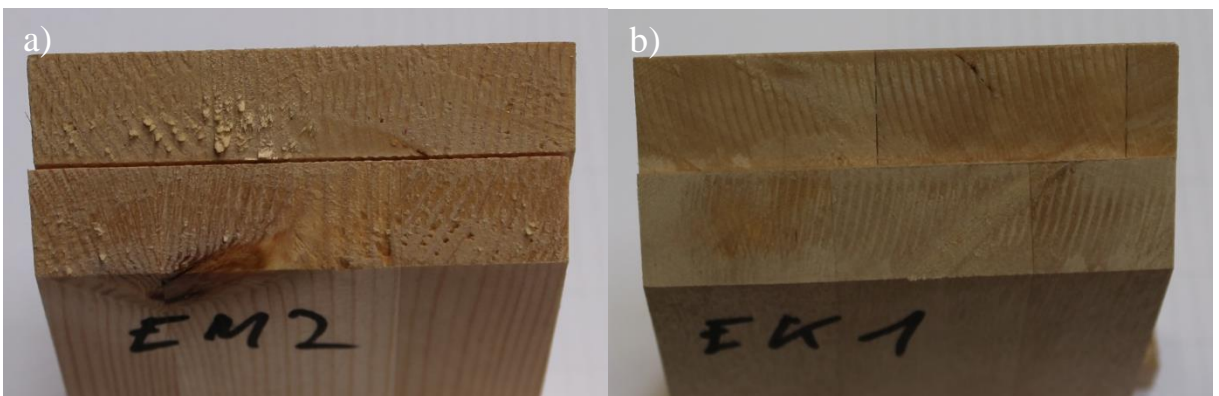
**Lisa 6.6. a) Sileservseotis Valchromatis b) Eerungseotis MDF-is**



**Lisa 6.7. Eerungseotise PLP-s**



**Lisa 6.8. Eerungseotis Valchromatis, katsemasinas**

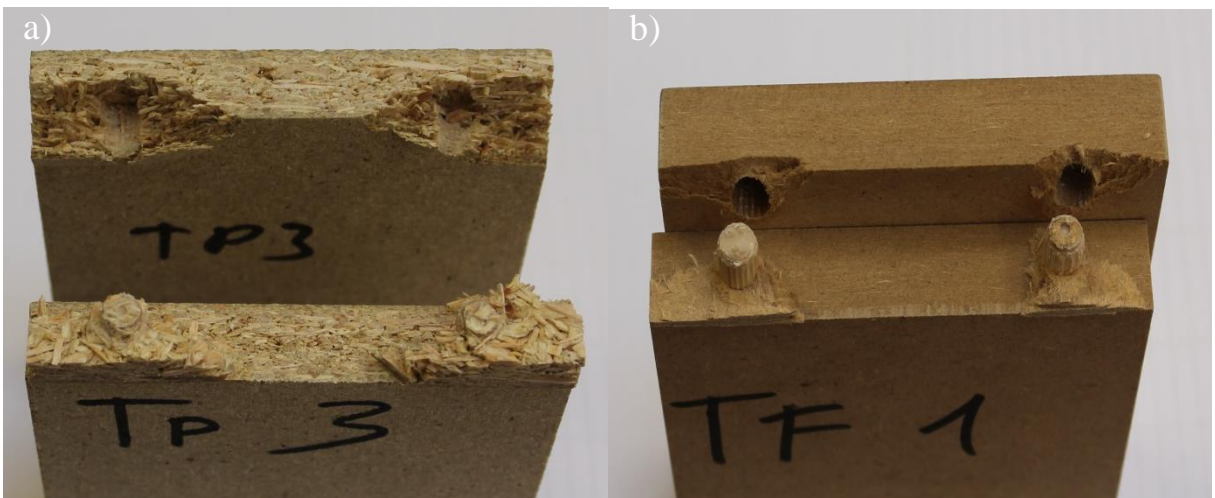


**Lisa 6.9. a) Eerungseotis männis b) Eerungseotis kases**

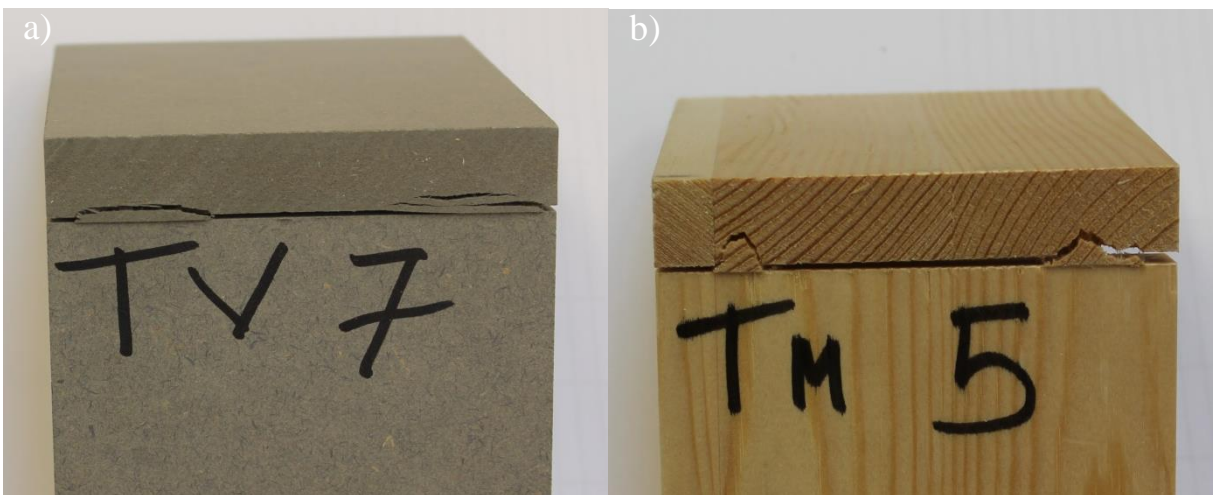




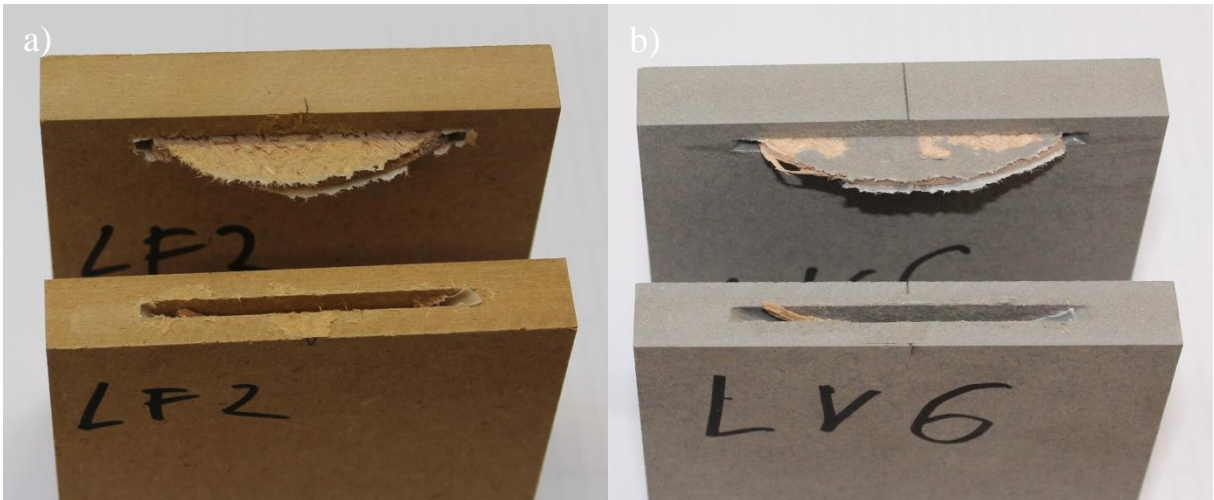
**Lisa 6.10. Eerungseotis MDF-is katsemasinas**



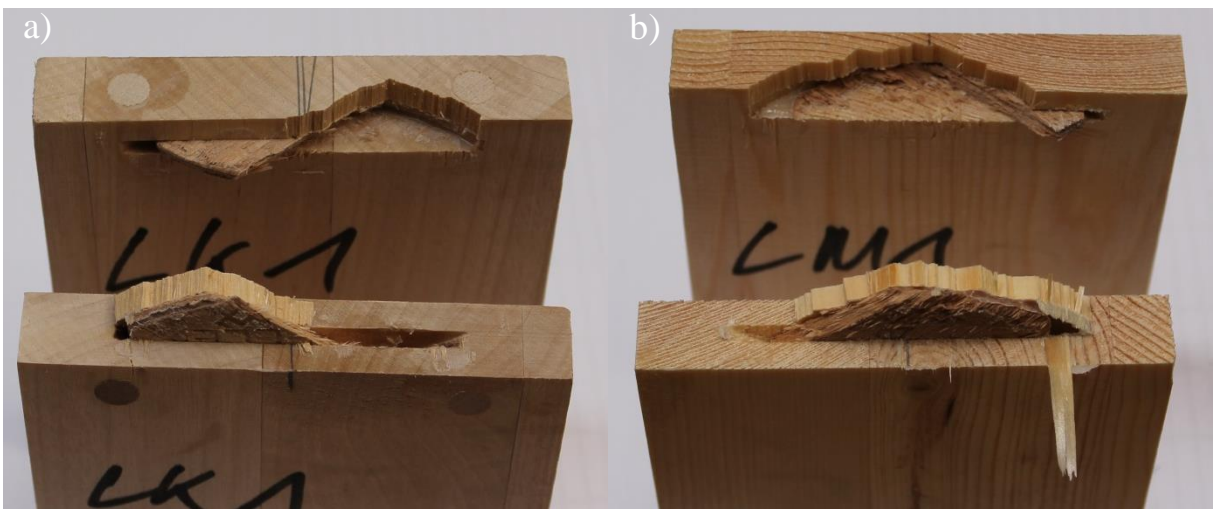
**Lisa 6.11. a) Tüübelseotis PLP-s b) Tüübelseotis MDF-is**



