



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIKAN JA LIIKENTEEN ALA

PUUN MODIFIOINTI

Massiivipuun läpivärjääminen

TEKIJÄ: Maiju Ruohonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Puutekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Maiju Ruohonen			
Työn nimi Puun modifiointi: Massiivipuun läpivärjääminen			
Päiväys	29.4.2014	Sivumäärä/Liitteet	39/2
Ohjaajat Risto Pitkänen, pt.tuntiopettaja ja Kalle Kiviranta, projekti-insinööri			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Woodneste Oy			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia paineella tehtävää massiivipuun läpivärjäystä ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Työn tavoitteena oli selvittää, voidaanko maailmalla onnistuneiden massiivikoivun läpivärjäysten lisäksi onnistuneita läpivärjäksi tehdä myös pintapuusta valmistetuille massiivipuulle kuusi- ja mäntykappaleille, ja mitä paineessa läpivärjääminen vaatisi. Opinnäytetyön aihe saatiin Woodneste Oy:ltä, joka toimii itsekin värjäyskokeita suorittavan Reino Pendikäisen rahoittajana.</p> <p>Työ aloitettiin tutustumalla puun pintakäsittelyä ja läpivärjäämistä käsittelevään kirjallisuuteen, minkä lisäksi Internetin avulla perehdyttiin aiemmin maailmalla suoritettuihin värin tunkeutumisen parantamis- ja läpivärjäystesteihin, sekä niiden tuloksiin. Tämän jälkeen koestettavat koivu-, kuusi- ja mäntykoekappaleet valmistettiin Savonia-ammattikorkeakoulun rakennustekniikan laboratoriossa käyttäen kyseisen tilan puuntyöstökoneita ja käsityökaluja.</p> <p>Testaukset suoritettiin Savonia-ammattikorkeakoulun pintakäsittelylaboratoriossa sijaitsevalla delaminointikoneella maaliskuussa 2014. Kokeellisessa osassa tutkittiin ajan, paineen ja tensidien, sekä petsiliuosten vaikutusta testikappaleiden tunkeutumaan työhön laaditun kirjallisuusosan pohjalta. Paineistettujen testien pohjana toimivat sovelletut tiedot muualla aiemmin onnistuneista paineen käyttöön perustuvista testeistä.</p> <p>Saaduista tuloksista on nähtävissä, että tunkeutumukset ovat sitä parempia, mitä pidempään testit ovat ajallisesti kestäneet. Myös tensidien tunkeutumaa edistävä vaikutus on havaittavissa suurimmassa osassa saatuja tuloksia. Varsinainen läpivärjäys ei kuitenkaan onnistunut testeihin käytetyissä paineissa. Parhaimmat tunkeutumistulokset saavutettiin koivukappaleilla, kun taas heikoimmat tulokset saatiin pääosin pintapuusta valmistetuilla kuusi- ja mäntykappaleilla.</p>			
Avainsanat			
Läpivärjääminen, massiivipuun,			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Wood Technology			
Author(s) Maiju Ruohonen			
Title of Thesis Modification of Wood; Through-Dyeing of Solid Wood			
Date	29 April 2014	Pages/Appendices	39/2
Supervisor(s) Mr. Risto Pitkänen, Full-Time Teacher, and Mr. Kalle Kiviranta, Project Engineer			
Client Organisation /Partners Woodneste Oy			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to study the through-dyeing process of solid wood products and the factors such as pressure affecting it. The thesis was commissioned by a company called Woodneste Oy, which is a financier of Reino Pendikäinen who also makes some staining and through-dyeing tests in his own laboratory. The aim of this thesis was to find out if it is possible to through-dye solid pine and spruce sapwood successfully like solid birch wood can be.</p> <p>First, wood finishing and through-dyeing literature was studied and the Internet was used for collecting information about corresponding studies and results. Next, the test specimens were manufactured in the laboratory of Savonia University of Applied Sciences (UAS) by using wood working machines and hand tools. Then tests were made by a delamination machine at Savonia UAS during March 2014.</p> <p>From the results obtained it can be seen that the longer the test time was, the better the result was. Also, the penetrating effect of surfactants was observed in most of the results. Through-dyeing did not succeed on any of the tested specimens. The best penetration results were accomplished on pieces made of birch, while the poorest results were got with both spruce and pine sapwood pieces.</p>			
Keywords			
Through-dyeing, solid wood			

ESIPUHE

Erityisesti haluan kiittää opinnäytetyöaiheen antanutta Woodneste Oy:tä ja minua opinnäytetyön aikana ohjanneita päätoimista tuntiopettajaa Risto Pitkäästä (Savonia-ammattikorkeakoulu), sekä projekti-insinööri Kalle Kivirantaa (Savonia-ammattikorkeakoulu). Lisäksi haluan kiittää lämpimästi kaikkia niitä henkilöitä, jotka ovat muuten olleet myötävaikuttamassa tämän opinnäytetyöprosessin valmiiksi saattamiseen.

Kuopiossa 29.4.2014

Maiju Ruohonen

SISÄLTÖ

LYHENTEET, MÄÄRITELMÄT JA SANASTO.....	7
1 JOHDANTO	8
2 PETAUS JA PINTA-AKTIIVISET AINEET.....	9
2.1 Petsauksen historiaa lyhyesti	9
2.2 Petsit	10
2.3 Pinta-aktiivisten aineiden toiminta	11
2.4 Pinta-aktiivisten aineiden jaottelu.....	12
2.4.1 Anioniset	12
2.4.2 Kationiset	12
2.4.3 Ionittomat	13
2.4.4 Amforeettiset.....	13
3 PUUN LÄPIVÄRJÄÄMINEN	14
3.1 Värjäys petseillä.....	14
3.2 Värjäys paineella.....	14
3.3 Värjäys sähkökineettisesti.....	15
4 OPINNÄYTETYÖSSÄ KÄYTETTÄVÄT TESTAUSMENETELMÄT	16
4.1 Sively- ja upotustestit.....	16
4.2 Painetestaus	16
4.3 Petsattujen testikappaleiden tutkiminen	17
5 TESTIKAPPALEIDEN VALMISTUS JA TESTAUS.....	19
5.1 Testikappaleiden valmistus	19
5.1.1 Eri puumateriaalit.....	19
5.1.2 Puumuovikomposiittiputken valmistelu	22
5.1.3 Kaikille materiaaleille yhteiset valmisteluvaiheet	24
5.2 Testaus	24
5.2.1 Sively ja upotus kappaleet	26
5.2.2 Yli- ja alipainetestaus	26
6 TULOKSET	28
6.1 Sively ja upotuskappaleiden tulokset	28
6.2 Painetestien tulokset.....	28
6.2.1 Alipainetestatut.....	29

6.2.2	Ylipainetestatut	31
6.2.3	Ajan, tensidin ja paineen vaikutus	34
6.3	Tulosten luotettavuus.....	35
7	JOHTOPÄÄTÖKSET, ARVIOINTI JA POHDINTA.....	36
	LÄHTEET	37
	LIITE 1: MITTAUSPÖYTÄKIRJA	

LYHENTEET, MÄÄRITELMÄT JA SANASTO

Amfifiilinen aine	Molekyyli, jolla on sekä hydrofobinen, että hydrofiilinen alue
Amfipaattinen aine	Katso amfifiilinen aine
Dispersio	Toisiinsa liukenemattomien aineiden muodostama seos
Emulsio	Kahden toisiinsa liukenemattoman nesteen dispersio, jossa toinen neste on mikroskooppisen pieniksi pisaroiksi jakautuneena toisessa nesteessä
Hydrofiilinen	Vesiliukoinen
Hydrofobinen	Vettähylkivä, rasvaliukoinen
Lipofiilinen	Katso hydrofobinen
Petsi	Puun pinnan värjäämiseen käytettävä läpikuultava aine, joka ei muodosta kalvoa

1 JOHDANTO

Massiivipuun läpivärvääminen on kiinnostanut niin kauan, kuin puutuotteita on pintakäsitelty. Värväyksiä tehtäessä kohdataan kuitenkin monia erilaisia ongelmia, sillä puulajit eivät ime tarpeeksi petsiä normaalipaineessa tai ne sisältävät uuteaineita, jotka estävät petsin tunkeutumisen puuaineeseen. Nykyisin ollaan kuitenkin entistä kiinnostuneempia läpivärväämään eri puulajeja, onnistuneiden viulun värväyskokeiden jälkeen. Tämä johtuu siitä, että läpivärväys takaisi kappaleiden tasaisen sävyn myös niiden sisäosissa ja vaikuttaisi siten suuresti puutuotteiden valmistukseen. Menetelmä palvelisi etenkin teollisuuden tarpeita, sillä oikean värisävyn saaminen petsiin on aikaa vievää ja harvoin täysin onnistunutta. Lisäksi tasaisen värisävyn säilyminen erilaisissa työstöissä, kuten vaikkapa hionnassa, poistaisi mahdollisesti joitakin pintakäsittelyprosessin vaiheita. Kyseinen värväysmenetelmä helpottaisi myös puutuotteiden kolhiintuneiden tai naarmuuntuneiden pintojen korjaamista ja lisäisi samalla niiden käyttöikä.

Vaikka puun läpivärväämisen alkusysäyksenä on aikanaan toiminut vilpillisuus, ovat läpivärväykseen liittyvät syyt tätä nykyä pääosin esteettisiä ja käyttäjää helpottavia. Toimivalla läpivärväysmenetelmällä voitaisiin ratkaista monta käytännönongelmaa, niin puutuotteiden valmistuksessa, kuin niiden korjaamisessakin, mutta prosessin ollessa vielä lapsen kengissä, sen toimivaksi ja kannattavaksi saaminen vaatisi vielä paljon kehittelyä. Massiivipuun läpivärväämisen kehittäminen on kuitenkin perusteltua sen vuoksi, että sillä saavutettaisiin enemmän esteettisiä ja käytännöllisiä, sekä ekologisia hyötyjä, kuin taloudellisia ja vilpillisiä haittoja.

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on tutkia paineella tehtävää massiivipuun läpivärväystä ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Työn tavoitteena on selvittää, voidaanko maailmalla onnistuneiden massiivikoivun läpivärväysten lisäksi onnistuneita läpivärväyksiä tehdä myös pintapuusta valmistetuille kuusi- ja mäntykappaleille, ja mitä paineessa läpivärvääminen vaatisi. Opinnäytetyön aihe saatiin Woodneste Oy:ltä, joka toimii itsekkin värväyskokeita suorittavan Reino Pendikäisen rahoittajana. Testaukset suoritettiin Savonia-ammattikorkeakoulun pintakäsittelylaboratoriossa sijaitsevalla delaminointikoneella maaliskuussa 2014. Kokeellisessa osassa tutkittiin ajan, paineen ja tensidien, sekä petsiliuosten vaikutusta testikappaleiden tunkeutumaan työhön laaditun kirjallisuusosan pohjalta. Paineistettujen testien pohjana toimivat sovelletut tiedot muualla aiemmin onnistuneista paineen käyttöön perustuvista testeistä.

2 PETAUS JA PINTA-AKTIIVISET AINEET

Petsaus on pintakäsittelytapa, jonka avulla puun pinta saadaan sävytettyä halutun väriksi kuitenkin peittämättä puun syyrakennetta. Koska petsi ei itsessään muodosta suojaavaa kalvoa puun pinnalle, vaan ainoastaan sävyttää sen, tulisi pinnat lakata, vahata tai öljytä aina petsauksen jälkeen, jotta puu olisi paremmassa suojassa muun muassa ympäristöstä aiheutuville kolhuille ja roiskeille. (Isomäki, Koponen, Nummela ja Suomi-Lindberg 2002, 96–97.) Puun pintakäsittelyä, toisin sanoen pintakäsittelyaineiden tunkeutumista puuhun, voidaan parantaa erilaisilla täyteaineilla kuten pinta-aktiivisilla aineilla. Bulian ja Graystonen (2009) kirjoittaman kirjan mukaan pinta-aktiiviset aineet ovat pintakäsittelylle tärkeitä amfipaattisia täyteaineita. Petseistä ja pinta-aktiivisista aineista on kerrottu tarkemmin seuraavaksi.

