LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

SOLIDIWOOD-KUUMAMUOVAUS

Tuoreesta sahatavarasta lopputuotteeksi

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Puutekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto
Opinnäytetyö
15.5.2013
Joonas Uotila
uotila.joonas@luukku.com

Lahden ammattikorkeakoulu
Puutekniikan koulutusohjelma

UOTILA, JOONAS:

Solidiwood-kuumamuovaus
Tuoreesta sahatavarasta lopputuotteeksi.

Puutekniikan opinnäytetyö, 41 sivua, 5 liitesivua

Kevät 2013

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tarkoituksena oli jatkaa tutkimuksia koskien vuoden 2011 keväällä aloitettuja Solidiwood-teknologian kokeita.

Projektin tarkoituksena oli kehittää ja valmistaa toimiva Solidiwood-palkkirakenne, jonka komponentit tulisi valmistaa pieniläpimittaisen sahapuun profiloivasta sahauksesta tulevista saheista. Projektin myötä piti myös jatkaa kuumapuristukseen soveltuvien pintakäsittelyaineiden koskevia testejä. Työhön lisättiin vielä yksi työprosessi, jossa tutkittiin terassilautojen valmistusta Solidiwood-teknologiaa hyväksi käyttäen. Testeihin käytettiin tuoresahattua, kastettua tai ulkovarastokuivaa kuusta. Terassilautatuotteissa käytettiin myös uitettua mäntyä.

Palkin rakennetta muutettiin kevään 2011 tuotteisiin niin, ettei palkin reikää tarvinnut erikseen puristuksen aikana tukea. Kuivumisprosessin nopeuttamiseksi ja tasaamiseksi palkkin komponentteihin vielä kaksi uraa, jotka puristetussa palkissa muodostivat kaksi reikää lisää.

Pintakäsittelyssä laajennettiin testattavien pintakäsittelyaineiden määrää. Aikaisemmin oli käytetty vesilasia ja paperiteollisuuden pastaa. Uusia aineita olivat parafiini, akrylaatti- ja palonestomaali, terva ja vesipetsi.

Terassilautatesteissä oli tarkoitus valmistaa kuivattu, profiloitu ja pintakäsitelty demokappale Solidiwood-teknologialla. Lapepinnat puristettiin lämpöpuristamalla. Sivuprofiilien puristamisessa käytettiin apuna 3 ja 4 mm:n terästankoja, jotka upposivat puristuksissa muodostaen urat kappaleiden sivupinnoille. Lopuksi näytekappaleille tehtiin pintakäsittely, jossa käytettiin parafiinia.

Avainsanat: Solidiwood-teknologia, palkkirakenne, kuumapuristus, pintakäsittely, terassilauta, urat.

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Wood Technology

UOTILA, JOONAS: Solidiwood -hotmodelling
From fresh sawed timber to final product.

Bachelor's Thesis in wood technology, 41 pages, 5 pages of appendices

Spring 2013

ABSTRACT

This thesis deals with Solidiwood hotmodelling technology. It continues the research and tests on the Solidiwood technology that started in spring 2011.

The objective of this project was to develop and produce a working Solidiwood beam structure from components made of profiled short-diameter sawn timber. Another objective was to continue testing different finishing materials suitable for the hot-pressing method. There was one more objective added to the project: producing a terrace board. In tests it was used green sawn timber or soaked timber of spruce as a raw material. In floor board products also pine was used.

The structure of the beam made in 2011 was changed so that the middle-hole was made smaller. That way there is no need to support the hole during hot-pressing. To make drying faster, four grooves were milled in the parts which formed two additional holes.

More materials were tested in surface finishing than in the tests in 2011. Previously they had tested sodium silicate and paper industry's pasta. New materials were paraffin, water-soluble and anti-burn paint, tar and water-soluble stain.

In the terrace board test the objective was to produce a dried, profiled and surface finished sample product using the Solidiwood-technology. Flat sides were pressed with the hot-pressing machine. Short sides were profiled using 3 and 4 millimeter iron bars which formed grooves in hot-pressing. The products were surface finished using paraffin.

Key words: Solidiwood, beam structure, hot-press, surface finishing, terrace board, grooves.