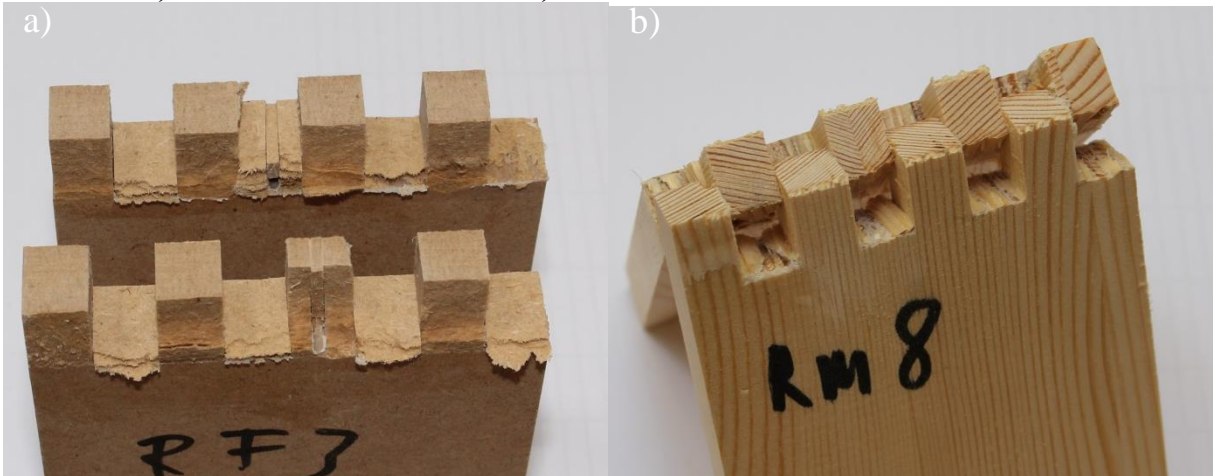
**Lisa 6.12. a) Tüübelseotis Valchromatis b) Tüübelseotis männis**



Lisa 6.13. a) Lamelltüübelseotis MDF-is b) Lamelltüübelseotis valchromatis

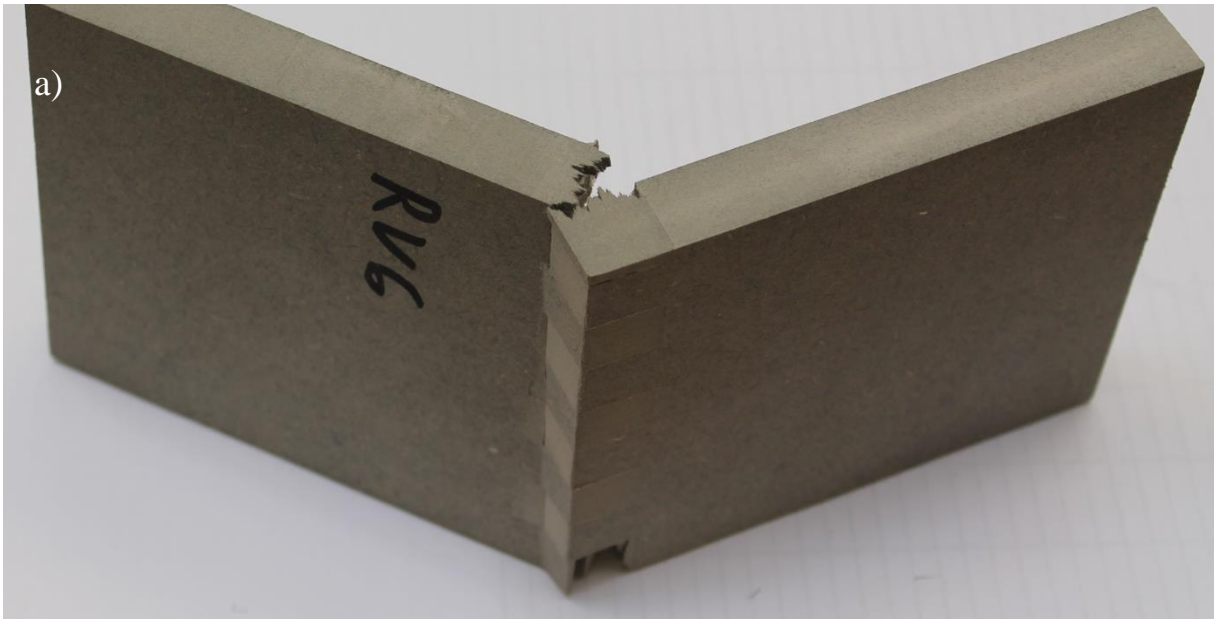


Lisa 6.14. a) Lamelltüübelseotis kases b) Lamelltüübelseotis männis

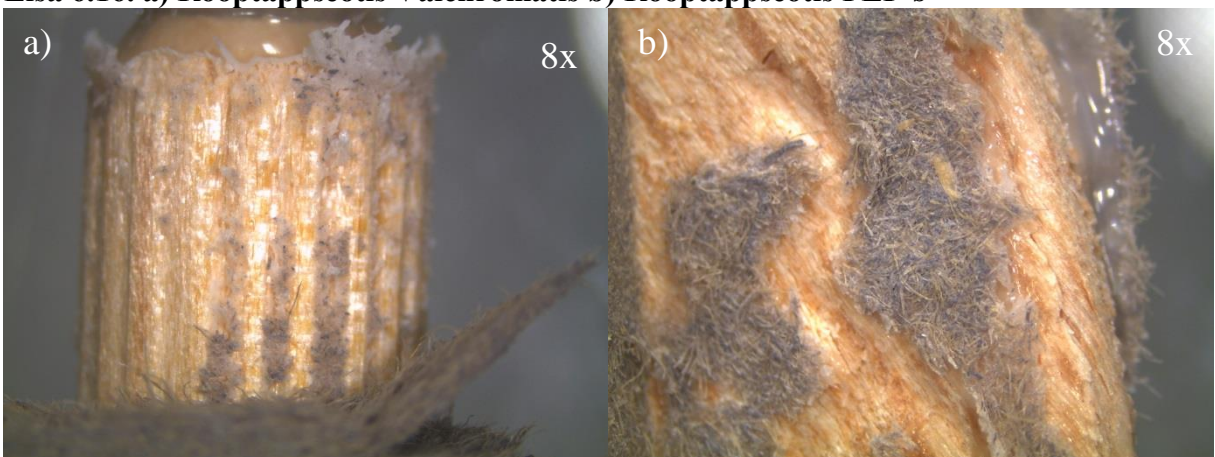


Lisa 6.15. a) Rööptappseotis MDF-is b) Rööptappseotis männis

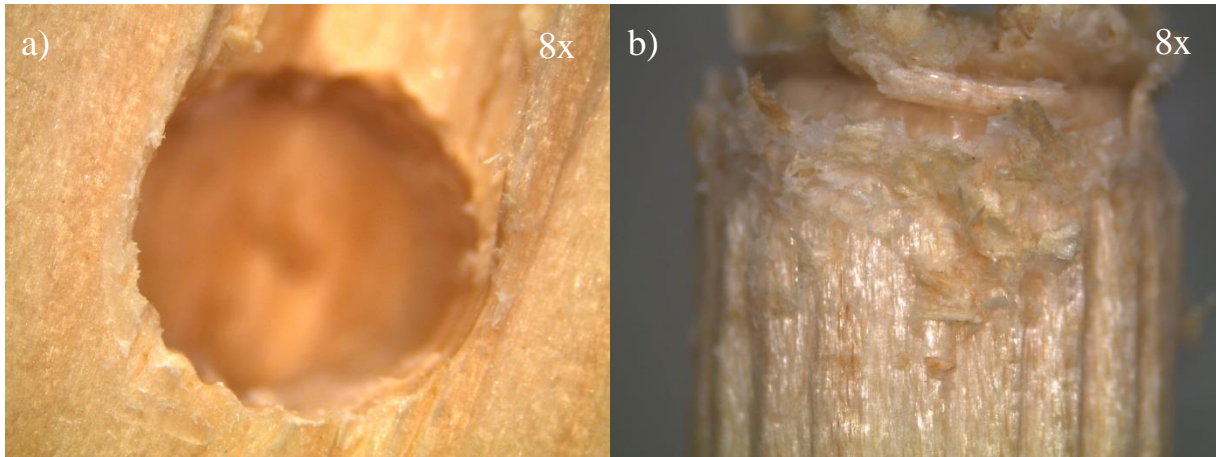




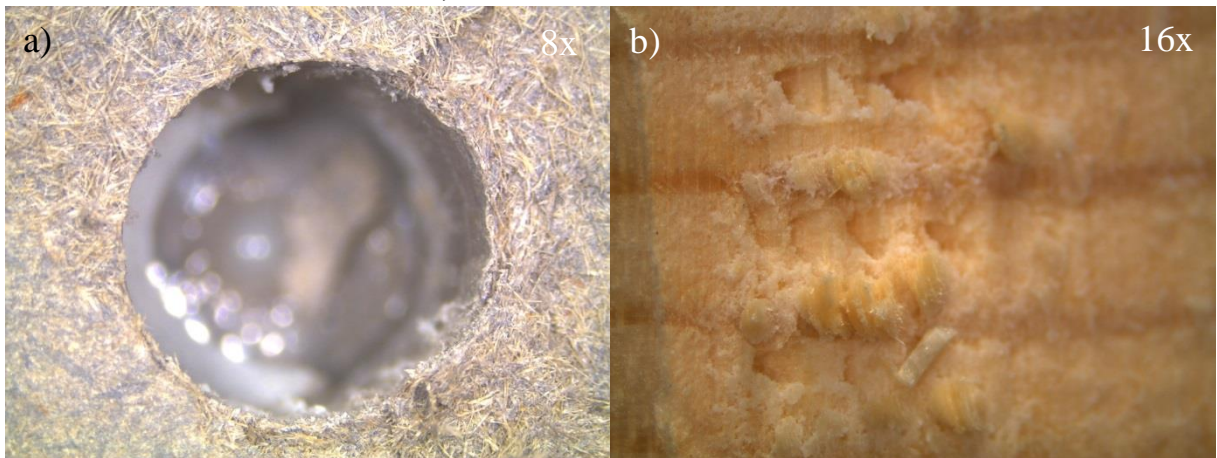
**Lisa 6.16. a) Rööptappseotis Valchromatis b) Rööptappseotis PLP-s**