2.1 Petsauksen historiaa lyhyesti

Hilmer Hylander (1927) kuvailee kirjassaan petsauksen historiaa. Ensimmäiseksi hän selvittää puun petsauksen tavoitteiden muutosta historian aikana. Muutos on hänen mukaansa seurausta siitä, että alkujaan halvempia puulajeja on haluttu käsitellä kalliimpien puulajien näköiseksi huijausmielessä, kun taas nykyisin puita petsataan yleensä täysin käytännöllisistä ja taiteellisista syistä. Nykyisin halutaan siis pikemminkin korostaa puun pinnan ominaisuuksia ja tehdä puusta viehättävämmän näköinen, kun taas petsauksen alkuaikoina on ollut tarkoitus huijata ihmisiä luulemaan puulajia toiseksi, monessa tapauksessa arvokkaammaksi lajiksi. (Hylander 1927, 7–9).

Seuraavaksi kirjoittaja huomauttaa, että puun petsaustaidolla ja sen kehityksellä on ollut pitkä ja yhteinen historia kutomatuotteiden värjäystaidon kanssa. Värjäyksien alkuaikoina sekä kutoma, että puutuotteiden värjäämiseen on käytetty eläimistä ja kasveista saatuja väriaineita, minkä lisäksi värien kiinnittämiseen on käytetty erilaisia kemikaaleja. Sittenkin värjääjät ovat huomanneet, että myös kiinnittämiseen käytetyt kemikaalit soveltuvat useimmissa tapauksissa sellaisinaan puun värjäykseen niiden sisältämien metallien vuoksi. (Hylander 1927, 7–9.)

Hylanderin mukaan varsinaisen petsauksen historian tärkein käännekohta on ollut kuitenkin vuonna 1857, jolloin englantilainen Perkins onnistui keksimään aniliini-väriaineen. Tämän mullistavan aineen keksiminen toimi alkusysäyksenä petsien jatkokehittelylle, minkä jälkeen useimmat petsi-keksinnöt ovat menneet ranskalaisten ja saksalaisten tiedemiehien nimiin. Luonnollisesti ensimmäiset petsivärit eivät ole olleet kovin korkealaatuisia kestoiltaan ja kestävimpien petsien havaittiin jo tuolloin sisältäneen paljon myrkyllisiä aineita, kuten arsenikkia. Tiedemiesten kehittelyn tuloksena nykypetsit on saatu kestäviksi valon, veden, lipeän ja happojen vaikutukselle ilman myrkyllisiä aineita, mikä on ollut osaltaan mullistamassa petsien suosiota ja käyttöä aivan näihin päiviin asti. (Hylander 1927, 7–9.)

2.2 Petsit

Petsit voidaan jaotella niihin käytettävien ohenteiden mukaan vesi-, liuotin- ja öljypetseihin, sekä lakkapetseihin. Kaupasta ostettaessa nämä petsit ovat joko itse sekoitettavia jauheita tai käyttövalmiita liuoksia, joita voi useimmissa tapauksissa laimentaa tarpeeseen sopiviksi valmistajien ohjeiden mukaisesti. Kuten jo aiemmin mainittiin, petsit eivät muodosta pintaa suojaavaa kalvoa, vaan sävyttävät pinnan, jolloin se tulee lakata, öljytä tai vahata erikseen mukana tulevien valmistajan ohjeiden mukaisesti. (Puuproffa.fi)

Vesiohenteiset petsit ovat yleisiä erityisesti kotitalouskäyttäjien keskuudessa, sillä ne ovat helppoja käyttää, eivätkä vaadi erityisiä tiloja tai suojauksia. Lisäksi vesiohenteiset petsit ovat helppoja hävittää ja niihin sotkeutuneet työvälineet tai pinnat ovat helppoja puhdistaa, koska nämä petsit eivät sisällä haitallisia aineita ja ne voidaan siksi pestä pois pelkällä vedellä. (Kiviranta 2013; Puuproffa.fi)

Vaikka liuotinohenteiset petsit tunkeutuvat puuhun vesiohenteisiä petsejä paremmin ja kuivuvat niitä nopeammin, on niiden käyttö vähentynyt, sillä haitalliset liuottimet höyrystyvät huoneilmaan petsauksen ja petsin kuivumisen aikana, ja vaativat siksi hyvän ilmaston, sekä hyvän henkilökohtaisen suojauksen. Muutoin liuotinhöyryt ovat voimakkaan hajuisia, ja voivat aiheuttaa huimausta tai päänsärkyä, minkä lisäksi pitempiaikainen altistuminen niille voi aiheuttaa vakavia terveyshaittoja. (Kiviranta 2013; Puuproffa.fi)

Herdins Aito Petsi

Herdinsin Träbehandling med känsla-esitteen mukaan, opinnäytetyössä käytettävät Herdinsin Aito Petsit, myöhemmin lyhyesti Aito Petsi tai petsi, ovat vesiohenteisiä petsivärijauheita, jotka soveltuvat käytettäväksi kaikenlaisille tasaiseksi hiotuille puupinnoille, joissa ei ole jäänteitä mahdollista aiemmista lakkaus tai maalikerroksista. Petsistä saadaan käyttövalmista, kun petsipussin (kuva 1) sisältö liuotetaan kiehuvan kuumaan veteen pussin kyljestä löytyvien käyttöohjeiden mukaisesti, minkä jälkeen liuoksen annetaan jäähtyä. Valmista käyttöliuosta saadaan yhdestä Aito Petsi pussillisesta noin $\frac{3}{4}$ litrasta litraan, mutta liuoksen lopullinen määrä riippuu kuitenkin petsin halutun sävyn voimakkuudesta ja siten käytettyjen ohenteiden määrästä. Riittoisuutensa puolesta valmis petsilitra riittää värjäämään noin kuudesta kahdeksaan neliometriä puupintaa. (Herdins.se)

Valmistajan mukaan Aito Petsin lopullinen värisävy riippuu suurimmaksi osaksi puuaineen rakenteesta, sen kovuudesta ja puulajin luontaisesta väristä. Lisäksi seoksen sekoitussuhteella voi olla merkitystä lopputulokseen. Petsiä tulee aina kokeilla testikappaleeseen, ennen varsinaiseen petsaamiseen ryhtymistä, jotta petsisävyn oikeellisuudesta ja petsin toiminnasta kyseisellä pinnalla ja kyseisellä puulajilla voidaan varmistua. Jos todetaan, että vesiliuos ei yksistään riitä tuottamaan haluttua tasaista sävyä puupinnalle, voidaan Aito Petsi sekoittaa myös spriihin niin että liuoksessa on 50 osaa vettä ja 50 osaa spriitä. Tummemmat sävyt voivat kuitenkin tällaisissa tapauksissa vaa-

tia jopa 70 osaa spriitä ja 30 osaa vettä käsittävän liuoksen. Petsin sävyn voimakkuutta voidaan lisäksi hallita ohenteen määrällä niin, että ohenteen lisääminen vaalentaa sävyä ja sen vähentäminen tummentaa sitä. (Herdins.se)

Lisäksi valmistaja suosittelee hartsipitoisia puulajeja, kuten mäntyä, petsatessa esikäsittelmään puun vesiliuoksella, johon on lisätty muutama pisara kaksikymmentäviisi (25) prosenttista ammo- niakkia. Tämä käsittely helpottaa petsin imeytymistä puun pintaan, jolloin puhutaan kostuttamisesta. Esikäsittelyn jälkeen pinta tulee vielä hioa uudelleen, jotta tästä toimenpiteestä aiheutunut ti- kunnous saadaan tasoitettua ennen varsinaista petsausta. (Herdins.se)



Kuva 1 Herdinsin Aito Petsi pakkaus (Ruohonen 2014)

2.3 Pinta-aktiivisten aineiden toiminta

Pinta-aktiiviset aineet ovat amfipaattisia, toisin sanottuna amfiifilisia, mikä tarkoittaa sitä, että aineen molekyylit sisältävät hydrofiilisen ja – fobisen pään. Pinta-aktiivisten aineiden merkitys pintakäsittelyn kannalta on erittäin tärkeä siksi, että niiden avulla voidaan alentaa käsiteltävän kappaleen pintajännitystä ja siten edesauttaa kappaleen kostumista, mikä puolestaan helpottaa väriaineen tunkeutumista puuhun. Kostumisella on tunkeutumisen lisäksi suuri vaikutus aineen levittymiseen ja käsitellyn pinnan lopulliseen ulkonäköön. Siksi on erityisen tärkeää varmistua siitä, että pinnan kostuminen on riittävää pintakäsittelyprosessin aikana. (Bulian ja Graystone 2009,107–113.)

Kaikkien pinta-aktiivisten aineiden toiminta perustuu niiden hydrofobiseen ja hydrofiiliseen päähän, mikä aiheuttaa tensidien alhaisen vesiliukoisuuden. Yksinkertaisesti tensidien vettä hylkivä pää, kuvataan usein häntänä, joka hakeutuu rasvaiseen pintaan tai esimerkiksi pesuaineista puhuttaessa likatahraan. Tensidi molekyylit peittävät näin koko rasvaisen pinnan, jolloin vesiliukoiset päät, jotka kuvataan monesti palloiksi, hakeutuvat puolestaan veteen päin. Kun rasva on saarrettu, irtoaa se halutulta pinnalta tensidi molekyyliden ympäröimänä vesiliuokseen. (Rsc.org)

2.4 Pinta-aktiivisten aineiden jaottelu

Pinta-aktiivisia aineita voidaan jaotella muutamalla eri tavalla käyttötarkoituksen mukaan. Pinta-aktiivisten aineiden HLB-arvo ilmaisee pinta-aktiivisen aineen hydrofiilisten ja lipofiilisten osien suhteen siten, että H ilmaisee hydrofiilisen osan arvon, kun taas L kertoo puolestaan lipofiilisen osan arvon ja B tasapainon. HLB-arvoja käytetään lähinnä emulsioiden valmistuksessa, jolloin amfipaattisen aineen varauksilla on suuri merkitys emulsion onnistumiseen. Toinen tärkeä kriteeri pinta-aktiivisten aineiden valinnassa on aineiden varaus, jonka mukaan pinta-aktiiviset aineet voidaan jaotella neljään eri ryhmään: anionisiin, kationisiin, ionittomiin ja amforeettisiin. Näistä kaikista anionisten ja ionittomien aineiden sekoituksia käytetään valtaosissa vesipohjaisia maaleja. (Bulian ja Graystone 2009, 110). The Royal Society of Chemistryn Internet julkaisussa selvitetään paremmin anionisten, kationisten, ionittomien ja amforeettisten aineiden lajitteluperusteita ja aineiden eroavaisuuksia, joita esitellään seuraavaksi omina alalukuinaan. (Rsc.org)