Sisällys

1	JOHDANTO		1
2	TEORIAA KUUMAPURISTUKSESTA		2
	2.1	Puristepuu Suomessa ja maailmalla	3
	2.2	Kuuma- ja kuumailmakuivaus	5
	2.2.1	Kuumakuivaus	5
	2.2.2	Kuumailmakuivaus	7
	2.3	Lämpöpuu	7
	2.4	Kevään 2011 Solidiwood-testit	8
3	ILVOLANKOSKI OY JA SOLIDIWOOD		10
	3.1	Ilvolankoski Oy	10
	3.2	Solidiwood -tuotteet ja -teknologia	11
4	PROJEKTI		12
	4.1	Projektin kulku	13
	4.1.1	Tutustuminen ja perehtyminen	13
	4.1.2	Tutkiminen ja vakioittaminen	15
	4.1.3	Tuotanto	16
	4.1.4	Viimeistely	17
	4.2	Tutkimuskohteet	17
	4.2.1	Solidiwood -palkkirakenne	17
	4.2.2	Terassilauta	21
	4.2.3	Pintakäsittely	26
5	YHTEENVETO		37
6	LÄHTEET		40
7	LIITTEET		42

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ja toteuttaa Ilvolankoski Oy:n visioima Solidiwood -palkkituote, joka valmistettaisiin profiloivasta sahauksesta tulevista sahatuoreista saheista lopputuotteiksi ainoastaan kuumapuristusta hyväksi käyttäen jopa muutamissa tunneissa. Tavoitteina oli mitoittaa palkkituoteaihion saheiden eli komponenttien vajaasärmäosista muodostuva keskiöreikä puristusta kestäväksi kokonaisuudeksi, tutkia terassilaudan valmistuksen ja profiloinnin mahdollisuutta kuumapuristusta ja -muovausta käyttäen ja lopuksi testata eri pintakäsittelyaineiden soveltuvuutta kuumapuristukseen. Projektin myöhemmässä vaiheessa tehtäväksi tuli myös tutkia terassilaudan valmistusta ja pintakäsittelyä ja valmistaa esimerkkituote kuumamuovausta käyttäen.

2 TEORIAA KUUMAPURISTUKSESTA

Puun puristamista lämpöä käyttäen ei ole tavattoman uusi asia, ja se onkin olennainen prosessin vaihe levyteollisuudessa mm. vanereita ja lastulevyjä valmistaessa. Lämmön avulla puristuksen aikana taataan esimerkiksi vanerin kohdalla viilujen saumaton kiinnittyminen liimojen avulla. Lämpö myös nopeuttaa liiman kuivumista, ja näin ollen vanerin valmistusta.

Vähemmän kuumapuristusta käytetään massiivipuutuotteiden valmistuksessa, vaikka tekniikka on ollut tiedossa ja käytössä jopa vuosikymmenien ajan. Suomessa tuote tunnetaan puristepuuna. Periaatteena on, että kostutettu tai raakamärkä massiivipuukappale asetetaan tarkoituksen mukaiseen aihioon puristuksiin lape-, sivu- tai molemmilta pinnoilta ja puristetaan haluttuun kokoon. Kyseisellä menetelmällä voidaan puu puristaa jopa 40 % alkuperäisestä paksuudestaan ilman mainittavia halkeiluja ja etenkään jännitysvikoja, kuten korkkiruuvisuutta. Samalla kappaleen pinta tiivistyy ja kovettuu niin, että pinnasta tulee vettä hylkivä ja tietyin edellytyksin vedenpitävä. Esimerkiksi mäntykappaleen pinnan kovuus on saatu tammen veroiseksi, ja koivun tätäkin paremmaksi. Puristepuu soveltuu käyttökohteisiin, joissa puulta vaaditaan suurta pintakovuutta. Tällaisia kohteita on lattiat, parketit, kynnykset, ikkunapuitteet, ovenkarmit, pöydät ja penkit. Kuumapuristetun puristepuun syttymisherkkyys ja hiiltymisnopeus ovat myös vähäisempiä kuin normaalipuulla. Puristettu puu säilyttää muotonsa, ellei ympäristön suhteellinen kosteus nouse yli 90 %, jolloin se palautuu mitoiltaan ennalleen (Liite 1). Puu voidaan kuitenkin stabiloida muotoonsa maleiini- tai öljykäsittelyllä, jolloin se ei reagoi ympäröivään kosteuteen. Puristuksessa käytetyllä lämpötilalla ei ole merkitystä mittapysyvyyteen. (Teknillinen korkeakoulu ja rakennustieto Oy 1998, 93-96.)