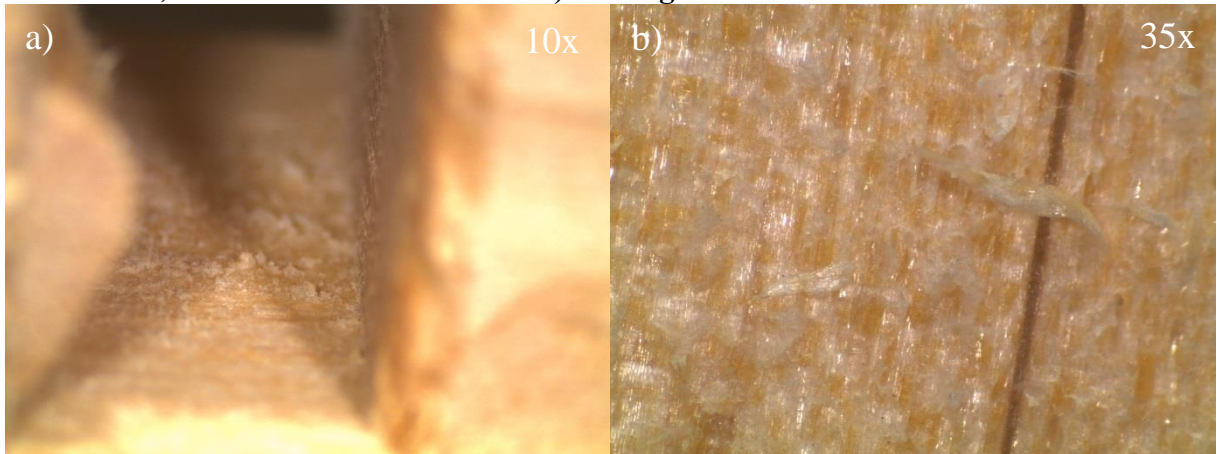
**Lisa 6.17. a) Tüübel Valchromatis b) Lamelltüübel Valchromatis**



**Lisa 6.18. a) Tüübli ava kases b) Tüübel PLP-s**



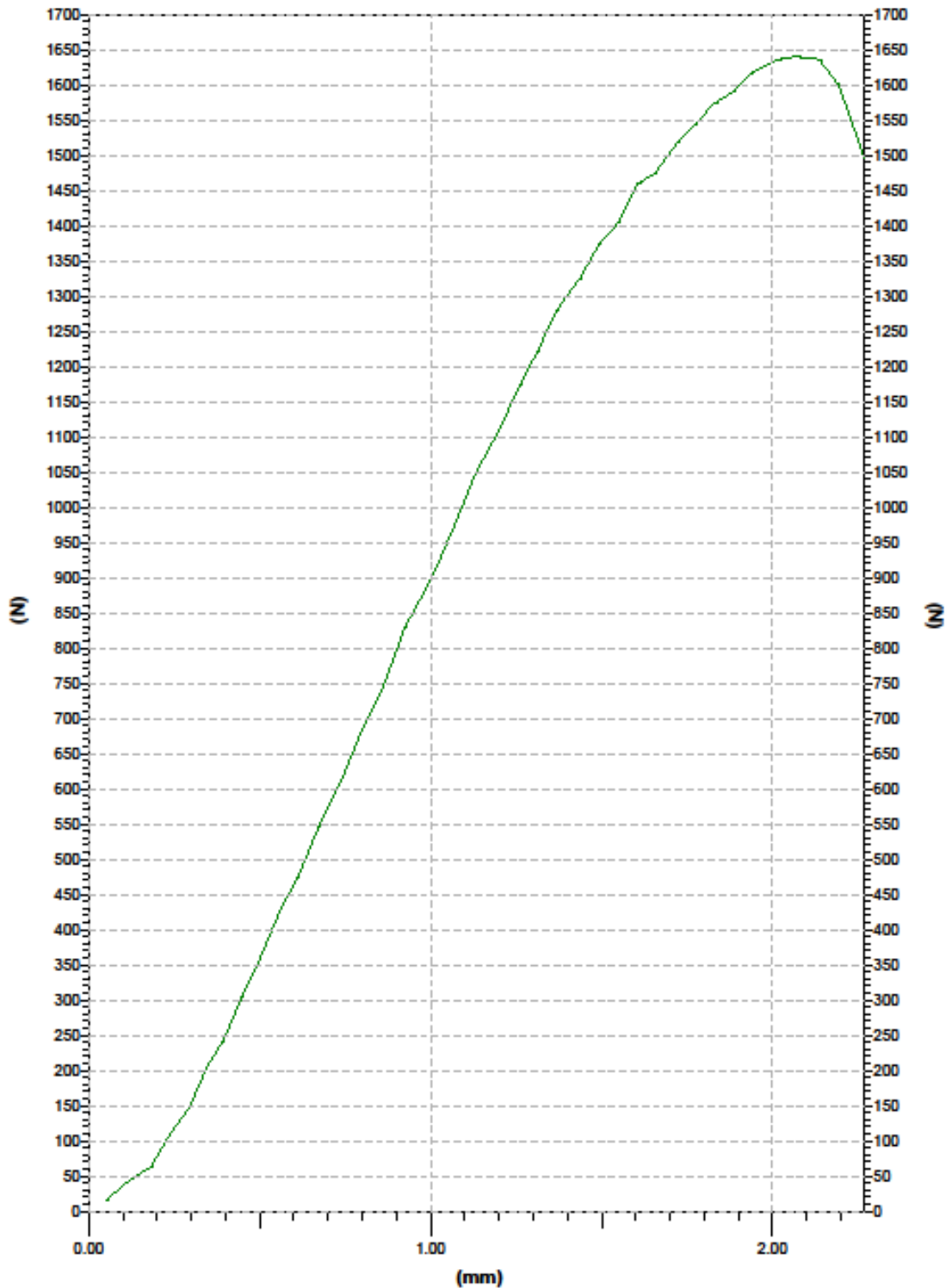
**Lisa 6.19. a) Tüübli ava Valchromatis b) Eerungseotis männis – rebitud kiud**



**Lisa 6.20. a) Rööptappseotise ava kases b) sileservseotis kases**

Lisa 7. Katsete surveskaalad  
Lisa 7.1. Sileservseotis kase surveskaala

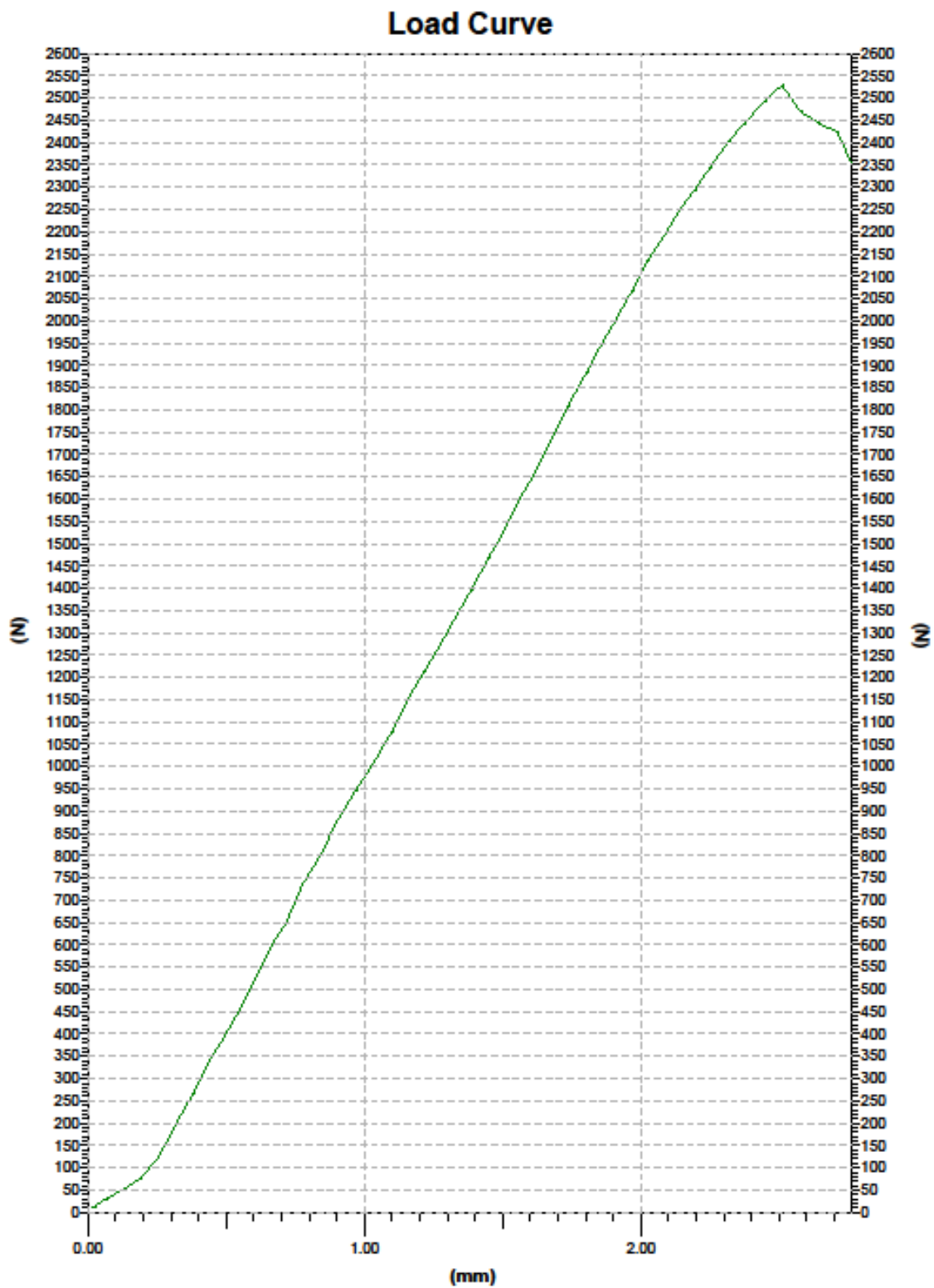
Load Curve



Bending strength - Test 15 - Force 1640 N - Bending strength 19.55 N/mm<sup>2</sup> - Modulus of Elasticity 5402.40 N/mm<sup>2</sup>