2.4.1 Anioniset

Anionisissa pinta-aktiivisten aineiden hydrofiilinen pää sisältää erittäin elektronegatiivisen atomin, joka tekee molekyylistä erittäin polaarisen. Yleensä tällaisten elektronegatiivisten atomien vastainoina toimii pieni kationi, kuten esimerkiksi natrium, mutta joissakin tilanteissa tilalla voi olla myös suurempi kationi, kuten ammoniakki tai amiini. Esimerkki aineena The Royal Society of Chemistry mainitsee, että myös saippua kuuluu anionisiin pinta-aktiivisiin aineisiin, lisäksi monilla muilla anionisilla aineilla on erittäin hyvä likaa irrottava vaikutus, siksi niitä käytetään usein pesuaineissa. (Rsc.org)

2.4.2 Kationiset

Kationiset pinta-aktiiviset aineet koostuvat pitkäketjuisista hiilivedyistä, jotka toimivat molekyyliden hydrofobisina päinä. Hydrofiiliset päät muodostuvat puolestaan kvaternaarisista amiinityypistä ja niiden vastaaineina toimivat halidi-ionit. Kationeilla on negatiivinen lataus, minkä vuoksi ne kerääntyvät voimakkaasti pinnoille. Tämä on usein haluttu pinnan ominaisuus ja siksi myös proteiinit ja synteettiset polymeerit voidaan tulkita kationisiksi. Esimerkki aineiksi kationisista pinta-aktiivisista aineista arkikäytössä voidaan listata hiusten hoitoaineet ja huuhteluaineet. (Rsc.org)

2.4.3 Ionittomat

Ionittomia pinta-aktiivisia aineita käytetään usein siivousaineissa, joko yksistään tai seoksena anionisten pinta-aktiivisten aineiden kanssa. Ionittomaan pinta-aktiivisten aineiden ryhmään kuuluvat sellaiset molekyylit, joiden hydrofiilinen pää käsittää etoksiryhmien ketjuja, jotka tunnetaan myös etoksylaatteina. Nimenomaan etoksiryhmien määrän vaihtelu määrää lopputuotteen hydrofiilisen luonteen. (Rsc.org)

2.4.4 Amforeettiset

Amforeettisten pinta-aktiivisten aineiden hydrofobiset päät muodostuvat pitkistä hiilivetyketjuista, jotka ovat liittyneet hydrofiiliseen päähän, joka puolestaan sisältää sekä positiivisia että negatiivisia varauksia, jotka antavat aineelle kahtaisiä ominaisuuksia. Toisin sanoen, amfoteeriseen pinta-aktiivisten aineiden ryhmään kuuluvat aineet voivat käyttäytyä kationisina tai anionisina riippuen pH:sta ja tilanteesta. Tähän ryhmään kuuluvat aineet ovat lievästi ärsyttäviä ja niitä käytetään muun muassa shampoissa. (Rsc.org)

3 PUUN LÄPIVÄRJÄÄMINEN

Puun läpivärjäämisestä tai vähintäänkin puun pinnan värjäämisestä on oltu kiinnostuneita niin kauan kuin puuta on osattu pintakäsitellä. Aluksi tavoitteena on ollut, että halvempi puulaji saataisiin muistuttamaan arvokkaampaa lajia ja kuten jo aiemmin tässä työssä kävi ilmi, tähän on ryhdytty monesti huijausmielessä. Kukapa ei toisaalta haluaisi tehdä edullisesta männystä kallista eebenpuuta muistuttavaa jäljitelmää? Nykyisin läpivärjäyksellä tavoitellaan kuitenkin ensisijaisesti toisenlaista hyötyä, sillä esimerkiksi läpivärjätyn puupinnan sävy pysyy samana hiomisen jälkeen, eikä petsin puhki hiomisen vaaraa näin ollen ole. (Hylander, 1927.) Ohuempien viilujen onnistunut läpivärjäys ja näiden tuotteiden sovellukset ovat saaneet aikaan sen, että yhä enemmän kehitellään keinoja värjätä myös massiivipuisia kappaleita. Tämän luvun tarkoituksena on selvittää lyhyesti miten ja millä menestyksellä massiivipuuta on yritetty läpivärjätä ja miten värin tunkeutumista on yritetty parantaa entisestään.

3.1 Värjäys petsellä

Hylander (1927) havainnollistaa kirjassaan, että jos halutaan petsiliuoksen tunkeutuvan mahdollisimman syväälle puun pinnan alle, niin paras lopputulos saadaan kuumentamalla petsiliuoksia tai lisäämällä niihin väkevää, 25-prosenttista, ammoniakkia kolmanneksen (1/3) verran kyseisen liuoksen määrästä. Ammoniakin lisääminen tai petsien kuumentaminen ei kuitenkaan aina tule kysymykseen petsiliuosten muiden ominaisuuksien vuoksi. Näitä ominaisuuksia voivat olla kemialliset tai esimerkiksi liuotinhenteisten tuotteiden höyrystyminen. Petseistä tunkeutumisen kannalta parhaimpia vaihtoehtoja ovat Hylanderin mukaan kemialliset petsit, etenkin vesiliukoiset sellaiset, sekä väripetsit. Esimerkiksi näiden petsiliuosten kohdalla kuumentamisen tai ammoniakin lisäämisen on todettu parantavan haluttua värin tunkeutumistulosta edelleen. (Hylander, 1927. 11, 51.)

3.2 Värjäys paineella

Turun Sanomien (2003-08-13) mukaan Lappeenrannan teknillisessä korkeakoulussa on suoritettu tekniikan ylioppilas Riku Kärrin ideasta alkanut kokeilu koivuviulun läpivärjäämisestä. Onnistuneet läpivärjäykset on suoritettu siten, että liuotinhenteisellä petsillä täytettyyn astiaan on laitettu värjättäviä koivuviiluja, minkä jälkeen astia on suljettu ja siirretty paineistettuun säiliöön. Tämän jälkeen paineeksi on asetettu kahdesta neljääntoista baarin (2-14 bar) paine. Artikkelista käy myös ilmi, että vaikka värjäys on ensisijaisesti suoritettu puolitoista (1,5) millimetriä paksuille viiluille, on värjäys onnistunut myös kaksikymmentä millimetriä paksulle massiivikoivukappaleelle samaa menetelmää käyttäen. Artikkelissa kerrotaan vielä, että mitä korkeampi paine on ollut kammiossa, sitä parempi ja tasalaatuisempi jälki on värjäyksestä saatu.

Kärrin kokeilulla ja CWP Coloured Wood Products Oy:n, lyhyesti CWP, perustamisella on yhteinen historia. Tämä ilmenee yrityksen Internet-sivuilta, joilla mainitaan, että kyseinen yritys sai alkunsa

yhden omistajan, puutekniikan insinööri Riku Kärrin ammuntaharrastuksen myötä. Kärrri alkoi kehittää Lappeenrannan teknillisen yliopiston tutkimushankkeen osana värjäysmenetelmänsä, jonka ensimmäinen onnistunut sovellus, kilpa-aseen tukki, syntyi vuonna 1999. Tämän värjäysmenetelmän kehittäminen jatkui edelleen ja CWP Coloured Wood Products Oy perustettiin vuonna 2004. Yritys on sittemmin menestynyt toimialallaan ja haluaa toimia läpivärjättyjen puumateriaalien toimittajana, joka tunnetaan laadusta ja muotoilusta. (cwp.fi, A). Nykyisin CWP:n Internet-sivujen ”tuotteet” osiossa on maininta, että yritys valmistaa menetelmällään läpivärjättyjä viiluja, teknisiä viiluja sekä laminoituja aihioita, ja että 45 millimetrin paksuisen puun värjääminen on myös mahdollista. (cwp.fi, B).

3.3 Värjäys sähkökineettisesti

Eräs kansainvälinen ryhmä on tutkinut sähkökineettisesti, eli elektrokineettisesti nopeutettua boorin tunkeutumista puuhun puun pintakäsittelyn jälkeen. Testin tavoitteena oli löytää vaihtoehto usein matalan tunkeutumisasteen diffuusioille. Kyseisen metodin toimiessa työryhmä oletti siitä löytyvän apu jo olemassa olevien rakenteiden uudelleen kyllästämiseen, joiden vaurioita voitaisiin korjata tai jopa välttää. (Naturstyrelsen.dk)

Ryhmän testiraportin mukaan, sähködialyyttinen koe todisti, että boorihappoa voitaisiin kuljettaa negatiivisesti varautuneeseen kompleksiin viinihapon ja veden liuoksessa, jonka pH on noin 4-5. Testissä oli käytetty elektrodeina platinalla päällystettyjä titaniumentankoja. Testattujen kappaleiden boorin tunkeutuman havaitsemiseen käytettiin kurkumaa, joka reagoi boorin kanssa aiheuttaen punaisen värin. Testin tulosten perusteella puun kosteusprosentti ja sähkövirran määrä vaikuttivat huomattavasti tunkeutumistulokseen. (Naturstyrelsen.dk). Tämän tutkimuksen tulosten perusteella metalleja sisältävät petsijauheet voisivat mahdollisesti värjätä massiivipuun läpi asti sähkökineettisin keinoin.

4 OPINNÄYTETYÖSSÄ KÄYTETTÄVÄT TESTAUSMENETELMÄT

Tässä opinnäytetyössä käytettävillä menetelmillä testataan erilaisten petsien, testiaikojen ja paineiden soveltumista ja vaikutuksia massiivipuun läpivärjäämiseen. Lisäksi tutkitaan männyn, kuusen ja koivun soveltuvuutta läpivärjättäväksi materiaaliksi. Jotta erilaisten apukeinojen hyödyllisyys petsauksessa kävisi selkeästi ilmi ja kaikki tulokset olisivat verrattavissa keskenään, suoritetaan vertailukappaleiden valmistus perinteisin käyttöohjeissa lukevin menetelmin sivelemällä ja upottamalla. Näin saadaan testikappaleet, joihin paineella käsiteltyjen kappaleiden tuloksia voidaan verrata. Siten saadaan kuva siitä, miten hyödyllisiä tensidit, ajat ja paineet ovat petsin tunkeutumislle testattavilla puulajeilla. Koestetuille testikappaleille suoritetaan siivutus, jonka avulla määritellään, mihin asti väri on tunkeutunut näytteissä. Testattujen kappaleiden tutkimisesta kerrotaan lisää tarkemmin kohdassa 4.3 "Testattujen kappaleiden tutkiminen". Varsinaisten paineessa testattavien testikappaleiden valmistus käytännössä esitellään myöhemmin luvussa 5.1 "Testikappaleiden valmistus".

4.1 Sively- ja upotustestit

Kuten jo aiemmin mainittiin, testien aikana suoritetaan vertailukappaleiden valmistus ilman painemuutoksia. Kappaleet valmistetaan niin, että vesi- ja liuotinhenteistä petsiä levitetään 100 x 100 millimetriä kokoisille kuusi-, mänty- ja koivukappaleille käyttöohjeiden mukaan perinteisesti sivellintä käyttäen, minkä jälkeen niiden annetaan kuivua ohjeiden mukaan. Samalla suoritetaan rinnakkaiskappaleiden upotustesti, jossa kappaleita dipataan noin 5 minuuttia vesi- ja liuotinhenteisiin petseihin. Seuraavaksi nämä käsitellyt toistetaan siten, että molempien petsiliuosten joukkoon lisättään muutama tippa tensidiä. Kun kappaleet ovat kuivia, ne halkaistaan ja petsin tunkeutumissyvyys määritellään loopilla, jotta muiden menetelmien toimivuutta voidaan arvioida ja verrata.