Puristepuun puristuksessa käytetään aina yli 100 °C:n lämpötilaa (120-220 °C), sillä tiukan puristusaihion ansiosta se ei tarvitse jatkuvaa kostuttamista. Koska puu ei pääse elämään puristuksen aikana, vaan päinvastoin sitä puristetaan tasaisesti pienemmäksi, eikä kappaleeseen pääse syntymään isoja halkeiluja, kuten liian voimakkaan kuumakuivauksen tapauksessa. Puristuksen alkuvaiheessa mahdollisesti syntyvillä pienillä päätyhalkeamilla on mahdollisuus liimautua

takaisin kiinni puun oman liima-aineen eli ligniinin avulla. Puristepuun etuna on myös, että sen lujuudet pysyvät samana sekä voivat jopa parantua verrattuna normaaleihin kamarikuivauksella kuivattuihin kappaleisiin. Ainoastaan 210 °C:n lämpötilassa ja 345 kPa:n voimalla puristetussa kappaleessa on todettu kimmomoduulin heikentyneen selkeästi. (Kretschmann D.E.; Pearson R.G.; Simpson B.; Stoker D.L.; Tang Y. 2006. 2.)

Puun sidosaineiden sulaminen alkaa vasta, kun puun lämpötila ylittää 100 °C. Tämän jälkeen puun kosteuden pois höyrystyminen kasvaa kiihtyvällä nopeudella. Mitä korkeampi puun lämpötila, ovat myös sidosaineet sitä sulemmat ja sitä suurempi kasaan puristuminen ilman puuaineksen rikkoutumista. Tämän osoittaa voimallisimmin Jaakko Kauseen menetelmän mukainen sorvatun tukin puristaminen poikkileikkaukseltaan neliöksi kahdella eri tavalla. Lopputulos on molemmissa yhtä hyvä.

Ensimmäisessä niistä puristaminen tehdään kylmänä. Tähän tarvitaan suuri puristusvoima ja puuaines murskautuu. Puristamisen jälkeen sidosaineiden sulattaminen tehdään n. 500 °C:n nousevassa lämpötilassa ennen lopulliseen neliön muotoon puristamista. Lämmittäminen tapahtuu johtamalla sähkövirtaa tukin pituussuunnassa. Toisessa puu lämmitetään myös n. 500 °C lämpötilaan ja sitten puristetaan neliöksi. Puristusvoiman tarve on paljon pienempi. Molemmissa toimintatavoissa puuaines liimautuu ja jähmettyy puristettuun muotoonsa jäähdytysvaiheessa. (Kukkonen 2013.)

2.1 Puristepuu Suomessa ja maailmalla

Virallisesti puristepuu tuli yleiseen tietoon Suomessa 1990-luvun alussa Ari Hottisen toimeksiannosta. Hottinen oli huomannut silloisen työnantajan kanssa, että raskaiden maansiirtokoneiden alle jääneet puut muuttuivat koviksi ja painaviksi. Tästä kehkeytyi idea kokeilla puun kuivaamista puristamisen avulla. Kokeiluihin oltiin niin tyytyväisiä, että näiden tuloksien pohjalta perustettiin kaksi yritystä: Hitwood Oy, jonka tehtävänä oli vastata kuivaustekniikan kehittämisestä, ja Teknopuu Hottinen Oy, joka puolestaan vastasi kyseisellä tekniikalla

valmistetuista lopputuotteista. Näitä tuotteita valmistettiin lattiapäällysteiden ja huonekaluteollisuuden lisäksi kylpyhuone- ja puutarhatuotteisiin.

Hottinen aloitti ensimmäiset tutkimukset aiheesta vuonna 1993, ja hyvien lopputulosten ansiosta yritykset perustettiin vuonna 1996. Vaikka tuotteet ja teknologia saivat kiitosta ja asiakkaat olivat tyytyväisiä lopputuotteisiin, oli tuotanto melko vähäistä. Teknologian saralla suurin ongelma olivat suuret investoinnit uuteen koneistoon ja linjastoon, jotta tuotanto saataisiin käyntiin. Kysyntä kuitenkin oli sen verran hyvä, että yritykset kannattivat, ja näin tuotantoa ja kehitystä jatkettiin. Vuosien kuluessa tuotantolinjastoa myytiin ainakin Afrikkaan ja Australiaan, jossa jälkimmäisessä teknologiaa on tiedettävästi kehitetty eteenpäin eukalyptus-puutuotteiden tuotannossa.