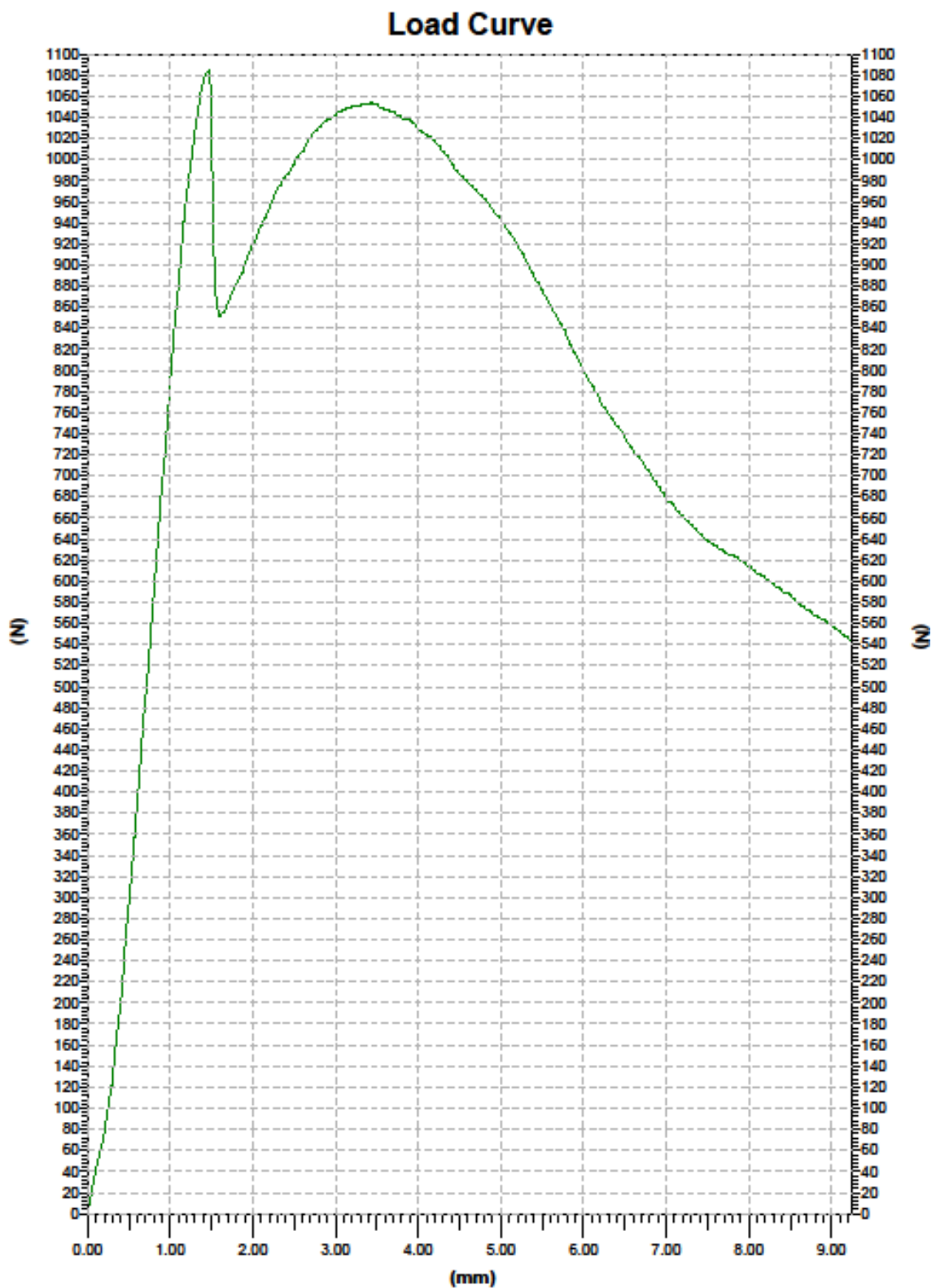
## Lisa 7.2. Eerungseotis kase surveskaala



Bending strength - Test 45 - Force 2531 N - Bending strength 30.96 N/mm<sup>2</sup> - Modulus of Elasticity 5871.55 N/mm<sup>2</sup>