4.2 Painetestaus

Paineistetun testisuunnitelman pohjana toimivat Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa suoritetun testin tiedot, jotka löytyivät aiemmin kirjallisuusosassa mainitusta Turun Sanomien sähköisestä artikkelista. Vaikka artikkelista saadut tiedot eivät olleet erityisen tarkkoja testausmielessä, sillä metodille on haluttu hakea aikanaan patenttia, olivat ne riittävät antamaan joitakin suuntaviivoja sovelletun painetestin suunnittelulle. Löydettyjen tietojen pohjalta on perusteltua alkaa kehittää omaa testaussuunnitelmaa, sillä tiedetään, että 2-14 baarin (bar) paineen vaihteluvälillä on saatu aikaan jopa 20 millimetriä paksun koivukappaleen läpivärjäytyminen.

Testaukseen käytettävissä olevat laitteet asettavat omat rajoitteensa muun muassa testipaineiden asettamiselle. Savonia-ammattikorkeakoulun delaminointikoneeseen (kuva 2) voidaan asettaa maksimissaan -85 kPa alipaine tai 600 kPa ylipaine. Toisin sanoen delaminointikoneeseen saadaan asetettua - 0,85 tai 6 baarin (bar) paine, kun taas Kärrin testeissä paineena on voitu käyttää 2-14

baarin (bar) painetta. Tästä johtuen päädyttiin siihen, että tämän opinnäytetyön painetestit suoritetaan testilaitteen molemmilla ääri rajoilla, jotta nähtäisiin, onko alipaineella merkitystä petsin tunkeutumiselle testikappaleisiin ja kuinka syväle petsi tunkeutuu, ja minkä laatuinen värjäyksen 6 baarin (bar) paine antaa testikappaleille. Lisäksi ylä- ja alarajojen käyttäminen testauksessa on varmempaa, sillä paine vaihtelee 5 kPa:n verran ylärajoilla, ja siksi vältetään turhalta hystereesien aiheuttamilta virhemarginaaleilta käytettävän painealueen keskivaiheilla.



Kuva 2 Savonia-Ammattikorkeakoulun delaminointikone (Ruohonen 2014)

Lisää rajoitteita testaukselle tuotti vääjäämättä testaukseen käytettävän ajan rajallisuus, siksi testit päädyttiin tekemään jokaista testattavaa ominaisuutta kohden kahdella (2) rinnakkaiskappaleella. Otannan oletettiin näin ollen olevan riittävä suuntaa antavien tietojen saamiseksi. Testiajat pyrittiin puolestaan valitsemaan ja määrittelemään niin, että niistä selviäisi ajan vaikutus läpivärjykseen ja mahdollisesti onnistuneen värjäyksen laatuun. Testiajoiksi valittiin vuorokausirytmien mukaisesti 6, 24 ja 168 tuntia.

4.3 Petsattujen testikappaleiden tutkiminen

Painetestauksen ja muiden petsin levitystapojen jälkeen testikappaleista kaadetaan ylimääräiseksi jäänyt petsi pois. Tämän jälkeen ne halkaistaan sahaamalla kappaleet puoliksi puumuovikomposiittiputken kohdalta, minkä jälkeen sahatulta pinnalta voidaan määritellä petsin tunkeutumissyvyys

kymmenkertaistavaa looppia (kuva 3) apuna käyttäen. Mittaustarkkuudeksi otettiin näin ollen 0,1 millimetrin tarkkuus. Tuloksista lasketaan mittauksen jälkeen eri testisarjojen rinnakkaiskappaleiden keskiarvot, joita voidaan vertailla muiden testien keskiarvojen keskiarvojen kanssa. Lisäksi ylös merkitään paras tunkeutumatuloks kappaleittain, mikäli tunkeutumakerros ei ole mitattaessa ollut silmämääräisesti lähes tasapaksu vaan muodostaa selkeitä piikkejä.



Kuva 3 Mittaukseen käytettävä kymmenkertaistava Mitutoyo-loop (Ruohonen 2014)

5 TESTIKAPPALEIDEN VALMISTUS JA TESTAUS

Testikappaleet valmistettiin männystä, kuusesta ja koivusta, joiden pintapuolelle liimattiin pätkäpuumuovikomposiittiputkesta, myöhemmin pelkkä komposiittiputki. Tämän jälkeen kappaleet testattiin Savonia-ammattikorkeakoulun pintakäsittelylaboratorion delaminointikoneessa, johon oli mahdollista saada testissä tarvittavat yli- ja alipaineet. Seuraavaksi on kuvattu tarkemmin testikappaleiden valmistusta ja -rakennetta, sekä varsinaista testaamista.

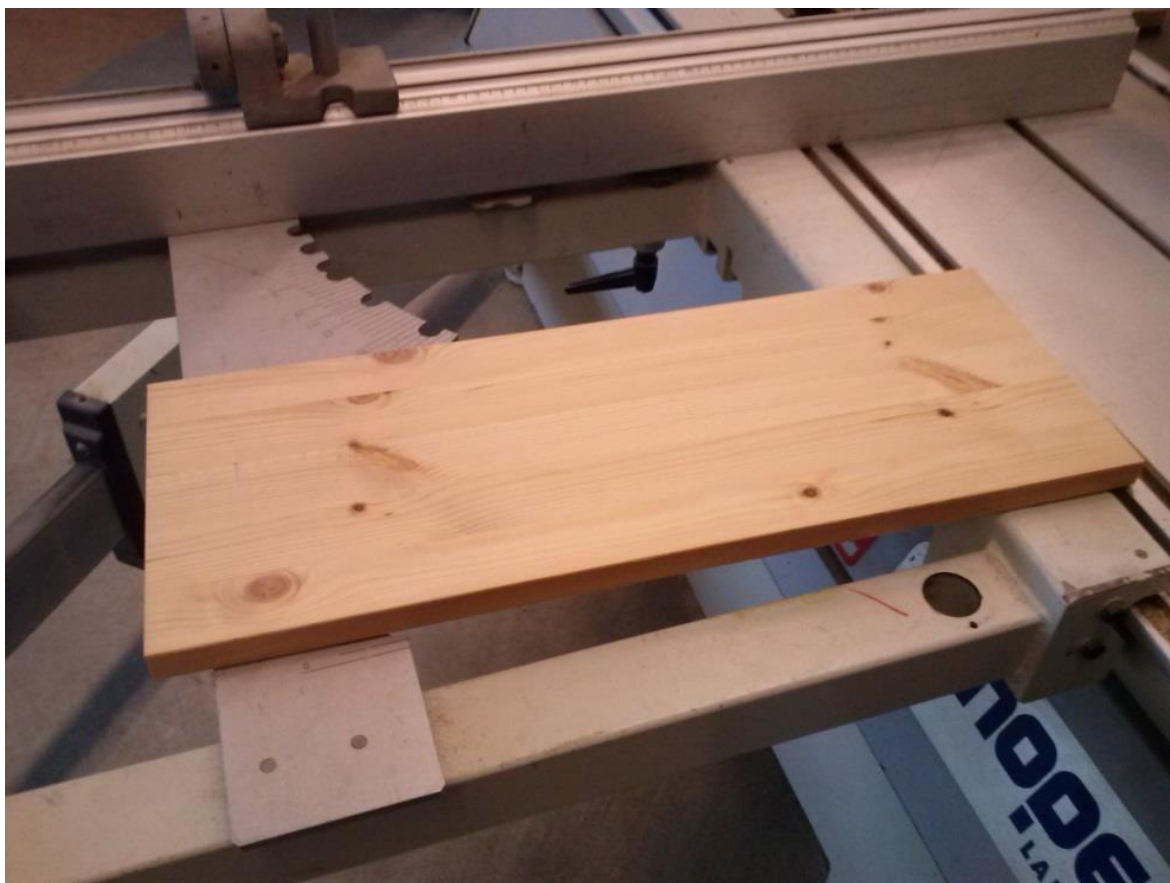
5.1 Testikappaleiden valmistus

Testikappaleiden valmistus oli kolmivaiheinen prosessi. Ensimmäiseksi eri puumateriaalit piti työstää jokainen omalla tavallaan, jotta lähtökohdat kaikille testikappaleille olisivat lopulta samat. Tämä johtui siitä, että puumateriaalien raaka-aineet olivat erimuodoissa. Puumateriaalin työstämisen jälkeen keskityttiin puumuovikomposiittiputken työstämiseen, minkä jälkeen varsinainen testikappaleiden kasaaminen ja liimaus voitiin suorittaa. Testikappaleiden valmistuksen vaiheet on kuvattu tarkemmin omina alalukuinaan

5.1.1 Eri puumateriaalit

Männystä tehdyt testikappaleet valmistettiin valmiina hankitusta 25 x 220 x 500 millimetrin kokoisista mäntyliimalevyistä (kuva 4). Liimalevyjen pintapuolelle oli jyrsitty urat, jotka piti poistaa taso höyläämällä ennen levyjen paloittelua noin 100 x 200 millimetriä leveiksi testipaloiksi. Lopulliseksi levyjen paksuudeksi jäi höyläyksen jälkeen noin 22 millimetriä. Testikappaleiden paloittelun jälkeen pyrittiin valikoimaan käytettävissä olevasta materiaalista mahdollisimman oksattomat ja ehjät palat seuraavaa vaihetta, eli komposiittiputken liimausta varten.

Kuusesta tehdyt testikappaleet valmistettiin 26 x 100 millimetrin kokoisista kuusilaudoista (kuva 5), jotka olivat pinnaltaan "karvalautoja". Siksi niiden lappeet piti höylätä ennen paloittelua 200 millimetriä pitkiksi pätkiksi testausta varten. Myös kuusilaudoista pyrittiin valikoimaan mahdollisimman oksattomat laudanpätkät heti paloittelun jälkeen, jotta liimaukseen käytettävä aika vähenisi ja liimaaminen helpottuisi. Koska testikappaleisiin soveltuva koivumateriaali aihiota, kuten valmista lautaa tai liimalevyä ei ollut valmiina, piti sellaista valmistaa tuppeen sahatuista koivulankun pätkisistä (kuva 5). Saatavilla olleiden koivulankkujen syynsuunta (kuva 6) ei kuitenkaan ollut sellaisenaan otollinen halutunlaisen yhtenäisen koivupintalaudan tekoon, joten testikappaleiden tekoon soveltuva lautaa piti valmistaa kahdesta lamellista yhteen liimaamalla (kuva 7).