Hottinen kuitenkin jätti työnsä vuonna 2008 hänen omien sanojensa mukaan pääomasijoittajien kanssa tehtyjen virheratkaisujen ja myös oman mielenkiinnon hupenemisen takia. Tämän myötä myös puristepuun teknologia ja tuotanto vähenivät Suomen markkinoilla. (Hottinen 2013.)

Vaikka puristepuun hyödyt voittavat sen haitat, ei tämä menetelmä ole järin laajalti levinnyt maailmallakaan. Tuotantoa on tiedettävästi hieman suuremmissa määrin Kanadassa ja joissain määrin Venäjällä ja Australiassa. Tunnetuin puristepuun hyödyntäjä on tanskalainen Junckers, joka valmistaa massiivipuisia lattioita menetelmää hyödyntäen (vain lapepintapuristus). Menetelmä on ollut tavalla tai toisella olennainen osa tuotantoa yli 50 vuoden ajan. Itse yhtiö on perustettu vuonna 1930. (Junckers 2013; Kukkonen 2013.)

Puristepuun käyttökokemuksista on kirjoitettu seuraavaa:

”Mäntsälän asuntomessuille valmistettiin puristepuusta Puuinformaation taloon mäntypuiset lattialankut. Niiden alkudimenssiot oli 50x125 millimetriä ja ne puristettiin 38 millimetrin paksuuteen. Puristuslämpötila oli 165 C ja puristusaika 9,5 tuntia. Lankuissa oli sisähalkeamia, mutta niistä tehtiin kuitenkin koelattia.

Samaan taloon oli vertailun saamiseksi tehty lattia myös normaalista mäntylankusta. Arvion mukaan talossa kävi messujen aikana 100 000 ihmistä. Messujen jälkeen koelattiat tarkastettiin ja puristepuusta valmistetun lattian

todettiin olevan paremmassa kunnossa kuin normaalipuusta valmistetun. Puristepuulattiaan syntyneiden painaumien keskimääräinen syvyys oli 0,15-0,2 millimetriä, kun normaalipuusta valmistetussa lattiassa vastaava lukema oli 0,8-0,9 millimetriä. Puristepuusta valmistetussa lattiassa oli myös selvästi vähemmän painaumia kuin normaalipuulattiassa.

Asuntomessujen aikana oli sateisia päiviä, joten koelattia kastui perusteellisesti. Tämä ei kuitenkaan vaikuttanut mitenkään lattian kuntoon."

(Teknillinen korkeakoulu ja Rakennustieto Oy. 1998. 95)

2.2 Kuuma- ja kuumailmakuivaus

Kuumapuristuksen ohella teollisuudessa on käytössä muutamia muita kuivaustapoja, joissa kuivauslämpötilana käytetään reilusti yli 100 °C:tta.

2.2.1 Kuumakuivaus

Kuumakuivaus on kolmivaiheinen, lämpöpuun valmistuksen kaltainen prosessi. Se jakautuu toimintajärjetyksessä: alkuhöyrystykseen, lämmön nostoon ja jäähdytykseen.

Alkuhöyrytyksessä puuta kostutetaan vesihöyryn avulla. Höyrytyksellä pyritään tasaamaan kosteuserot puukappaleessa. Samalla tämä estää myös puuta kuivumasta lämmitysvaiheen aikana. Höyryn määrä riippuu siitä, kuinka kosteata ja paksua puuta kuivataan. Luonnollisesti paksumpi puu tarvitsee voimakkaamman höyrytyksen kuin ohuempi lautatavara. Kosteus tulisi saada puussa kokonaisvaltaisesti 2-4 % korkeammalle kuin mitä sen alkuperäinen kosteus on ennen kuivausta. Suhteessa eniten höyryä tarvitsee 35-50 % kosteudessa oleva pintakuivunut puu. Alkuhöyrytys on välttämätön osa prosessia ja oikein toteutettuna se voi jopa nopeuttaa kuivausprosessia. (Isomäki 1961, 45-48.)