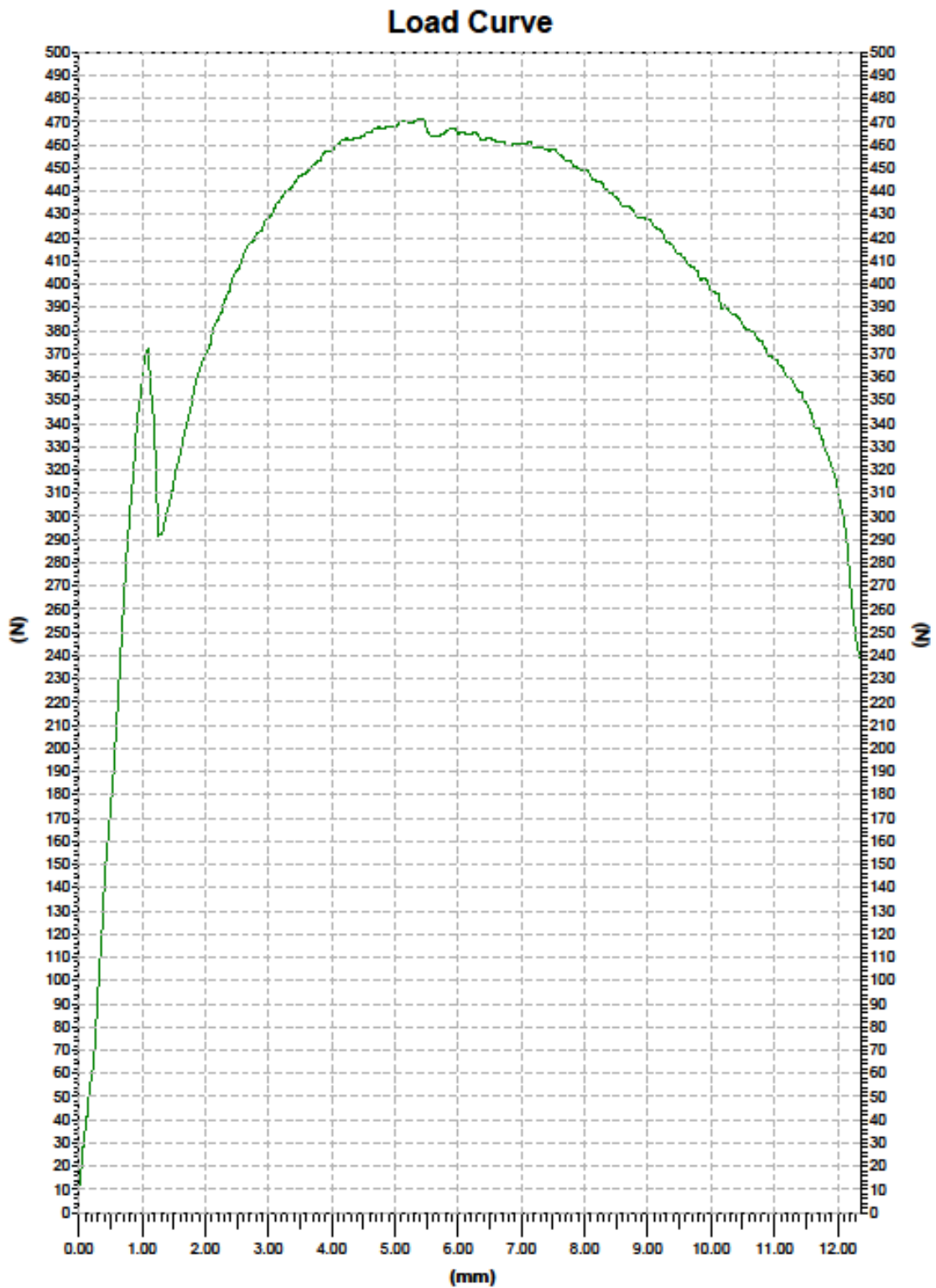


Lisa 7.3. Tüübelseotis kase surveskaala



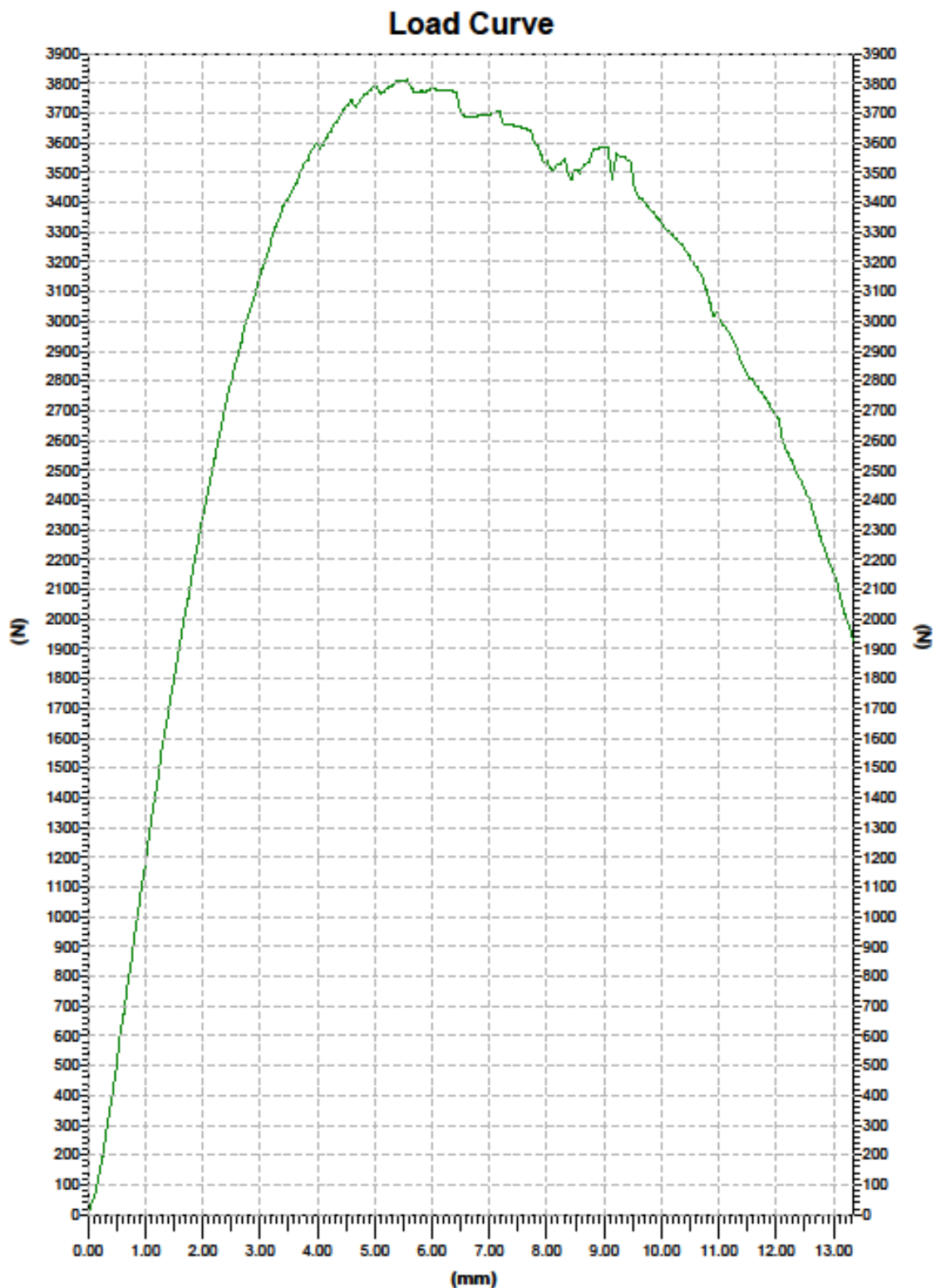
Bending strength - Test 89 - Force 1085 N - Bending strength 13.15 N/mm<sup>2</sup> - Modulus of Elasticity 4579.64 N/mm<sup>2</sup>

Lisa 7.4. Lamelltüübelseotis kase surveskaala



Bending strength - Test 124 - Force 471 N - Bending strength 5.63 N/mm<sup>2</sup> - Modulus of Elasticity 2018.02 N/mm<sup>2</sup>

## Lisa 7.5. Rööptappseotise kase surveskaala



Bending strength - Test 165 - Force 3817 N - Bending strength 49.56 N/mm<sup>2</sup> - Modulus of Elasticity 7344.90 N/mm<sup>2</sup>

## Lisa 8. PVA Liim Cascol 3351 tehnilised andmed maaletoojalt

### CASCOL 3351

Lühikese pressimisajaga puiduliim mööblikilbi, servaliistu ning koosteliimimiseks. Sobib kõvade raskestiliimitavate puiduliikide liimimiseks. Kulutab vähe lõiketeri.

#### TEHNILISED ANDMED

<b>Liimitüüp</b>	Polüvinüülatsetaat-dispersioon
<b>Tarnimisviis</b>	Vedelik
<b>Värvus</b>	Valge
<b>Viskoossus</b>	18000 mPa.s, Brookfield LVT , sp. 4, 6 rpm, 25°C
<b>Tihedus</b>	1080 kg/m <sup>3</sup>
<b>pH</b>	5 - 7
<b>Lahusti</b>	Vesi

#### MUUD ANDMED

<b>Liimi pealekandmine</b>	Väikese hammaslabida, pintsl, liimirulli, käsiliimivaltsi või tööstusliku liimivalts-pealekandeseadme abil.
<b>Ladustamine</b>	3 aastat hästi suletud pakendis +20°C juures. Toodet võib kasutada nii kaua, kuini ta ei ole kihistunud, paksenenud (kõrgem viskoossus raskendab pealekandmist) või bakteritest kahjustunud (ebameeldiv lõhn).
<b>Temperatuur</b>	Toodet ei tohi hoida temperatuuridel alla 0°C ega üle +30°C.

#### KASUTUSJUHIS

	Cascol 3351 kasutamine ei põhjusta puidul värvuse muutumisdefekte. Tammepuidu liimitamisel võib mõnel juhul rauaühendite ja parkhapete koosmõjust siiski tekkida värvimuutused. Selle vältimiseks on soovitatav enne liimimise alustamist läbiviia katseliimimine.
<b>Kasutustemperatuur</b>	10 – 70°C.
<b>Puidu niiskus</b>	Puiduniiskus peab olema 5 - 14%, parim niiskusaste on 7 - 10%. Kõrgem puiduniiskus võib põhjustada kuivamiskahanemisest tingitud liimivuugi lõhenemist.
<b>Liimikulu</b>	Liimi ühepoolne pealekanne: 60 - 200g/m <sup>2</sup> .

## Lisa 8. järg

Liimikulu sõltub liimitatavast detailist ja see tuleb alati täpsemalt määrata iga konkreetse kasutuse jaoks.

Kõvade ja vaiguste puiduliikide liimimisel peab liimitav puidupind olema värskelt töödeldud ning liimi kantakse mõlemale pinnale.

Ooteaeg	Suletud ooteaeg mitte kauem kui 10 min, +20°C
Mänd / mänd	Avatud ooteaeg mitte kauem kui 10 min, +20°C
Pressimisaeg	Mänd / mänd 2 - 4 min, +20°C juures.
	Muude puiduliikide liimimisel, teiste temperatuuride kasutamisel ja erinevate konstruktsioonide valmistamisel määratakse vajalik pressimisaeg alati katseliselt.
Pressimissurve	0,1 - 1,0 MPa. Värskelt töödeldud pinnad annavad parima lõpptulemuse.

## TÖÖOHUTUS

Täielik teave tervisekaitsest ning tööohutusest on töö-ohutuseeskirjades. Vastav eeskiri tuleb enne iga uue toote kasutuselevõtmist kindlasti hoolikalt läbilugeda.

**TOODET VÕIB KASUTADA AINULT TOOTEKIRJELDUSES TOODUD EESMÄRGIL.**

**ENNE TOOTE KASUTAMIST MÕNEL MUUL OTSTARBEL VÕTTA TARNIJAGA ÜHENDUST.**

**Andmed põhinevad laborikatsetel ja liimide pikaajalise kasutamise kogemustel. Andmed on mõeldud kasutajale juhendiks parima võimaliku töömenetluse leidmiseks. Kuna me ei tunne toote kasutaja konkreetseid lõpptulemust mõjutavaid töötingimusi, ei saa me vastutada tulemuse eest. Iga konkreetse kasutuse jaoks soovitame läbiviia katseliimimine ning pidevalt kontrollida tootmist.**

Lisa 9. Kõik katsetulemused

Jrk.nr	Nimetus	Laius (mm)	Paksus (mm)	Kaal (g)	Pinna kaal (Kg/m <sup>2</sup> )	Tihedus (Kg/m <sup>3</sup> )	Jõud (N)	Painde tugevus (MPa)	Elastsus moodul (MPa)	Purunemise indeks
1	SF 1	100,00	15,00	264,76	15,57	669,00	<b>467,00</b>	6,23	3543,70	14/3/6
2	SF 2	100,00	15,96	271,39	12,12	759,00	<b>562,00</b>	6,62	3571,64	14/3/6
3	SF 3	99,99	15,98	277,62	12,39	776,00	<b>630,00</b>	7,40	3078,24	15/3/6
4	SF 4	100,22	15,90	271,07	12,07	759,00	<b>614,00</b>	7,27	3087,98	14/3/15/6
5	SF 5	100,00	15,95	268,21	11,97	751,00	<b>486,00</b>	5,73	3055,90	14/3
6	SP 1	100,47	15,95	240,18	10,67	669,00	<b>555,00</b>	6,51	2148,75	14/3/15/6
7	SP 2	100,30	15,98	238,28	10,61	664,00	<b>487,00</b>	5,70	2252,68	14/3/15/6
8	SP 3	100,46	15,99	232,44	10,33	646,00	<b>621,00</b>	7,25	2098,79	14/3/15/6
9	SP 4	100,15	15,97	238,72	10,64	666,00	<b>699,00</b>	8,21	2358,36	14/3/15/6
10	SP 5	100,32	16,02	231,79	10,31	644,00	<b>537,00</b>	6,26	2225,70	14/3/15/6
11	SM 1	100,23	16,10	176,50	7,86	488,00	<b>537,00</b>	8,94	3476,07	1/8/3
12	SM 2	100,11	16,11	173,83	7,75	481,00	<b>851,00</b>	9,83	3086,73	1/3/7/14
13	SM 3	100,00	16,07	180,62	8,06	502,00	<b>375,00</b>	4,36	1653,01	14/8
14	SM 4	100,06	16,06	180,04	8,03	500,00	<b>666,00</b>	7,74	3242,67	14/8
15	SM 5	100,19	16,07	180,59	8,05	501,00	<b>1199,00</b>	13,90	4362,80	1/3/14/15
16	SV 1	100,32	15,93	261,04	11,62	729,00	<b>610,00</b>	7,19	4354,68	8/14
17	SV 2	100,20	15,92	259,79	11,57	727,00	<b>861,00</b>	10,17	4145,50	8/6/3/14
18	SV 3	100,30	15,88	259,98	11,57	729,00	<b>772,00</b>	9,16	4063,20	8/3/14
19	SV 4	100,30	15,95	258,36	11,50	721,00	<b>778,00</b>	9,15	4260,55	8/3/14
20	SV 5	100,30	15,92	265,52	11,82	742,00	<b>821,00</b>	9,69	4334,11	8/3/14
21	SK 1	99,18	15,93	227,31	10,23	642,00	<b>1640,00</b>	19,55	5402,40	1/3/8/15/14
22	SK 2	99,57	15,96	227,94	10,22	640,00	<b>1422,00</b>	16,82	4476,42	1/3/8/15/14
23	SK 3	100,18	15,95	232,19	10,35	649,00	<b>1746,00</b>	20,55	5741,66	1/3/8/15/14
24	SK 4	99,61	15,98	225,38	10,10	632,00	<b>1452,00</b>	17,13	5013,85	1/3/8/15/14
25	SK 5	99,06	15,93	227,69	10,26	644,00	<b>1009,00</b>	12,04	4355,13	1/3/8/15/14
26	EF 1	100,26	16,02	290,92	12,95	809,00	<b>830,00</b>	9,68	4420,11	1/3/4/7
27	EF 2	100,25	16,01	294,03	13,09	818,00	<b>869,00</b>	10,15	4633,02	2/4/7
28	EF 3	100,05	15,96	281,03	12,54	786,00	<b>932,00</b>	10,97	3112,56	1/3/14
29	EF 4	100,05	15,98	285,91	12,76	798,00	<b>921,00</b>	10,81	4565,61	1/3/14
30	EF 5	100,14	16,02	288,80	12,87	804,00	<b>952,00</b>	11,11	4911,18	1/3/14
31	EF 6	100,13	16,02	290,70	12,96	809,00	<b>843,00</b>	9,84	5091,43	1/3/14
32	EF 7	100,11	16,02	281,67	12,56	784,00	<b>961,00</b>	11,22	4689,13	1/3/14
33	EF 8	100,13	16,01	278,98	12,44	777,00	<b>884,00</b>	10,33	4224,85	1/3/14
34	EP 1	100,29	15,94	242,46	10,79	677,00	<b>702,00</b>	8,26	2737,68	15/6/1
35	EP 2	100,29	15,93	242,10	10,78	677,00	<b>762,00</b>	8,98	2343,25	5/15/1
36	EP 3	100,40	16,01	245,38	10,91	682,00	<b>683,00</b>	7,96	2305,77	15/6/1
37	EP 4	100,16	15,98	243,02	10,83	678,00	<b>522,00</b>	6,12	1849,68	5/15/1
38	EP 5	100,06	16,01	228,15	10,18	636,00	<b>609,00</b>	7,12	2459,73	5/15/1
39	EP 6	100,16	16,02	234,04	10,43	651,00	<b>690,00</b>	8,05	2637,23	4/5/9