Kuva 4 Työstämätön mäntyliimalevy (Ruohonen 2014)



Kuva 5 Työstämättömät tuppeensahattu koivulankku (vas.) ja kuusilaudat (Ruohonen 2014)



Kuva 6 Tuppeensahatun koivulankun syysuunta

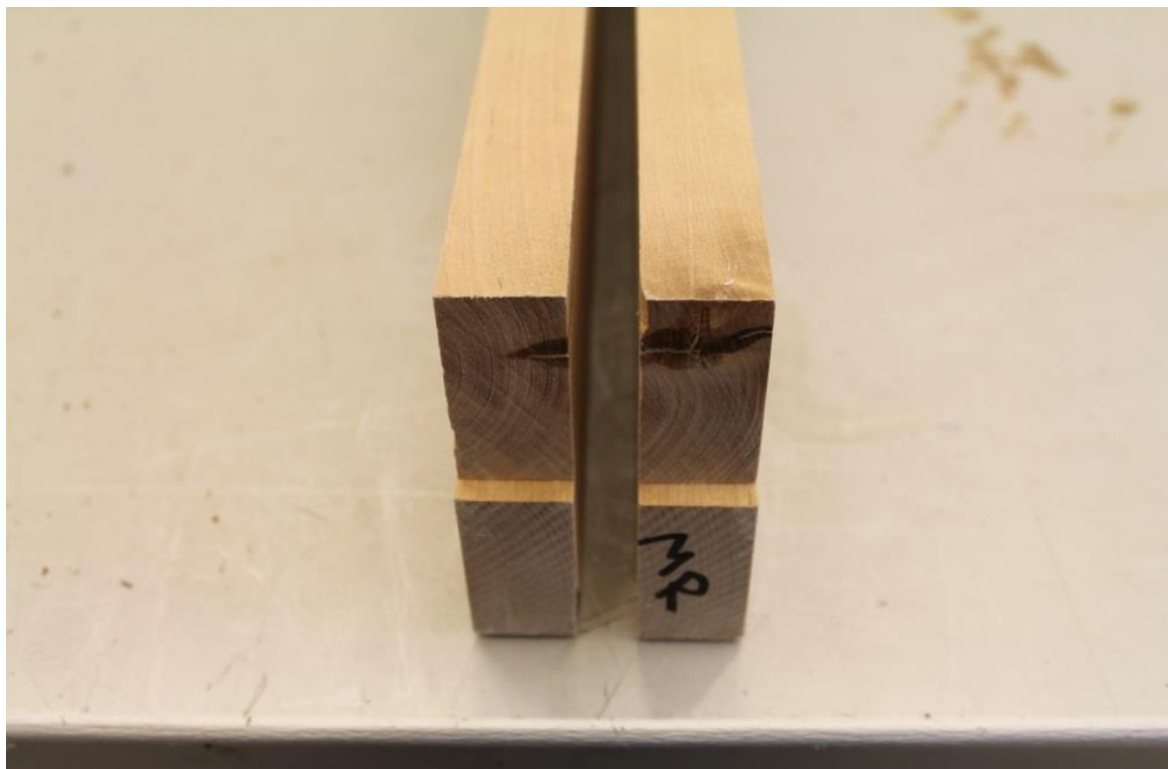
(Ruohonen 2014)



Kuva 7 Lamellilauta aihion poikkileikkaus (Ruohonen 2014)

Koivuaihioden liimaaminen toisiinsa tapahtui samana päivänä, kun aihion lamellit työstettiin. Liimaukseen käytettiin Kiillon kestokol D 4000 pVAC-liimaa, ja itse liimaus suoritettiin käsipuristimilla.

Käsiapuristimet sijoitettiin niin, että puristus saatiin aikaiseksi syrjäsuuntaisesti neljästä kuuteen eri kohdalta, riippuen liimattavien kappaleiden pituudesta, minkä lisäksi puristimet laitettiin puristamaan lappeensuuntaisesti kappaleiden molemmista päistä ja tarvittaessa keskeltä. Puristimien leukojen väliin pujotettiin apupalat, jotta varsinainen aihio ei vaurioituisi puristimien leukojen vaikutuksesta ja puristusaine jakautuisi tasaisemmin. Liimatut lauta-aihiot piti vielä halkaista sirkkelillä puoliksi ja näiden puolikkaiden sahapinnat höylätä tasohöylällä tasaiseksi, jotta saatiin kaksi noin 23 millimetriä paksua lamellilautaa kerralla (kuva 8). Tämän jälkeen koivulaudat paloitteltiin 200 millimetriä pitkiksi testipaloiksi.



Kuva 8 Koivuaihio halkaistuna 23 millimetriä paksuiksi laudoiksi

(Ruohonen 2014)

5.1.2 Puumuovikomposiittiputken valmistelu

Testeihin käytetyn komposiittiputken mitat olivat seuraavanlaiset: putken ulkohalkaisija oli 90 millimetriä, putken seinämän vahvuus puolestaan noin 10 millimetriä ja putken sisähalkaisija näin ollen noin 80 millimetriä (kuva 9). Tästä materiaalista katkottiin noin 50 millimetriä pitkiä pätkiä (kuva 10) sirkkelillä halkaisuvastetta apuna käyttäen. Sahauksen jälkeen kappaleiden tulevat liimapinnat hiottiin reunanauhahiomakonetta käyttäen. Näiden putkesta katkottujen palojen tehtävä oli toimia testauksessa "petsiastioina", eli pitää petsi testikappaleen pinnalla testin aikana, ennen kuin se imeytyy puuhun.



Kuva 9 Esimerkki puumuovikomposiitti putkesta ennen paloittelua (Ruuhonen 2014)



Kuva 10 Puumuovikomposiitti putkesta katkaistuja paloja (Ruuhonen 2014)

5.1.3 Kaikille materiaaleille yhteiset valmisteluvaiheet

Kun puumateriaalit oli saatu paloitetua 200 millimetriä pitkiksi pätkiksi, merkittiin niistä valikoidut palat puulaji- ja numerotunnuksella myöhempää testausta varten siten, että puulajin kaksi ensimmäistä kirjainta muodostivat alkuosan tunnuksesta ja juokseva numero, kuten X.Y, kuvasivat testipainetta ja aikaa (X) ja testiin käytettävää petsiliuosta (Y). Kun kappaleet olivat nimetyt, niihin liimattiin pikaepoksiliimalla komposiittiputkesta katkotut palat niin, että liima levitettiin komposiittiputkipalan hiotulle pinnalle, joka sijoitettiin testikappaleen pinnalle ja pika puristettiin kiinni. Puristaminen tapahtui siten, että käsipuristin sijoitettiin työpöydän reunalle niin, että liimauksessa oleva kappale voitiin puristaa työpöydän kantta vasten, minkä lisäksi liimattujen kappaleiden päälle laitettiin apukappaleeksi lautapala, jonka avulla käsipuristimen puristusvoima saatiin jakautumaan tasaisesti liimattavalle alueelle eli toisin sanoen liimattava kappale puristettiin pöydän kannen ja apulautapalan väliin. Liimaukset suoritettiin noin viikkoa ennen varsinaisten painetestauksien aloittamista, jotta liima ehti kovettua ja kaikki kappaleet ehdittiin valmistaa, ennen testien alkua. Esimerkki valmiiden testikappaleiden ulkonäöstä on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11 Valmiita testikappaleita (Ruohonen 2014)

5.2 Testaus

Kun koekappaleet olivat valmiita, oli aika siirtyä varsinaisten läpivärjäystestausten pariin. Aluksi piti kuitenkin päättää testien suoritusjärjestys, jolloin päädyttiin suorittamaan upotus- ja sivelykappaleet painetestien ohella. Painetestit päätettiin puolestaan aloittaa alipaineesta ja lyhyimmistä aikaparametrilla. Painetestikappaleita valmistetaan testeihin yhteensä 144 kappaletta niin, että jokaisesta puulajista valmistettiin yhteensä 48 kappaletta, joista puolet testataan ylipaineessa ja puolet

alipaineessa. Testisuunnitelmataulukoista 1, 2 ja 3 käyvät paremmin ilmi testattavat ominaisuudet ja testikappalemäärät.

Taulukko 1 Sively- ja upotustestisuunnitelma

SIVELY- JA UPOTUSTESTAUS	Materiaali (sively + upotus)		
petsiliuos ja testattava materiaali	koivu (kpl)	kuusi (kpl)	mänty (kpl)
vesiohenteinen petsi	1+1	1+1	1+1
vesiohenteinen petsi + tensidi	1+1	1+1	1+1
liuotinohenteinen petsi	1+1	1+1	1+1
liuotinohenteinen petsi + tensidi	1+1	1+1	1+1
Yhteensä	4+4	4+4	4+4

Taulukko 2 Ylipainetestauksen testisuunnitelma

YLIPAINETESTAUS	6 tuntia			24 tuntia			168 tuntia		
petsiliuos ja testattava materiaali	koivu (kpl)	kuusi (kpl)	mänty (kpl)	koivu (kpl)	kuusi (kpl)	mänty (kpl)	koivu (kpl)	kuusi (kpl)	mänty (kpl)
vesiohenteinen petsi	2	2	2	2	2	2	2	2	2
vesiohenteinen petsi + tensidi	2	2	2	2	2	2	2	2	2
liuotinohenteinen petsi	2	2	2	2	2	2	2	2	2
liuotinohenteinen petsi + tensidi	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Yhteensä	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Kaikki	72 kpl								

Taulukko 3 Alipainetestauksen testisuunnitelma

ALIPAINETESTAUS	6 tuntia			24 tuntia			168 tuntia		
petsiliuos ja testattava materiaali	koivu (kpl)	kuusi (kpl)	mänty (kpl)	koivu (kpl)	kuusi (kpl)	mänty (kpl)	koivu (kpl)	kuusi (kpl)	mänty (kpl)
vesiohenteinen petsi	2	2	2	2	2	2	2	2	2
vesiohenteinen petsi + tensidi	2	2	2	2	2	2	2	2	2
liuotinohenteinen petsi	2	2	2	2	2	2	2	2	2
liuotinohenteinen petsi + tensidi	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Yhteensä	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Kaikki	72 kpl								

5.2.1 Sively ja upotus kappaleet

Lisäksi kohdassa 4.1 mainitut sively ja upotuskappaleet valmistettiin testien yhteydessä käyttäen samoja petsausliuossuhteita kuin yli- ja alipainetestauksissa, jotka on kuvattu edellä (luku 5.2.1). Testissä petsi levitettiin yhdelle koivu-, kuusi- ja mäntynäytteelle siveltimellä, minkä lisäksi vastaaviin liuoksiin kastettiin rinnakkaiskappaleita viiden minuutin ajan. Testit suoritettiin vesiohenteisella, liuoteohenteisella ja vastaavilla tensidiä sisältävillä petsiliuoksilla. Kappaleiden annettiin kuivua seuraavan päivään, minkä jälkeen niille suoritettiin aiemmin kuvatut mittaukset, joiden tuloksia esitellään tarkemmin luvussa 6.

5.2.2 Yli- ja alipainetestausta

Testin valmistelu aloitettiin sillä, että delaminointikammion pohjalle sahattiin sopivankokoinen vanerilevy, jotta koekappaleet saatiin aseteltua tasaisesti kammioon. Levyn reunat jäivät kantamaan tai oikeammin sanottuna tukeutuivat kammion seinämiin, minkä lisäksi levyn alle sijoitettiin 120 x 50 kuusipalat, jottei levy pääsisi notkahtamaan testin aikana. Testauspuitteiden ollessa kunnossa, oli aika valmistella vuorostaan petsiliuokset.

Tämä vaihe suoritettiin "Herdins Aito Pesti"- pussin sekoitusohjeiden mukaan, soveltamalla kuitenkin aiemmin tässä opinnäytetyössä mainittua Herdins tiedotetta, jonka mukaan petsipussista voitiin saada ¼ osa litran sijaan jopa 1 litra valmista petsiä. Petsiliuoksen saamiseksi petsipussin sisältö liuotettiin 2,5 desilitraan vettä minkä jälkeen seos jaettiin puoliksi. Toiseen puolikkaaseen lisättiin 1,25 desilitraa vettä ja toiseen 1,25 desilitraa tinneriä. Kun liuokset olivat tässä vaiheessa, niistä annosteltiin silmämääräisesti puolet kuuteen (6 kpl) vesiohenteisten testikappaleiden putkeen ja kuuteen (6 kpl) liuoteohenteisten kappaleiden putkeen. Loppuihin liuoksiin lisättiin noin teelusikallinen tensidiä, minkä jälkeen liuokset annosteltiin edellä kuvatulla tavalla kuuteen (6 kpl) vesiohenteisten tensidi testikappaleiden putkeen ja kuuteen (6 kpl) liuoteohenteisten tensidi kappaleiden putkeen. Jokaiselle testierälle sekoitettiin oma petsierä, eli valmiita petsiliuoksia ei säilötty testien välillä.