Lämmityksessä lämpötila nostetaan aluksi veden kiehumispisteen tasalle eli 100 °C:een ja pidetään sitä niin kauan, kun puun sisäosa on saavuttanut lähes saman lämpötilan. Vaikka jotkut tutkijat väittävät, että alkulämpö tulisi nostaa niin

monessa tunnissa kuin kappaleen paksuudessa on senttimetrejä, on todettu, että lämmön noston nopeudella ei ole merkitystä. Tänä aikana on kuitenkin huolehdittava, ettei kappaleen pinta pääse kuivumaan lämmön noston aikana ollenkaan. Puun sisäosan saavutettua lähes 100 °C:n lämpötilan alkaa varsinainen puutavaran kuivaus. Lämpötilaa nostetaan portaittain noin 10 °C:n välein. 110 °C:ssa puun annetaan olla noin kaksi tuntia, minkä jälkeen nostetaan lämpö 120 °C:een niin pitkäksi aikaa, että kosteus tippuu 25 %:iin. Loppuajan puu pidetään 130 °C:ssa ennen jäähdytystä. Liitteessä 2 on esitetty muutamia kaavoja kuumakuivausta koskien. On kuitenkin varottava liian voimakasta lämmönkorotusta, sillä pinnan nopeamman kuivumisen seurauksena puun pinta- ja sisäosan kesken syntyy kosteusepätasapaino, josta seuraa sisähalkeamia. Huonon alkuhöyrytyksen takia pinta- ja sisäpuun välinen kosteusero voi olla valmiissa kappaleessa jopa 20 %. Onkin hyvä muistaa, ettei kuivaamon lämpötila saisi olla korkeintaan 18 °C korkeampi kuin puun sisäosan lämpötila. Vaikka lämpötilaa nostetaankin yli 100 °C:een, puun lämpötila lähtee nousemaan vasta kosteuden ollessa 30 - 25 %:n tienoilla. Puukappaleen sisäosan lämpötila lähtee nousemaan vasta 20 %:n kosteudessa. (Isomäki 1961, 45-48.)

Jäähdytys on prosessin kriittisin vaihe, sillä lämmintä kuivausilmaa ei noin vaan voi tuulettaa ulos ja korvata tätä viileämmällä ilmalla. Jäähtymisen tulisi tapahtua loppukosteutta vastaavissa olosuhteissa tai mieluimmin hieman suuremmassa suhteellisessa kosteudessa. Tätä periaatetta noudattaen puutavara jäähdytetään 60-80 °C:een. Jäähdytyksen aikana on loppuhöyrytyksen avulla pyrittävä varmistamaan, että puun kosteustasapaino pysyy tasaisena pinta- ja sisäosissa. Höyrytyksen takia kuitenkin puun lämpötila nousee 110 °C:een, ja kuivaamon hyvän lämpöeristyksen takia puun jäähtyminen kestää 6-8 tuntia. Höyrytyksen voi korvata vesisumutuksella, sillä se pitää höyrytyksen tavoin puun pinnan kosteana. Edullisempi sumutus on kuitenkin heikompi vaihtoehto näistä vaihtoehdoista, sillä tavaralle voi tapahtua herkästi paikallista liiallista kostumista. Toimivalla sumutussysteemillä voidaan kuitenkin lyhentää jäähdytysaika noin kolmeen tuntiin. Ohut sahatavara ei tarvitse loppuhöyrytystä.

Verrattuna kuumapuristuskuivaukseen on kuumakuivauksella vielä yksi heikkous pitkän kuivausajan ja vikojen suuremman todennäköisyyden lisäksi: sahatuoreilla

jalopuilla on haitallisen voimakas värimuutos, mikä ilmenee etenkin koivupuulla puuaineen punertumisena. Tämän voi jossain määrin välttää kuumakuivaamalla puut ilmakuivina. Etenkin mahonki soveltuu tähän tarkoitukseen hyvin. Tammen kohdalla värivika ei katoa kyseisellä menetelmällä, mutta tällä kertaa väriviat rajoittuvat vain puun pintakerroksiin. Vika on siis mahdollista poistaa höyläämällä tammen pinta. (Isomäki 1961, 45-48.)