Lisa 9 järg

Jrk.nr	Nimetus	Laius (mm)	Paksus (mm)	Kaal (g)	Pinna kaal (Kg/m <sup>2</sup> )	Tihedus (Kg/m <sup>3</sup> )	Jõud (N)	Painde tugevus (MPa)	Elastsus moodul (MPa)	Purunemise indeks
40	EP 7	99,88	16,00	234,73	10,49	656,00	<b>691,00</b>	8,11	2644,78	15/1/6
41	EP 8	99,96	16,01	230,03	10,27	642,00	<b>638,00</b>	7,47	2437,81	15/1/6
42	EV 1	100,19	15,99	266,57	11,88	743,00	<b>1598,00</b>	18,71	6577,00	15/3/1/6
43	EV 2	100,21	16,18	266,93	11,89	735,00	<b>1195,00</b>	13,67	4961,49	15/3/1/6
44	EV 3	100,12	16,18	265,44	11,84	732,00	<b>1171,00</b>	13,40	4447,19	15/3/1/6
45	EV 4	100,25	16,18	268,33	11,95	739,00	<b>1288,00</b>	14,72	4851,18	15/3/1/6
46	EV 5	99,90	16,17	271,79	12,15	751,00	<b>1035,00</b>	11,89	4512,61	15/3/1/6
47	EV 6	99,98	16,14	267,73	11,95	741,00	<b>1078,00</b>	12,42	4477,09	15/3/1/6
48	EV 7	99,77	16,12	269,67	12,07	749,00	<b>1294,00</b>	14,97	5120,57	6/15/1
49	EV 8	100,25	16,11	264,94	11,80	732,00	<b>1190,00</b>	13,72	4590,23	6/15/1
50	EK 1	99,30	15,80	223,69	10,06	636,00	<b>1609,00</b>	19,47	6760,79	14/8
51	EK 2	99,36	15,71	211,12	9,49	604,00	<b>2531,00</b>	30,96	5871,55	8/10
52	EK 3	99,62	15,73	234,93	10,53	669,00	<b>2493,00</b>	30,34	6659,22	15/7
53	EK 4	99,30	15,99	229,28	10,31	645,00	<b>1874,00</b>	22,14	7034,99	15/7
54	EK 5	99,30	15,91	211,31	9,50	597,00	<b>2355,00</b>	28,11	6141,42	15/7
55	EK 6	99,24	15,79	223,42	10,05	637,00	<b>1926,00</b>	23,35	5329,02	15/7
56	EK 7	99,83	15,98	226,16	10,11	633,00	<b>2559,00</b>	30,11	5729,40	15/7
57	EK 8	99,22	15,76	235,60	10,60	673,00	<b>2092,00</b>	25,47	6163,91	15/7
58	EM 1	100,18	16,07	198,03	8,82	549,00	<b>2179,00</b>	25,27	6455,86	15/7
59	EM 2	100,27	16,04	162,64	7,24	451,00	<b>2301,00</b>	26,76	7259,65	8/10/1
60	EM 3	100,19	16,08	171,61	7,65	476,00	<b>2142,00</b>	24,81	6755,25	15/7
61	EM 4	100,21	16,06	171,96	7,66	477,00	<b>1969,00</b>	22,85	6779,17	15/7/4
62	EM 5	100,21	16,07	171,67	7,65	476,00	<b>1735,00</b>	20,11	6583,77	4/14/1
63	EM 6	100,19	16,08	162,23	7,23	450,00	<b>1812,00</b>	20,98	6361,56	6/1/14
64	EM 7	100,09	16,07	161,49	7,20	448,00	<b>2112,00</b>	24,51	5691,27	6/1/14
65	EM 8	100,40	16,05	159,21	7,08	441,00	<b>1547,00</b>	17,94	5931,02	6/1/14
66	TF 1	100,29	16,04	268,96	11,97	746,00	<b>795,00</b>	9,24	1594,68	9/3/8
67	TF 2	100,20	16,12	275,56	12,28	762,00	<b>949,00</b>	10,93	2330,11	9/3/8
68	TF 3	100,21	15,99	278,30	12,40	775,00	<b>871,00</b>	10,20	1816,00	8
69	TF 4	100,13	16,06	270,40	12,06	751,00	<b>867,00</b>	10,07	1808,26	8
70	TF 5	100,30	16,04	269,63	12,00	748,00	<b>810,00</b>	9,42	1512,38	8
71	TF 6	100,08	15,97	269,98	12,04	754,00	<b>851,00</b>	10,00	1903,70	8
72	TF 7	100,03	15,98	272,38	12,16	761,00	<b>915,00</b>	10,75	1460,11	8
73	TF 8	99,95	15,95	273,09	12,20	765,00	<b>880,00</b>	3,57	355,06	8/4/10
74	TP 1	100,27	16,02	238,65	10,63	663,00	<b>634,00</b>	7,39	1290,49	5/8/3
75	TP 2	99,96	16,01	245,20	10,95	684,00	<b>745,00</b>	8,72	1560,20	16/1
76	TP 3	100,35	16,01	242,85	10,80	675,00	<b>690,00</b>	8,05	1335,58	16/1
77	TP 4	100,17	16,02	238,83	10,64	664,00	<b>711,00</b>	8,30	1495,74	1/14
78	TP 5	100,11	16,01	242,74	10,82	676,00	<b>682,00</b>	7,97	1212,21	1/14
79	TP 6	100,26	16,01	244,96	10,91	681,00	<b>641,00</b>	7,48	1297,89	1/14
80	TP 7	100,09	16,05	240,16	10,71	667,00	<b>693,00</b>	8,06	1193,74	1/14
81	TP 8	99,94	16,01	235,02	10,50	656,00	<b>669,00</b>	7,83	1458,10	1/14