Lopuksi testikappaleet sijoitettiin aiemmin mainitun vaneritason päälle delaminointikammioon (kuva 12), minkä jälkeen kammion luukuntiviste laitettiin paikoilleen ja luukku suljettiin pultein ja mutterein. Kun kammion luukku oli saatu kiristettyä kiinni jokoavainta apuna käyttäen, kaikki laitteen venttiilit tarkistettiin ja kammion tavoitepaine asetettiin tietokonekäyttöisellä ohjelmalla. Jokaisen painetestin kohdalla meneteltiin samoin, vain paineparametreja ja testausaikaa muutettiin. Testissä käytetyt aikaparametrit olivat 6, 24 ja 168 tuntia ja käytetyt ali- ja ylipaineet lopulta -0,85 baaria ja 1 baari, alkuperäisen 6 baarin sijaan. Ylipainearvon pienentäminen yhteen baariin oli tehtävä siksi, että tinnerin käyttöön liuottimena liittyi tarkemman selvittelyn jälkeen huomattava räjähdysriski suuremmissa ylipaineissa delaminointikoneen kanssa ja vaaratilanteen arvioitiin ilmevän testiä purkaessa.



Kuva 12 Painetestauksien testijärjestely delaminointikammiossa (Ruohonen 2014)

6 TULOKSET

Tässä luvussa on esitetty aiemmin kuvattujen testien suorituksista saatuja mittaustuloksia. Tulokset on esitetty ensin testisarjoittain, minkä jälkeen sarjojen tuloksia on verrattu keskenään ajan ja paineen vaikutuksen suhteen. Lopuksi on vielä pyritty arvioimaan mahdollisimman laajasti saatu- jen tulosten luotettavuutta.

6.1 Sively ja upotuskappaleiden tulokset

Taulukot 4 ja 5 kuvaavat sively ja upotuskappaleiden mittaustuloksia. Tulokset jättävät toivomisen varaa, sillä tensidien teoriaosan mukainen vaikutus näkyy selkeästi vain sivelyissä, etenkin vesiohenteisella petsillä käsitellyissä, koivukappaleissa. Sama on havaittavissa myös vesiohenteisiin petsiliuoksiin upotetuissa koivukappaleissa, mutta ei enää liuotinohenteisiä petsiliuoksia käytettäessä. Mänty ja kuusi reagoivat petseihin melko oletetusti, sillä niissä olevat uuteaineet vaikeuttavat petsin tunkeutumista puuaineeseen, etenkin sydänpuun osalta, vaikka testissä kyseessä olikin pintapuusa molemmista puulajeista. Testistä ei käy myöskään selkeästi ilmi, että liuotinohenteisen petsin pitäisi teoriassa tunkeutua hivenen syvemmälle kuin vesiohenteisen vastaavan.

Taulukko 4 Sivelykappaleiden mittaustulokset

SIVELLYT KAPPALEET	Tunkeutuma (mm)		
	koivu	kuusi	mänty
petsiliuos			
vesiohenteinen petsi	0,1	0,4	0,2
vesiohenteinen petsi + tensidi	0,7	0,2	0,2
liuotinohenteinen petsi	0,2	0,3	0,2
liuotinohenteinen petsi + tensidi	0,4	0,5	0,3

Taulukko 5 Upotettujen kappaleiden mittaustulokset

UPOTETUT KAPPALEET	Tunkeutuma (mm)		
	koivu	kuusi	mänty
petsiliuos			
vesiohenteinen petsi	0,2	0,1	0,1
vesiohenteinen petsi + tensidi	0,3	0,2	0,1
liuotinohenteinen petsi	0,5	0,3	0,1
liuotinohenteinen petsi + tensidi	0,2	0,2	0,2

6.2 Painetestien tulokset

Painetestien tuloksia tarkastellaan omina kokonaisuuksinaan, minkä jälkeen ali- ja ylipaine testattujen kappaleiden tuloksia verrataan keskenään ajan, tensidin ja paineen osalta. Kappalekohtaiset ja tarkat mittaustulokset esitetään tämän opinnäytetyön lopussa liitteessä 1. Tulosten ohien on kuitenkin esitetty keskiarvot saaduista mittaustuloksista ja esimerkkikuva parhaiten testissä onnistu-

neista koivuisten näytteiden rinnakkaiskappaleista, sillä koivukappaleista tunkeutuma oli helpoiten nähtävissä ilman loopia.

6.2.1 Alipainetestatut

Testin 1 tuloksien keskiarvoista (taulukko 6) on nähtävissä tensidien kostuttamista parantava vaikutus koivu- ja kuusikappaleiden osalta. Tämä on nähtävissä myös mäntykappaleiden vesiohenteisten petsiliuoksien tuloksista. Koivu- ja kuusikappaleiden tuloksista on lisäksi nähtävissä liuotinhenteisen petsin vesiohenteista petsiä parempi imeytyminen puuhun. Parhaiten petsi on saatu tunkeutumaan koivunäytteisiin, joissa syvin tunkeutuma piikki on saatu 12 millimetrin syvyyteen. Saadut tulokset vaikuttaisivat olevan pääosin kirjallisuusosassa esitetyn teorian mukaisia. Kuva 13 on otettu kyseiseen testisarjan koivunäytteistä, joissa tunkeutuma oli kaikkein syvin.

Taulukko 6 Testisarja 1 (48h, -16 kPa) mittaustulosten keskiarvot

Testi 1: 48 h, -16kPa petsiliuos ja testattava materiaali	Tunkeutuma (mm)		
	koivu	kuusi	mänty
vesiohenteinen petsi (1.1)	0,2	0,2	0,15
vesiohenteinen petsi + tensidi (1.2)	3,5	0,4	0,5
liuotin ohenteinen petsi (1.3)	2,25	1,0	0,75
liuotin ohenteinen petsi + tensidi (1.4)	3,5	0,5	0,3



Kuva 13 Testisarjan 1 parhaat rinnakaistulokset (koivu) (Ruohonen 2014)

Testin 2 tuloksien keskiarvoista (taulukko 7) on nähtävissä, että petsi on saatu tunkeutumaan parhaiten koivukappaleisiin, joissa petsi on saatu parhaimmillaan yhdeltä kohdalta 18 millimerin syvyyteen. Kuva 14 on otettu kyseiseen testisarjan koivunäytteistä, joissa tunkeutuma oli kaikkein syvin. Sen sijaan muut saaduista tuloksista eivät vaikuta teorian mukaisilta muuten, kuin että kuusi ja mäntykappaleita on ollut vaikeampi värjätä, mikä johtuu puulajien sisältämistä uuteaineista.

Taulukko 7 Testisarja 2 mittaustulosten keskiarvot

petsiliuos ja testattava materiaali	Tunkeutuma (mm)		
	koivu	kuusi	mänty
vesiohenteinen petsi (2.1)	1,5	1,0	1,5
vesiohenteinen petsi + tensidi (2.2)	1,5	1,0	1,25
liuotinhenteinen petsi (2.3)	1,0	0,5	0,75
liuotinhenteinen petsi + tensidi (2.4)	2,0	0,5	0,65



Kuva 14 Testisarja 2 parhaat rinnakkaiskappaleiden mittaustulokset (koivu) (Ruohonen 2014)

Testin 3 tuloksien keskiarvoista (taulukko 8) on nähtävissä tensidien kostuttamista parantava vaikutus koivu- ja kuusikappaleiden osalta. Näidenkin kappaleiden osalta petsi on saatu parhaiten tunkeutumaan koivunäytteisiin, joissa syvin tunkeutuma piikki on 20 millimetriä, eli kappale on lähes läpivärjätynyt kyseiseltä kohdalta. Kuva 15 on otettu kyseiseen testisarjan koivunäytteistä, joissa tunkeutuma oli kaikkein syvin.

Taulukko 8 Testisarja 3 (168h, -85kPa) mittaustulosten keskiarvot

Testi 3: 168h, -85kPa petsiliuos ja testattava materiaali	Tunkeutuma (mm)		
	koivu	kuusi	mänty
vesiohenteinen petsi (3.1)	1,5	0,5	2,0
vesiohenteinen petsi + tensidi (3.2)	3,3	0,5	0,35
liuotinhenteinen petsi (3.3)	0,4	0,35	0,65
liuotinhenteinen petsi + tensidi (3.4)	1,5	0,75	0,5



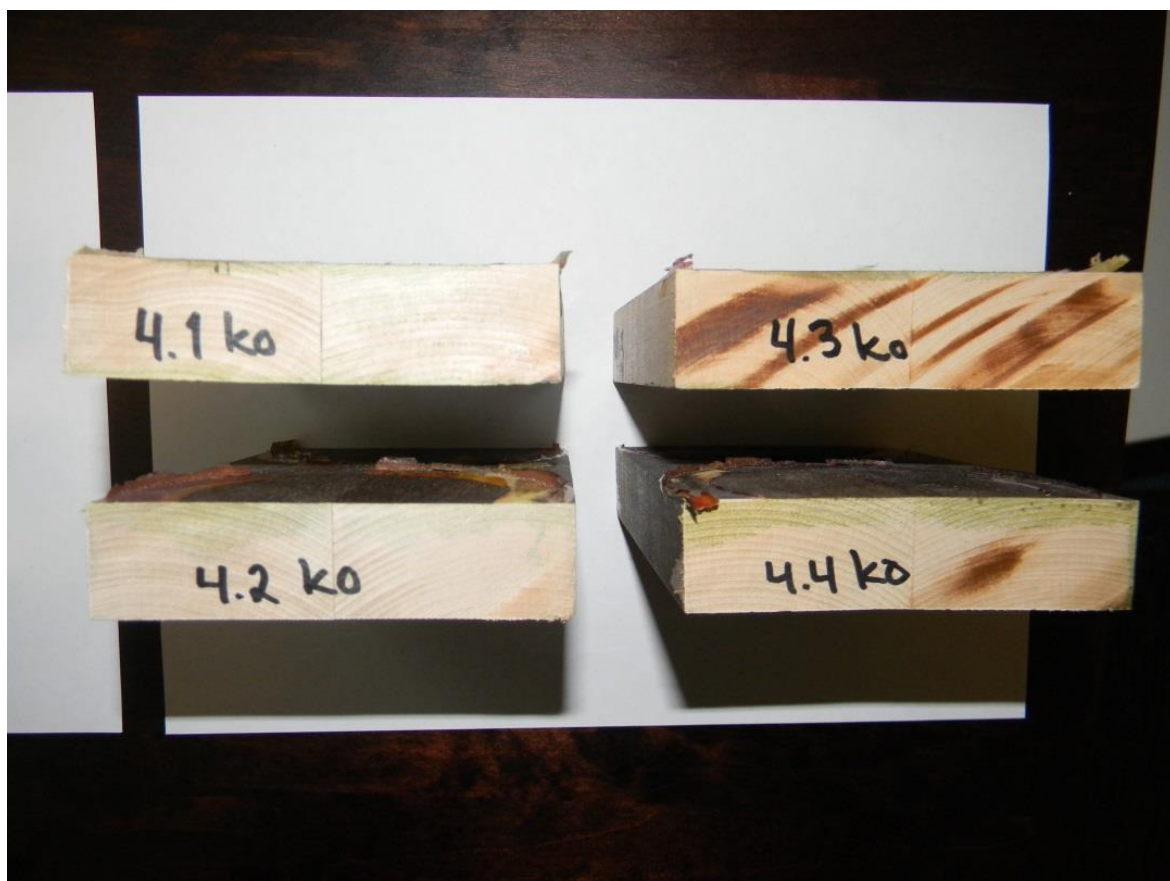
Kuva 15 Testisarja 3 parhaat rinnakkaistulokset (koivu) (Ruuhonen 2014)

6.2.2 Ylipainetestatut

Testin 4 tuloksien keskiarvoista (taulukko 9) on nähtävissä tensidien kostuttamista parantava vaikutus kaikkien koivukappaleiden, sekä vesiohenteisten kuusinäytteiden, että liuotinhenteisten mäntynäytteiden osalta. Tälläkin kertaa petsi on imeytynyt parhaiten koivukappaleisiin, ja saadut tulokset ovat peräti kaikista koivukappaleille suoritetuista testeistä parhaimmat. Kuva 16 on otettu kyseiseen testisarjan koivunäytteistä, joissa tunkeutuma oli kaikkein syvin.