2.2.2 Kuumailmakuivaus

Kuumailmakuivaus muistuttaa perusteiltaan kuumakuivausta, mutta tulistetun höyryn sijaan kuivaaminen tapahtuu ottamalla ja säännöstelemällä kuivaamoon ilmaa. Tämän avulla kuivaus saadaan nopeammaksi kuin kuumakuivauksessa, koska otetulla tuloilmalla ilman suhteellinen kosteus ja puun tasapainokosteus saadaan alhaisemmaksi kuin vastaavassa tapauksessa höyryllä. Massiivipuutavaran kohdalla tämä tosin tarkoittaa vikojen esiintymisen todennäköisyyden huomattavaa kasvua. Tämän takia kuumailmakuivausta käytetään pääsääntöisesti rimalevy- ja vaneriteollisuudessa sen lyhyen kuivausajan takia. Liitteessä 3 on joitain kuumailmakuivauksen kaavoja.

2.3 Lämpöpuu

Lämpöpuun eduksi lasketaan sen kuivattu ja poltettu puuaines, sillä polttamisella puun pinta muuttuu kovemmaksi eikä se ole enää altis homeelle eikä laholle. Ulkokäyttöön tarkoitetun puun avotulella polttamisen edut on tunnettu jo vuosisatojen ajan, sillä mm. aidan seipäiden terävät päät poltettiin aina ennen maahan iskemistä. (Kervinen 2012, 3.)

Tieteellistä tutkimusta puun lämpökäsittelystä on harjoitettu 1930-luvulta 1980-luvulle asti pääsääntöisesti saksalaisten vetämänä. 1990-luvulla tutkimusta ovat jatkaneet Ranska, Alankomaat ja Suomi. Tällä hetkellä Suomi on johtava lämpöpuun tutkija ja tuottaja, josta suurin kiitos kuuluu VTT:lle, joka on suorittanut tarkimmat ja kattavimmat tutkimukset aiheessa. Lämpöpuun valmistus Suomessa aloitettiin 1990-luvun loppupuolella, ja vuoden 2010 loppuun mennessä

lämpöpuuta valmistettiin lähes 94 000 kuutiometriä. Lämpöpuuyhdistys ry:hyn kuuluu tällä hetkellä 11 yrityksen lisäksi kaksi yritystä, jotka toimittavat lämpöpuulaitteistoja. (ThermoWood-käsikirja. 2003. 1-1)

Lämpöpuun valmistusprosessi jakautuu kolmeen vaiheeseen: kuumakuivaukseen, lämpökäsittelyyn sekä jäähdytykseen ja loppukostutukseen.

Kuumakuivaus on täysin sama prosessi, joka on kuvattu aikaisemmin. Tarkoituksena on kuivata puu ennen varsinaista lämpökäsittelyä. Kuivaus tehdään hyväksikäyttämällä tulistettua höyrystystä, joissa kuumaa vesihöyryä puhalletaan samalla, kun lämpötilaa nostetaan portaittain 130 °C:een. Tulistettu höyry estää puun pinnan kuivumisen liian nopeasti puun sisäosan jäädessä kosteammaksi.

Varsinaisessa lämpökäsittelyssä kammion lämpötila nostetaan nopeasti käsittelyasteesta riippuen 185-215 °C:een. Höyrytystä jatketaan koko lämmitysprosessin aikana, sillä höyry toimii kammiossa suojakaasuna, joka estää puun syttymisen ja edesauttaa puussa tapahtuvia kemikaallisia muutoksia. Lämpökäsittelyn pitoaika on 2-3 tuntia.

Kuten kuumakuivauksella jäähdytys, on lämpöpuukäsittelyssä tasaannutus kriittinen vaihe, jossa liian aggressiivinen jäähdytys kammion ulkopuolisella ilmalla aiheuttaa puun halkeilua. Epätasaisesta lopputasaannutuksesta voi seurata myös puun liiallista kuivumista, mikä vaikuttaa lopputyöstöön. Tasaannutus suoritetaan jäähdytysilman ja vesisuihkutuksen kanssa, jotta se saadaan sopivaan toimituskosteuteen. Lämpötilan laskettua 80-90 ºC:een tehdään uudelleenkostutus, jossa kosteuspitoisuus saadaan käytettävälle 4-7 %:n tasolle. Tasaannutusvaihe kestää 5-15 tuntia, riippuen käsittelylämpötilasta ja sahatavarasta. (ThermoWood-käsikirja 2003, 1-1, 2-1; Kervinen 2012, 6-8.)