Lisa 9 järg

Jrk.nr	Nimetus	Laius (mm)	Paksus (mm)	Kaal (g)	Pinna kaal (Kg/m <sup>2</sup> )	Tihedus (Kg/m <sup>3</sup> )	Jõud (N)	Painde tugevus (MPa)	Elastsus moodul (MPa)	Purunemise indeks
82	TV 1	99,94	16,13	250,75	11,20	694,00	<b>806,00</b>	9,30	2341,36	6/1/8
83	TV 2	99,51	16,13	252,63	11,33	703,00	<b>678,00</b>	7,86	2064,13	8/14
84	TV 3	100,11	16,16	260,91	11,63	720,00	<b>819,00</b>	9,40	2078,23	8/6
85	TV 4	100,13	16,13	257,53	11,48	712,00	<b>737,00</b>	8,49	2517,78	8/6/12
86	TV 5	99,39	15,93	257,92	11,58	727,00	<b>804,00</b>	9,56	2240,02	8/6
87	TV 6	100,24	16,12	265,10	11,81	732,00	<b>816,00</b>	9,40	1919,55	8/6
88	TV 7	100,08	15,93	251,89	11,24	705,00	<b>810,00</b>	9,57	2016,95	8/6
89	TV 8	100,07	16,15	257,03	11,47	710,00	<b>792,00</b>	9,10	2267,97	8/6
90	TK 1	98,99	15,78	228,41	10,30	653,00	<b>832,00</b>	10,13	2555,49	8/6
91	TK 2	99,67	15,83	218,57	9,79	618,00	<b>1004,00</b>	12,06	5109,10	8/6
92	TK 3	99,75	15,89	210,36	9,41	592,00	<b>835,00</b>	9,95	2228,85	8/6
93	TK 4	99,08	15,75	225,53	10,16	645,00	<b>926,00</b>	11,30	3533,93	8/6
94	TK 5	98,63	15,84	235,29	10,65	672,00	<b>1069,00</b>	12,96	4234,81	8/6
95	TK 6	98,94	15,82	236,77	10,68	675,00	<b>1085,00</b>	13,15	4579,64	8/6
96	TK 7	98,90	15,78	218,85	9,88	626,00	<b>906,00</b>	11,04	3834,15	8/6
97	TK 8	98,72	15,87	225,16	10,18	642,00	<b>930,00</b>	4,83	1094,83	8/6
98	TM 1	100,43	16,07	181,95	8,09	503,00	<b>742,00</b>	8,58	2140,20	8/6
99	TM 2	100,21	16,07	189,54	8,44	525,00	<b>816,00</b>	9,46	3121,16	8/6
100	TM 3	100,15	16,10	195,31	8,71	541,00	<b>706,00</b>	8,16	2320,83	8/6
101	TM 4	100,11	16,09	180,60	8,05	501,00	<b>709,00</b>	8,21	2609,06	8/6
102	TM 5	100,33	16,09	184,96	8,23	511,00	<b>779,00</b>	9,00	3799,72	8/6
103	TM 6	100,33	16,08	182,11	8,10	504,00	<b>817,00</b>	9,45	2713,67	8/6
104	TM 7	100,02	16,10	179,19	8,00	497,00	<b>809,00</b>	9,36	3502,54	8/6
105	TM 8	100,31	16,10	181,75	8,09	502,00	<b>882,00</b>	10,18	3229,65	8/6
106	LF 1	100,07	15,97	271,37	12,11	758,00	<b>386,00</b>	4,54	942,13	3/8/11
107	LF 2	100,16	16,10	271,64	12,11	752,00	<b>389,00</b>	4,49	1133,98	3/8
108	LF 3	100,03	15,98	269,47	12,03	753,00	<b>284,00</b>	3,34	788,85	3/8
109	LF 4	99,95	16,10	271,57	12,13	753,00	<b>444,00</b>	5,14	1285,00	3/8
110	LF 5	99,97	16,14	272,52	12,17	754,00	<b>416,00</b>	4,79	1403,69	3/8/17
111	LF 6	100,03	16,08	269,81	12,04	749,00	<b>332,00</b>	3,85	1053,14	3/8/17
112	LF 7	99,99	16,15	269,20	12,02	744,00	<b>347,00</b>	3,99	987,69	3/8/17
113	LF 8	99,98	16,11	274,51	12,26	761,00	<b>382,00</b>	1,01	210,51	3/8/17
114	LP 1	100,10	16,04	239,74	10,69	667,00	<b>280,00</b>	3,26	551,93	5/2/17
115	LP 2	99,88	16,03	234,88	10,50	655,00	<b>229,00</b>	2,68	490,99	5/2/17
116	LP 3	99,77	16,07	240,01	10,74	668,00	<b>249,00</b>	2,90	434,74	5/2/17
117	LP 4	100,11	16,04	233,64	10,42	650,00	<b>225,00</b>	2,62	580,93	5/2/17
118	LP 5	100,14	16,05	228,94	10,21	636,00	<b>295,00</b>	3,43	584,50	5/2/17
119	LP 6	100,02	16,07	234,62	10,47	652,00	<b>182,00</b>	2,11	399,92	5/2/17
120	LP 7	100,00	16,05	232,63	10,39	647,00	<b>250,00</b>	2,91	633,69	5/2/17
121	LP 8	100,00	16,06	228,72	10,21	636,00	<b>273,00</b>	3,18	497,31	5/2/17
122	LV 1	100,06	15,88	240,41	10,73	675,00	<b>261,00</b>	3,10	793,62	8/17/3
123	LV 2	100,14	15,79	236,24	10,53	667,00	<b>195,00</b>	2,34	487,02	8/17/3

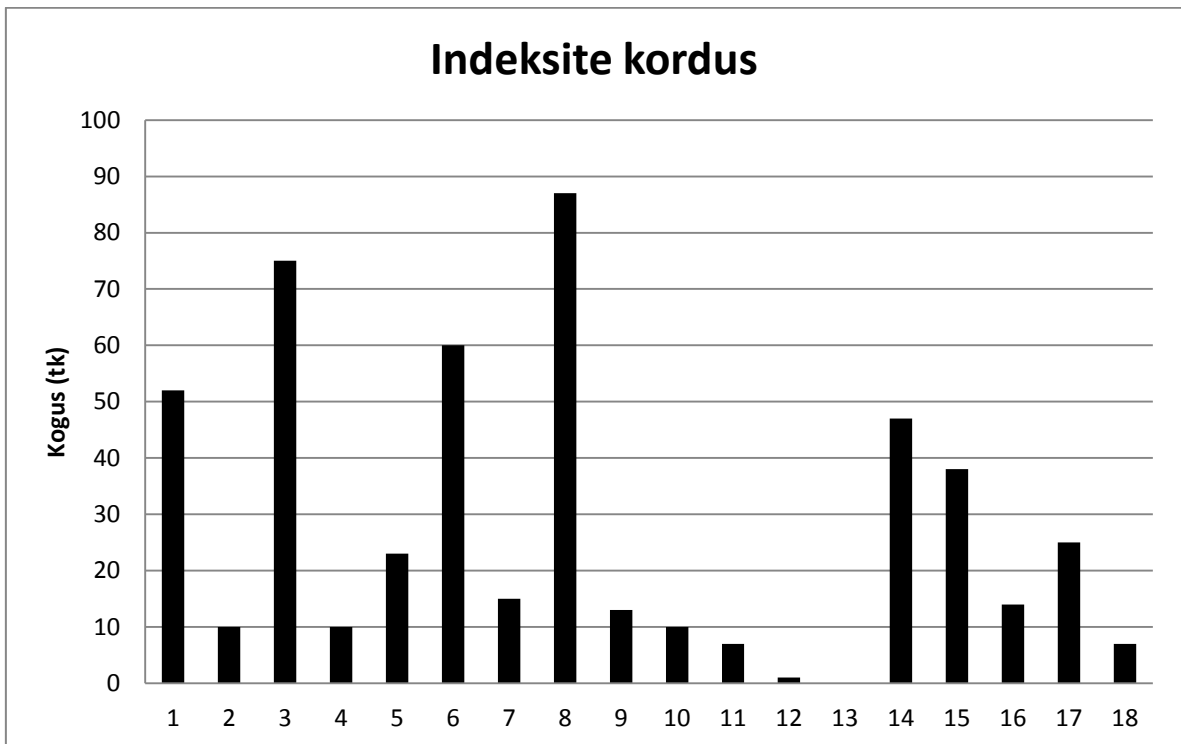


Lisa 9 järg

Jrk.nr	Nimetus	Laius (mm)	Paksus (mm)	Kaal (g)	Pinna kaal (Kg/m <sup>2</sup> )	Tihedus (Kg/m <sup>3</sup> )	Jõud (N)	Painde tugevus (MPa)	Elastsus moodul (MPa)	Purunemise indeks
124	LV 3	100,14	16,11	241,57	10,77	668,00	<b>253,00</b>	2,92	587,54	11/17/8/3
125	LV 4	100,25	16,06	240,43	10,71	667,00	<b>269,00</b>	3,12	626,11	8/17/3
126	LV 5	100,06	16,11	256,13	11,43	709,00	<b>412,00</b>	4,76	1271,64	8/17/6
127	LV 6	100,25	16,08	249,95	11,13	692,00	<b>391,00</b>	4,53	993,25	8/17/3
128	LV 7	100,14	16,09	256,88	11,45	712,00	<b>381,00</b>	4,41	1040,43	3/6/7
129	LV 8	100,14	15,90	252,34	11,25	708,00	<b>358,00</b>	4,24	760,19	3/8/9
130	LK 1	99,49	15,88	212,87	9,55	602,00	<b>471,00</b>	5,63	2018,02	11/2/6
131	LK 2	99,36	15,98	215,76	9,69	607,00	<b>415,00</b>	4,91	1391,03	8/17/3
132	LK 3	99,96	15,88	217,42	9,71	611,00	<b>467,00</b>	5,56	989,28	3/8/9
133	LK 4	99,56	15,93	225,17	10,10	634,00	<b>456,00</b>	5,41	1202,58	8/17/18
134	LK 5	99,27	15,87	211,84	9,53	600,00	<b>374,00</b>	4,49	443,57	18/8/17
135	LK 6	99,22	15,80	211,24	9,50	602,00	<b>269,00</b>	3,26	1011,87	18/3/8
136	LK 7	99,23	15,83	214,43	9,65	609,00	<b>303,00</b>	3,66	431,88	18/3/8
137	LK 8	99,39	15,91	217,38	9,76	614,00	<b>418,00</b>	4,98	1279,14	3/8/9/18
138	LM1	100,45	16,09	186,65	8,30	516,00	<b>452,00</b>	5,21	2170,04	11/1/9
139	LM2	100,02	16,09	187,39	8,36	520,00	<b>347,00</b>	4,02	964,88	18/8/3
140	LM3	99,85	16,04	186,13	8,32	519,00	<b>301,00</b>	3,52	1616,27	11/1/9/18
141	LM4	100,03	16,06	184,82	8,25	514,00	<b>450,00</b>	5,23	2065,89	11/1/9
142	LM5	100,29	16,08	192,45	8,57	533,00	<b>314,00</b>	3,63	1189,50	6/11/14
143	LM6	100,46	15,87	195,03	8,67	546,00	<b>362,00</b>	4,29	996,18	14/4/5
144	LM7	100,47	16,11	192,35	8,55	531,00	<b>472,00</b>	5,43	1380,72	14/6/5/8
145	LM8	99,98	16,10	188,64	8,42	523,00	<b>382,00</b>	2,11	431,40	14/6/8
146	RF 1	96,25	15,92	263,88	12,24	769,00	<b>1626,00</b>	20,00	3347,44	14/1/10
147	RF 2	96,49	15,93	267,51	12,38	777,00	<b>1640,00</b>	20,09	3450,77	17/1/10
148	RF 3	95,81	15,61	262,59	12,24	784,00	<b>1512,00</b>	19,43	2968,98	3/4/10
149	RF 4	95,74	15,61	256,22	11,95	765,00	<b>1457,00</b>	18,74	2872,30	14/15
150	RF 5	95,96	15,87	265,05	12,33	777,00	<b>1070,00</b>	13,28	3086,96	8/6/17
151	RF 6	95,89	15,82	265,92	12,38	783,00	<b>1269,00</b>	15,86	2981,63	8/6/17
152	RF 7	96,07	15,89	264,61	12,30	774,00	<b>1703,00</b>	21,06	3730,78	15/6
153	RF 8	95,99	15,90	265,05	12,33	775,00	<b>1150,00</b>	3,19	632,37	3/17/10
154	RP 1	100,00	15,50	200,00	8,93	638,00	<b>690,00</b>	10,56	1851,31	15/5
155	RP 2	95,64	15,55	215,29	10,05	646,00	<b>521,00</b>	6,76	2196,83	4/15/14
156	RP 3	95,80	16,19	213,62	9,95	615,00	<b>821,00</b>	9,81	2366,30	15/14
157	RP 4	95,96	15,81	221,98	10,33	653,00	<b>677,00</b>	8,47	2051,60	15/14
158	RP 5	95,73	15,90	225,73	10,53	662,00	<b>1009,00</b>	12,51	2811,82	5/14
159	RP 6	96,49	16,18	230,64	10,67	660,00	<b>748,00</b>	8,88	2074,81	5/14/16
160	RP 7	95,29	15,84	223,95	10,49	662,00	<b>796,00</b>	9,99	2355,33	10/9
161	RP 8	95,89	16,39	238,15	11,09	676,00	<b>794,00</b>	9,25	2145,94	10/5
162	RV 1	95,55	16,02	228,17	10,66	665,00	<b>1620,00</b>	8,36	2800,11	10/3
163	RV 2	98,86	15,94	245,92	11,11	697,00	<b>1608,00</b>	19,20	3791,28	4/7/14
164	RV 3	99,78	15,87	246,94	11,05	696,00	<b>1675,00</b>	20,00	3821,30	14/3/7
165	RV 4	100,54	16,35	247,30	10,98	672,00	<b>1584,00</b>	17,68	3104,00	15