Taulukko 9 Testisarjan 4 (168h, 100 kPa) mittaustulosten keskiarvot

Testi 4: 168 h, 100 kPa petsiliuos ja testattava materiaali	Tunkeutuma (mm)		
	koivu	kuusi	mänty
vesiohenteinen petsi (4.1)	1,55	0,5	0,5
vesiohenteinen petsi + tensidi (4.2)	8,75	1,0	0,5
liuotinohenteinen petsi (4.3)	1,5	0,75	0,4
liuotinohenteinen petsi + tensidi (4.4)	3,25	0,5	1,5

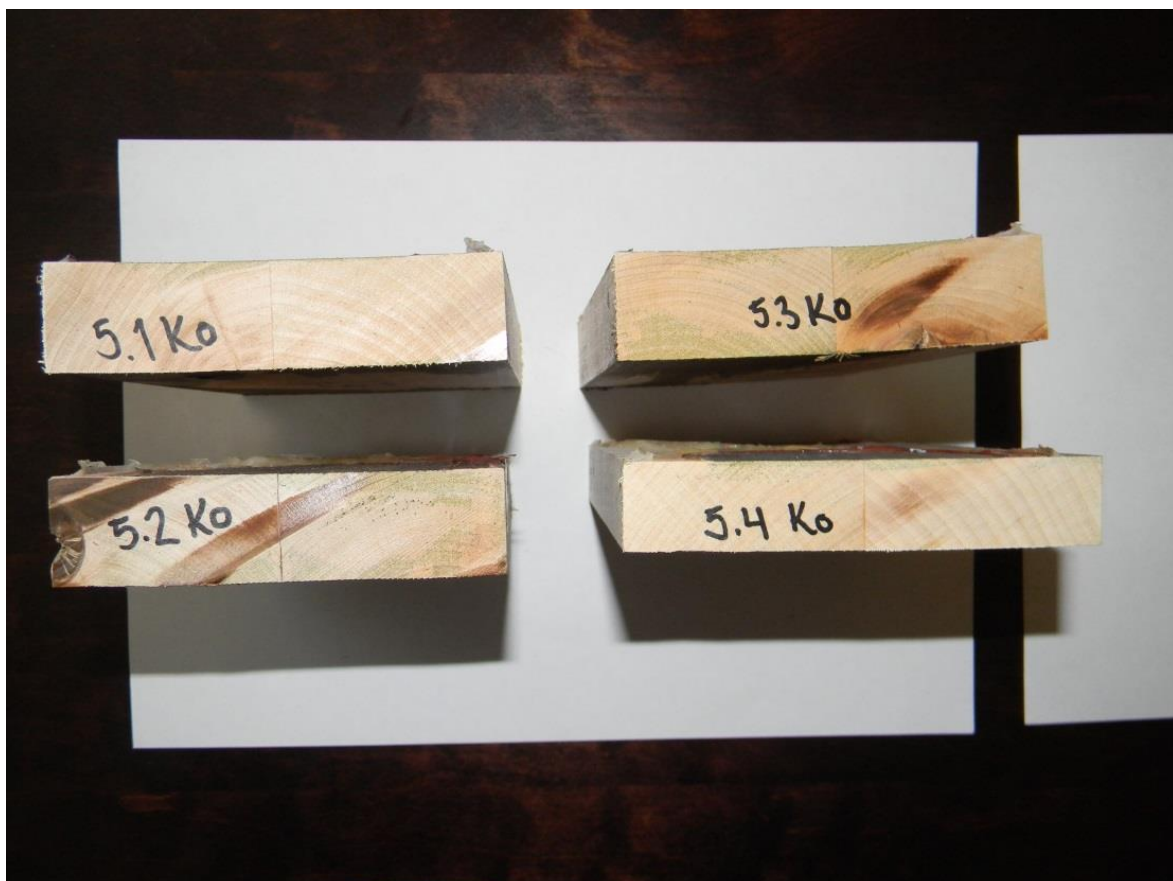


Kuva 16 Testisarjan 4 parhaat rinnakkaiskappaleet (koivu) (Ruohonen 2014)

Testin 5 tuloksien keskiarvoista (taulukko 10) on myös nähtävissä tensidien kostuttamista parantava vaikutus selkeästi koivukappaleiden osalta. Sama ilmiö on nähtävissä vesiohenteisilla kuusikappaleilla ja liuotinohenteisillä petseillä käsitellyillä mäntykappaleilla. Parhaiten petsi on tälläkin kertaa saatu tunkeutumaan koivunäytteisiin, joissa yksittäinen värjäyspiikki on saatu uppoamaan 18 millimetrin syvyyteen. Kuva 17 on otettu kyseiseen testisarjan koivunäytteistä, joissa tunkeutuma oli kaikkein syvin.

Taulukko 10 Testisarjan 5 (24h, 100 kPa) mittaustulosten keskiarvot

Testi 5: (24h, 100 kPa) petsiliuos ja testattava materiaali	Tunkeutuma (mm)		
	koivu	kuusi	mänty
vesiohenteinen petsi (5.1)	1,0	1,0	0,4
vesiohenteinen petsi + tensidi (5.2)	5,0	1,25	0,4
liuotinhenteinen petsi (5.3)	0,5	0,5	0,2
liuotinhenteinen petsi + tensidi (5.4)	3,0	0,5	0,5



Kuva 17 Testisarjan 5 parhaat rinnakkaiskappaleet (koivu) (Ruohonen 2014)

Testin 6 tuloksien keskiarvoista (taulukko 11) on nähtävissä tensidien kostuttamista parantava vaikutus koivu- ja kuusikappaleiden osalta. Parhaiten petsi on saatu edelleenkin tunkeutumaan koivu näytteisiin, joissa tunkeutuma on parhaimmillaan yltänyt värjäyspiikkiin 7 millimetrin syvyyteen. Kuva 18 on otettu kyseiseen testisarjan koivunäytteistä, joissa tunkeutuma oli kaikkein syvin.

Taulukko 11 Testisarjan 6 (6h, 100 kPa) mittaustulosten keskiarvot

Testi 6: 6h, 100 kPa petsiliuos ja testattava materiaali	Tunkeutuma (mm)		
	koivu	kuusi	mänty
vesiohenteinen petsi (6.1)	0,5	0,35	0,3
vesiohenteinen petsi + tensidi (6.2)	0,75	0,5	0,2
liuotinhenteinen petsi (6.3)	0,2	0,4	0,75
liuotinhenteinen petsi + tensidi (6.4)	0,5	0,5	0,2



Kuva 18 Testisarjan 6 parhaat rinnakkaiskappaleet (koivu) (Ruohonen 2014)

6.2.3 Ajan, tensidin ja paineen vaikutus

Saaduista tuloksista on nähtävissä, että tunkeutumukset ovat teorian mukaisesti sitä parempia, mitä pidempään testit ovat ajallisesti kestäneet. Parhaiten haluttuun lopputulokseen ylsivät ylipaineessa 168 tunnin ajan testatut koivukappaleet (sarja 6), joiden vesiohenteisen ja tensidiä sisältävän petsin tunkeutuma oli noin 8,75 millimetriä paksu ja tasainen. Teorian ja oletusten mukaan parhaimmat tunkeutumistulokset saavutettiin kaikilla koivuisilla kappaleilla. Kyseisistä kappaleista saatiin mitattua yksittäisiä petsin tunkeutuma piikkejä, jotka ylsivät parhaimmillaan noin 10 - 18 millimetrin syvyyteen (liite 1). Heikoimmat tulokset saatiin odotetusti pintapuusta valmistetuilla kuusi- ja mäntykappaleilla.

Teorian mukaisesti tensidien tunkeutumaa edistävä vaikutus on myös havaittavissa suurimmassa osassa saatuja tuloksia, etenkin koivuisilla testikappaleilla. Tuloksista voidaan myös päätellä, että mitä suurempi paine on ollut, sen parempi tunkeutuma saatu. Saadut tulokset eivät vastanneet täysin alkuperäisiä odotuksia, sillä yhtään testikappaletta ei saatu värjättyä halutun tasaisesti ja tarpeeksi syvältä. Tulokset ovat kuitenkin siltä osin odotusten mukaiset, että täyteen läpivärjätymiseen ei uskottu näin pienillä paineilla, sillä Kärrin ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston onnistuneet värjäykset oli suoritettu noin kymmenen kertaa suuremmassa paineessa.

6.3 Tulosten luotettavuus

Mittaustuloksissa esiintyvät teoriasta eroavat poikkeamat ovat aiheutuneet lähinnä käytettävän koneiston riittämättömyydestä testiin. Delaminointikone ei ole suoraan tarkoitettu tällaiselle testaukselle mutta sitä päätettiin käyttää, sillä teoriassa paineiden käyttö kyseisissä testeissä oli sen avulla mahdollista. Lisäksi testikappaleiden rakenne ja puun pinnanlaadun, sekä puuaineen rakenteen seurauksena aiheutui huomattavia tuloksiin vaikuttaneita tekijöitä. Esimerkiksi testialueelle sattuneet oksat ovat vuotaneet petsiliuosta puun läpi, jolloin petsiä on päässyt karkaamaan ennen testiajan päättymistä, ja testialueen kautta imeytyvä petsiliuoksen määrä on siten jäänyt vähäiseksi tai melkein olemattomaksi.

Hiomisella on teorian ja petsin valmistajan mukaan suuri vaikutus pinnan laatuun, joten tällä seikalla on oletettavasti jonkin verran vaikutusta saatuihin tuloksiin, etenkin kun liimattavia kappaleita oli paljon ja liimaukset jouduttiin suorittamaan muutamassa erässä noin viikkoa ennen testausta. Tästä odottamisesta seurannut tikun nousu on voinut osaltaan vaikuttaa petsin tunkeutumiseen, sillä testialueita ei voitu enää hioa tai höylätä komposiittiputken liimaamisen jälkeen. Lisäksi komposiittiputkien liimauksen pettäminen, joissain tapauksissa, on vaikuttanut lopputuloksiin, sillä petsi on päässyt sitä kautta tunkeutumaan myös testikappaleiden reunoilta.

Päätypuun kautta petsin tunkeutuma on huomattavasti pintapuuta suurempaa, mutta tämä ei suuremmalti vaikuttanut lopputulokseen, sillä kappaleista tehtiin huomattavasti isompia kuin oli tarpeen, ja päätypuun kautta imeytynyt petsi on pääsääntöisesti jäänyt tunkeutuman mittaamista edeltävässä sahauksessa tarkasteltavien kappaleiden ulkopuoleisiin jäännösoosiin. Petsi on kuitenkin liimasauman pettäminen myötä aiheuttanut samanlaisen ilmiön kuin testialueelle jääneet oksat, eli petsi on päässyt karkaamaan ennen aikojaan.