2.4 Kevään 2011 Solidiwood-testit

Kevään 2011 Solidiwood-testien työraportin ovat koonneet insinööriopiskelija Eero Kahilaniemi ja puutekniikan insinööri Leo Lähteinen. Testit olivat toinen osa

Solidiwood-teknologian tutkimusta Lahden Ammattikorkeakoulun ja Ilvolankoski Oy:n välillä. Tämä näyttötyö on jatkoa kevään 2011 raporttiin.

Kyseistä raporttia koskevissa tutkimuksissa pyrittiin toteuttamaan Solidiwood -teknologian mukainen tuote käyttäen koulun vaatimattomia koneistoja, joita ei olla suunniteltu ensisijaisesti Solidiwood-tuotteiden valmistukseen. Tähän kuului sivujen profilointi, itse käsittelemättömän tuotteen valmistus, ja pintakäsittelytestejä paperiteollisuuden pastalla ja vesilasilla. Kevään 2011 raporttia käytettiin pohjustavana tieto- ja valmistusmenetelmälähteenä tämän näyttötyön pohjalle. Tällä näyttötyöllä on tarkoitus laajentaa ja viedä testien osa-alueita, kuten pintakäsittelyä, pidemmälle.

3 ILVOLANKOSKI OY JA SOLIDIWOOD

3.1 Ilvolankoski Oy

Opinnäytetyön toimeksiantaja Ilvolankoski Oy on vuonna 1993 perustettu puutuotteita ja niiden valmistusteknologiaa kehittävä yritys. Yritys lisensoi kehittämänsä ja patentoimansa teknologian sekä rekisteröimiensä tavaramerkkien Solidiwood® ja Solidum® käyttöoikeuksia. Yrityksen ainoa työntekijä on Matti Kukkonen.

Yritys markkinoi ja toimitti jo Solidiwood® -tuotemerkillään Hottisen ja myöhemmin Teknocompin puristuskuivaamolla kuivatusta koivusahatavarasta höyläämällä tuotettuja lattialautoja ja parkettisauvoja vähäisesti useamman vuoden aikana. Osa niistä meni julkisiinkin arvotiloihin, mm. Eduskuntatalon lisärakennukseen. Halutut ja hyvin onnistuneet toimitukset oli lopetettava puristuskuivausmahdollisuuden lakattua n. viisi vuotta sitten Teknocomp Oy toiminnan päätyttyä tällä toimialalla. Nykyään yritys ainoastaan kehittää, tutkii ja markkinoi uusia innovatiivisia tuotteita ja menetelmiä, jotka voisivat olla seuraava edistysaskel suomalaisessa puuteollisuudessa. Tutkimukset ja testit tehdään yhteistyössä muiden yrityksien tai oppilaitosten kanssa. Yrityksen päänimikkeet tällä hetkellä ovat Solidiwood-teknologia ja Solidum-lattialämmitys. Solidiwood-teknologiaa käsitellään seuraavassa kohdassa tarkemmin. (Ilvolankoski 2013; Kukkonen 2013.)

KUVIO 1. Solidum lattialämmitys.

Solidum-lattialämmityksellä tarkoitetaan lattialämmitystä niin, että normaalisti huonetilaa lämmittävät elementit asetettaisiin lattiapäällysteen sisään. Normaalisti lattialämmityselementit ovat lattiapäällysteen alla. Lämmityselementtien asettaminen huonosti johtavan päällysteen sisään takaa hyvän lämmöneristyksen ja estää lämmön pääsyn huonetilaan. Näin Solidum-lattialämmityksellä

lämmittäminen on taloudellisempaa ja tehokkaampaa, ja se säästää jopa 10-35 € / m^2 rakennuskustannuksissa. (Ilvolankoski 2013; Kukkonen 2013.)

3.2 Solidiwood -tuotteet ja -teknologia

Solidiwoodin peruslähtökohtana on valmistaa mahdollisimman pitkälle viety lopputuote nopeammin ja ennen kaikkea kustannustehokkaammin kuin kilpailijoiden vastaavat tuotteet. Solidiwoodin lisävalttina on ainakin samantasoiset, ellei laadukkaammatkin puristus- ja taivutuslujuusominaisuudet.