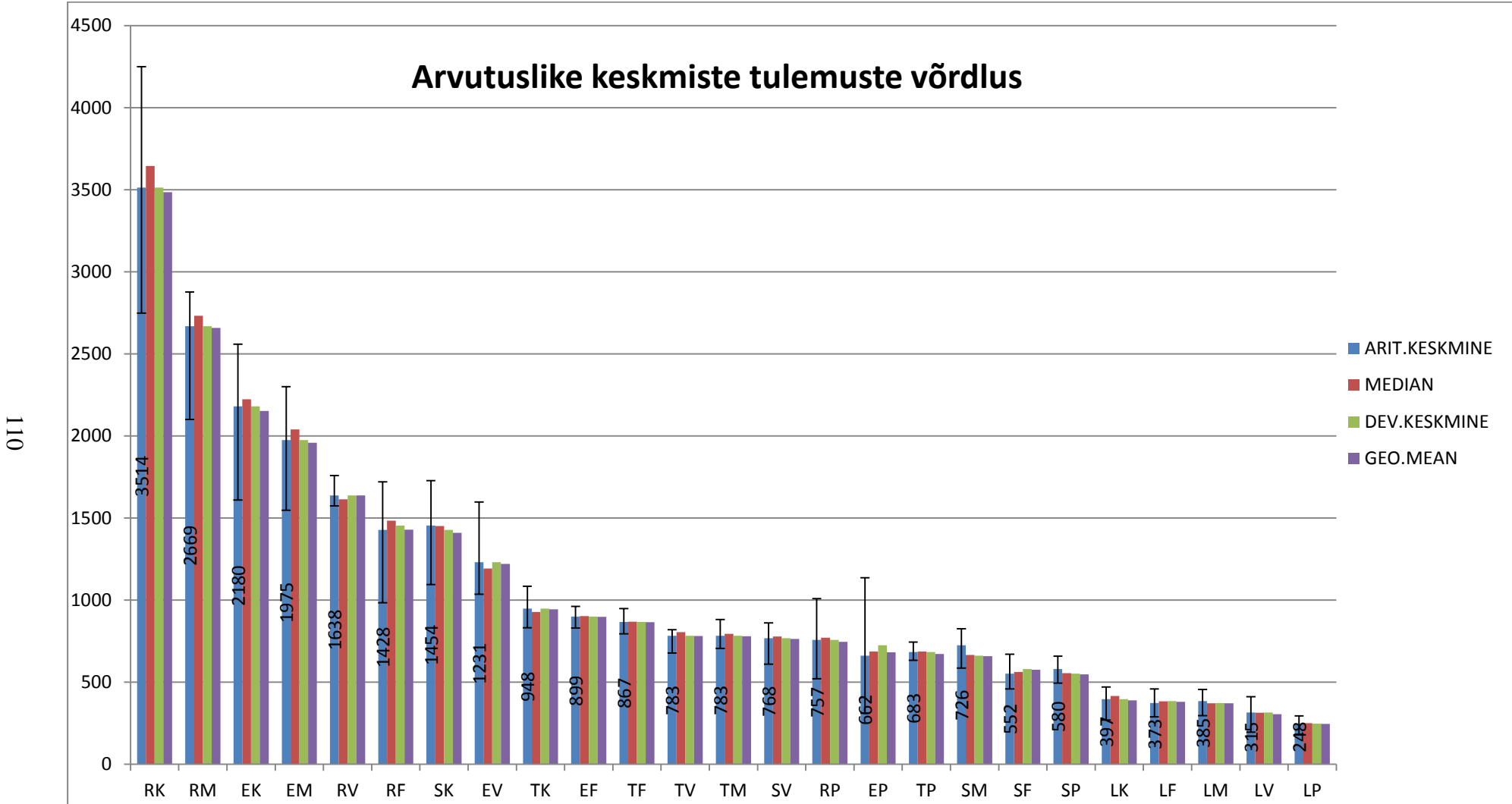
Lisa 9 järg

Jrk.nr	Nimetus	Laius (mm)	Paksus (mm)	Kaal (g)	Pinna kaal (Kg/m <sup>2</sup> )	Tihedus (Kg/m <sup>3</sup> )	Jõud (N)	Painde tugevus (MPa)	Elastsus moodul (MPa)	Purunemise indeks
166	<b>RV 5</b>	100,19	15,94	250,25	11,15	700,00	<b>1587,00</b>	18,70	3568,45	5/14
167	<b>RV 6</b>	100,31	16,18	248,81	11,07	684,00	<b>1700,00</b>	19,42	2965,45	5/14
168	<b>RV 7</b>	99,21	16,04	245,54	11,05	689,00	<b>1574,00</b>	18,50	3497,63	5/14
169	<b>RV 8</b>	100,00	15,93	250,83	11,20	703,00	<b>1759,00</b>	20,79	3814,49	5/14
170	<b>RK 1</b>	95,93	15,52	201,46	9,38	604,00	<b>3817,00</b>	49,56	7344,90	14/15/6
171	<b>RK 2</b>	95,40	15,37	214,98	10,06	655,00	<b>3698,00</b>	49,23	9284,23	16/8
172	<b>RK 3</b>	95,51	15,70	222,11	10,38	661,00	<b>3693,00</b>	47,06	7943,43	6/8/3/16
173	<b>RK 4</b>	95,75	15,89	215,40	10,04	632,00	<b>3596,00</b>	44,62	6565,00	6/8/3/16
174	<b>RK 5</b>	95,55	15,64	204,11	9,54	610,00	<b>4250,00</b>	54,55	7561,31	6/8/3/16
175	<b>RK 6</b>	95,29	16,13	205,98	9,65	598,00	<b>2749,00</b>	33,26	6166,56	6/8/3/16
176	<b>RK 7</b>	95,78	15,34	202,03	9,42	614,00	<b>3010,00</b>	40,06	6623,45	6/8/3/16
177	<b>RK 8</b>	95,87	15,64	202,83	9,44	604,00	<b>3299,00</b>	42,20	6134,65	6/8/3/16
178	<b>RM 1</b>	95,92	15,91	171,23	7,97	501,00	<b>2739,00</b>	33,84	5394,83	3/8/16
179	<b>RM 2</b>	96,12	16,01	184,24	8,56	534,00	<b>2101,00</b>	25,58	4756,04	3/8/16
180	<b>RM 3</b>	95,25	15,98	171,54	8,04	503,00	<b>2723,00</b>	33,59	5335,97	3/8/16
181	<b>RM 4</b>	95,86	16,05	176,76	8,23	513,00	<b>2735,00</b>	33,23	5308,64	3/8/16
182	<b>RM 5</b>	92,50	16,01	191,19	9,23	576,00	<b>2877,00</b>	36,40	6211,95	1/3
183	<b>RM 6</b>	92,43	15,82	173,89	8,40	531,00	<b>2742,00</b>	35,56	6093,58	9/1/3
184	<b>RM 7</b>	95,70	15,90	185,73	8,66	545,00	<b>2704,00</b>	33,53	6301,29	9/1/3
185	<b>RM 8</b>	96,38	15,70	171,96	7,97	507,00	<b>2730,00</b>	34,47	5024,39	9/1/3



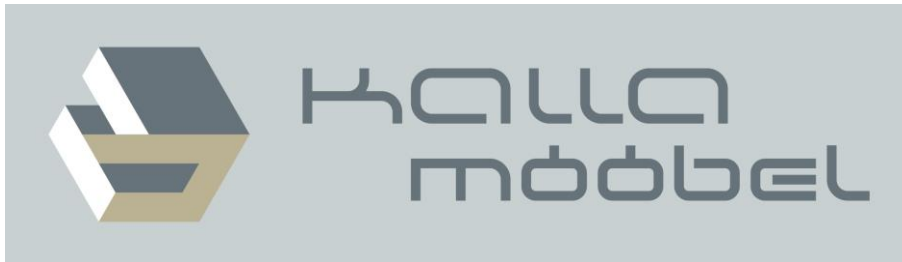
Joonis 47. Indeksite korduvus kõigi katsete ulatuses

Lisa 11. Arvutuslike keskmiste tulemuste võrdlus



## Lisa 12. Tänuõnad

Autor tänab OÜ Kalla Mööblit, kes aitas kaasa käesoleva magistr töö valmimisele, lubades kasutada katsekehade valmistamiseks oma tootmishoonet ja materjale.



Autor tänab Võrumaa Kutsehariduskeskust, kes lubas kasutada oma ruume ja seadmeid katsetuste läbiviimiseks.



Autor tänab Tallinna Tehnikaülikooli puiduõppetooli ja õppetooli juhti prof. Jaan Kersi, kes aitasid käesoleva magistr töö valmimisel.