On myös mahdollista, että tunkeutumien mittaustuloksissa voi esiintyä pientä epätarkkuutta mitaajan inhimillisyydestä ja ihmissilmän tarkkuudesta johtuen, minkä seurauksena petsien tunkeutumien on arvioitu 0,1 mm tarkkuudella kymmenkertaistavan lookin läpi. Testejä olisi pitänyt suorittaa tulosten perusteella enemmän ja useammassa eri paineessa, sillä käytetyt paineet eivät ole olleet riittäviä noin 20 millimetriä paksujen puupalojen läpivärjäykseen. Tämä edellyttäisi erilaisen testauslaitteen käyttöä, jotta voitaisiin varmistua turvallisuudesta, ja jotta käyttöön saataisiin suurempi ylipaine.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET, ARVIOINTI JA POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, voidaanko maailmalla onnistuneiden massiivikoivun läpivärjäysten lisäksi onnistuneita läpivärjäksiä tehdä myös pintapuusta valmistetuille kuusi- ja mäntykappaleille, ja mitä paineessa läpivärjääminen vaatisi. Kokeellisen osan testitulokset ovat pääosin linjassa työssä esitetyn teorian kanssa, joitakin pieniä poikkeuksia lukuun ottamatta. Saaduista tuloksista on nähtävissä, että tunkeutumukset ovat sitä parempia, mitä pidempään testit ovat ajallisesti kestäneet. Tuloksista voidaan myös päätellä, että mitä suurempi paine on, sen parempi tunkeutuma saadaan mitattua, myös tensidien tunkeutumaa edistävä vaikutus on havaittavissa suurimmas- sa osassa saatuja testituloksia. Varsinainen läpivärjäys ei kuitenkaan onnistunut testeihin käytetyissä paineissa, mikä oli jo testejä suunniteltaessa odotettavissa, sillä suurin testiin käytettävä paine oli lopulta noin kymmenen kertaa pienempi, kuin millä on aiemmin onnistuttu läpivärjää- mään koivukappaleita. Parhaimmat tunkeutumistulokset saavutettiin kuitenkin koivukappaleilla, kun taas heikoimmat tulokset saatiin pääosin pintapuusta valmistetuilla kuusi- ja mäntykappaleilla.

Tässä opinnäytetyössä esitetyt tulokset ovat ehdottoman päteviä vain testatuille näytteille. Tulok- sia voidaan pitää joissain määrin suuntaa antavina, vaikka testattujen näytteiden lukumäärän ja käytettyjen paineiden vuoksi tuloksista ei voida tehdä täysin pitäviä päätelmiä. Tulosten valossa voidaan kuitenkin todeta, että käytetyt -85 kPa ja 100 kPa paineet ovat olleet riittämättömät onnis- tuneille läpivärjäyksille. Lisäksi toisenlaisen testilaitteen käyttäminen voisi tulla kysymykseen, jotta testit voitaisiin suorittaa turvallisesti suuremmalla paineella. Jotta tulokset olisivat luotettavampia ja yleispäteviä päätelmiä voitaisiin tehdä, pitäisivät testaukset toistaa vielä suuremmassa mittakaa- vassa isommille värjäyserille. Testattavan materiaalin pitäisi lisäksi olla lähtökohtaisesti liimasauma- tonta pinta-lautaa kaikkien materiaalien osalta, jotta liimasaumojen mahdollinen pettäminen ei vai- kuttaisi tuloksiin ja materiaalit olisivat mahdollisimman paljon toistensa kaltaisia. Näiden edellä esi- tettyjen muutosten ja parannusten avulla voitaisiin saavuttaa tarkempi otanta ja sulkea pois use- ampi eri muuttuja, jotka ovat osaltaan vaikuttaneet värjäysprosesseihin ja sitä kautta tässä opin- näytetyössä saatujen tulosten luotettavuuteen.

Valitsin tämän aiheen siksi, että se oli hyvin mielenkiintoinen ja uudehko. Lisäksi aihe liittyi hyvin läheisesti koulutusalaani, ja uskoin sitä kautta, että työn toteutus antaa lisää ammatillisia valmiuk- sia niin pintakäsittelyn kuin innovaatioiden kehittämisen saralla. Oma roolini oli toteuttaa saatu toimeksianto ja tehdä tausta-tutkimus- ja testaustyötä kirjallisuusosani perusteella. Mielestäni on- nistuin hyvin opinnäytetyön laadinnan kaikilla osa-alueilla, vaikka saadut tulokset olivatkin melkoi- nen pettymys kaiken suunnittelu- ja toteutustyön jälkeen. Olen kuitenkin erittäin tyytyväinen kirjal- lisuusosaani, jonka pelkäsinkin alkujaan jäävän lyhyeksi aiheesta laadittujen lähteiden vähyyden vuoksi, minkä lisäksi kaikki tässä opinnäytetyössä esitetyt valokuvat ja taulukot olen laatinut itse.

LÄHTEET

- BULIAN, Franco ja GRAYSTONE, Jon A.. 2009. Wood Coatings; Theory and Practice. Oxford: Elsevier Science & Technology
- Cwp.fi, A. Colored Wood Products Oy:n esittely [verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-02-22]. Saatavissa: <http://cwp.fi> Polku: Cwp.fi. Yritys.
- Cwp.fi, B. Coloured Wood Products Oy:n tuotteet [verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-02-22]. Saatavissa: <http://cwp.fi> Polku: Cwp.fi. Tuotteet.
- Herdins.se. Träbehandling med känsla – esite [verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-02-22]. Saatavissa: http://www.herdins.se/UserFiles/pdf/trabehandling_med_kansla_low.pdf
- HYLANDER, Hilmer. 1927. Puun petsaus: värittäminen, pintakäsittely ja kiillotus. Näköispainos 1996. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava
- ISOMÄKI, Olavi, KOPONEN, Hannu, NUMMELA, Arto ja SUOMI-LINDBERG, Leena. 2002. Puutuote-teollisuus 2: Raaka-aineet ja aihiot. 2. painos. Helsinki: Edita Prima Oy
- KIVIRANTA, Kalle. 2013. Pintakäsittelyaineet [luento]. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu
- Naturstyrelsen.dk. Electrokinetic Accelerated Ingress of Boron After Surface Treatment of Wood-tutkimus. Tanskan ympäristöministeriö [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-01-24]. Saatavissa: <http://naturstyrelsen.dk/media/nst/Attachments/Bilag92.pdf>
- Puuproffa.fi. Petsit [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-01-24]. Saatavissa: <http://www.puuproffa.fi> Polku: Puuproffa.fi. Pintakäsittely. Petsit.
- STT. 2003-08-13. Puuviilun läpivärjäys onnistuu paineessa. Turun Sanomat. [Viitattu 2014-01-21.] Saatavissa: <http://www.ts.fi/uutiset/kotimaa/1073911878/Puuvuilun+lapivarjays+onnistuu+paineessa>
- Rsc.org. 2003-07. Surfactants: the ubiquitous amphiphiles. The Royal Society of Chemistry [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-01-21]. Saatavissa: <http://www.rsc.org/chemistryworld/issues/2003/july/amphiphiles.asp>

LIITE 1: MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Taulukko 12 Testisarjan 1 mittaustulokset

Testi 1 (48h, -16 kPa)	Tunkeutuma (mm)					
	koivu 1	koivu 2	kuusi 1	kuusi 2	mänty 1	mänty 2
vesiohenteinen petsi (1.1)	0,2 (Max 0,7)	0,2 (Max 2,0)	0,2 (Max 0,5)	0,2 (Max 0,5)	0,2	0,1
vesiohenteinen petsi + tensidi (1.2)	3,0 (Max 7,0)	4,0 (Max 12,0)	0,3 (Max 1,0)	0,5 (Max 1,0)	0,5 (Max 2,0)	0,5
liuotinohenteinen petsi (1.3)	3,0	1,5	1,0	1,0	1,0	0,5 (Max 1,0)
liuotinohenteinen petsi + tensidi (1.4)	3,0	4,0	0,5	0,5	0,3	0,3

Taulukko 13 Testisarjan 2 mittaustulokset

Testi 2 (24h, -85 kPa)	Tunkeutuma (mm)					
	koivu 1	koivu 2	kuusi 1	kuusi 2	mänty 1	mänty 2
vesiohenteinen petsi (2.1)	0,5	2,5	1,0	1,0	1,5	1,5
vesiohenteinen petsi + tensidi (2.2)	1,0	2,0	1,0	1,0	1,5	1,0
liuotinohenteinen petsi (2.3)	1,0	1,0	0,5	1,0	1,0	0,5
liuotinohenteinen petsi + tensidi (2.4)	1,0 (Max 10,0)	2 (Max 18,0)	0,5	0,5	0,3	1,0

Taulukko 14 Testisarjan 3 mittaustulokset

Testi 3 (168h, -85 kPa)	Tunkeutuma (mm)					
	koivu 1	koivu 2	kuusi 1	kuusi 2	mänty 1	mänty 2
vesiohenteinen petsi (3.1)	2,0	1,0	0,5	0,5	2,0	2,0
vesiohenteinen petsi + tensidi (3.2)	6,0	0,6	0,5	0,5	0,2	0,5
liuotinohenteinen petsi (3.3)	0,2	0,2	0,2	0,5	1,0	0,3
liuotinohenteinen petsi + tensidi (3.4)	1,0	2,0 (Max 20,0)	0,5	1,0	0,5	0,5

Taulukko 15 Testisarja 4 mittaustulokset

Testi 4 (168h, 100 kPa)	Tunkeutuma (mm)					
	koivu 1	koivu 2	kuusi 1	kuusi 2	mänty 1	mänty 2
petsiliuos ja testattava materiaali						
vesiohenteinen petsi (4.1)	3,0	0,1	0,5	0,5	0,5 (Max 1,5)	0,5 (Max 1,5)
vesiohenteinen petsi + tensidi (4.2)	12,5	5,0	1,0	1,0	0,5	0,5 (Max 4,0)
liuotinohenteinen petsi (4.3)	2,0	1,0	0,5	1,0	0,5	0,3
liuotinohenteinen petsi + tensidi (4.4)	0,5 (Max 3,0)	6,0	0,5	0,5 (Max 4,0)	2,0	1,0

Taulukko 16 Testisarja 5 mittaustulokset

Testi 5 (24h, 100 kPa)	Tunkeutuma (mm)					
	koivu 1	koivu 2	kuusi 1	kuusi 2	mänty 1	mänty 2
petsiliuos ja testattava materiaali						
vesiohenteinen petsi (5.1)	1,0	1,0 (Max 7,0)	1,0	1,0	0,3	0,5
vesiohenteinen petsi + tensidi (5.2)	5,0	5,0	1,5	1,0	0,3	0,5
liuotinohenteinen petsi (5.3)	0,5 (Max 5,0)	0,5 (Max 3,0)	0,5	0,5	0,2	0,2
liuotinohenteinen petsi + tensidi (5.4)	5,0	1,0 (Max 18)	0,5 (Max 1,0)	0,5 (Max 1,0)	0,5	0,5 (Max 1,0)

Taulukko 17 Testisarja 6 mittaustulokset

Testi 6 (6h, 100 kPa)	Tunkeutuma (mm)					
	koivu 1	koivu 2	kuusi 1	kuusi 2	mänty 1	mänty 2
petsiliuos ja testattava materiaali						
vesiohenteinen petsi (6.1)	0,5 (Max 4,0)	0,5 (Max 4,0)	0,5	0,2	0,1	0,5 (Max 1,5)
vesiohenteinen petsi + tensidi (6.2)	1,0 (Max 7,0)	0,5	0,5	0,5	0,2	0,2 (Max 1,0)
liuotinohenteinen petsi (6.3)	0,2 (Max 2,0)	0,2	0,5	0,3	0,5 (Max 1,0)	0,1 (Max 0,5)
liuotinohenteinen petsi + tensidi (6.4)	0,5 (Max 4,0)	0,5 (Max 5,0)	0,5	0,5	0,2	0,2 (Max 0,5)