Solidiwood -teknolgian 2-3D (leveys-paksuus-pituus) -kuumapuristus on tuotteen valmistuksen ydinasia. Sillä kuivataan tuoresahattu puukappale tai -aihio puusepän ja jopa absoluuttisen kuivaksi. Tarvittavaan mitallistaminen, liimasaumojen yhteenpuristukset ja mahdolliset sivu- tai lapeprofiloinnit voidaan suorittaa kaikki samassa kuivausprosessissa. Oikein suoritettuna prosessin jälkeen puukappaleella ei ole normaalikuivauksessa esiintyviä vikoja, kuten käyryyttä, halkeilua tai korkkiruuvisuutta. Näistä toimenpiteistä syntyy nimitys kuumamuovaus. Vikojen kuolettaminen saadaan mahdolliseksi, kun kappale kuumapuristetaan ja pidetään muodossa aina tämän kuivumiseen ja jäähtymiseen saakka. Tällöin puuaineen omat solut järjestäytyvät uudelleen niin, että kaikki mahdolliset puun jännitysvoimat ”oikenevat” kappaleen suuntaiseksi eli kuoleentuvat, eivätkä näin aiheuta jännitysvikoja. Edellytyksenä on kuitenkin, että kappale saadaan riittävän kuivaksi, noin 4-7 %, myös aihioiden sisuksista. Sisuksen jäädessä ulkopintaa kosteammaksi vikojen esiintyminen on edelleen mahdollista. Tämän takia ei prosessia saada keskeyttää kesken kaiken. (Kukkonen 2013.)

Aika kappaleen kuivaukselle sekä puupinnan värisävy ovat suoraan verrannollisia puristuksessa käytettävään lämpötilaan: mitä korkeampi lämpötila on, sitä nopeammin puukappale kuivuu. Sitä vastoin mitä suuremmalla lämpötilalla puristetaan, sitä tummemmaksi kappaleen pinta tulee. (Kukkonen 2013.)

”Solidiwood -tuote ja sen valmistus ovat kaikilta osin radikaalisesti ympäristöystävällinen ja niukkaresurssinen tuotantoprosessi.” (Ilvolankoski 2013.)

4 PROJEKTI

Tutkimusprojektissa oli kolme päämäärää. Ensisijaisena päämääränä oli löydettävä optimaalinen keskireiän koko Solidiwood-palkkirakenteelle, ilman että keskireikä tarvitsisi erillistä tukea puristuksen aikana. Toiseksi oli tutkittava terassilaudan kuumamuovauksen mahdollisuutta, ja kuivaukseen ja profilointiin kuluvaa aikaa. Viimeinen tutkimus koski em. kappaleiden pintakäsittelyä kuumapuristusta hyväksi käyttäen ja etenkin vesilasin käyttömahdollisuutta laajemmassa skaalassa. Vuoden 2011 keväällä oli jo testattu vesilasin soveltuvuutta puun pintakäsittelyyn. Nyt tutkittiin soveltuisiko vesilasi jonkin muun aineen kanssa käytettäväksi. Muita tutkittavia pintakäsittelyaineita olivat mm. parafiini, paperiteollisuuden pasta ja akrylaattimaali.

Koko käytännön tutkimusprojektin voi jaksottaa neljään osaan: tutustumiseen ja perehtymiseen, tutkimiseen ja vakioittamiseen, tuotantoon ja viimeistelyyn.

Tutustumisessa ja perehtymisessä tutustuttiin olemassa olevaan materiaaliin kuumamuovaukseen liittyen sekä laitteistoon, jolla kokeet suoritettiin. Tämän lisäksi aloitettiin testaukseen tarvittavan materiaalin hankinta ja prosessia varten tehtävät esisuunnittelut, jotka koskivat kappaleiden dimensioita, kuivausaikaa ja optimaallisinta suoritustapaa.

Tutkimisessa ja vakioittamisessa tarkasteltiin ja testattiin kahdella eri kappaledimensioilla optimaalisinta koekappaleen kokoa, jota jatkossa käytettäisiin. Myös eri liimojen soveltuvuutta kuumamuovaukseen tutkittiin.

Tuotannossa keskityttiin kappaleiden jatkuvaan valmistukseen, ja samalla optimoitiin puristukseen käytettävää voimaa, kuivaukseen tarvittavaa aikaa ja eri liimojen soveltuvuutta kuumamuovauksen aikana. Viimeistelyssä keskityttiin eri pintakäsittelyaineiden soveltuvuuksiin kuumapuristusta käyttäen.

4.1 Projektin kulku

Seuraavassa osiossa käydään ajallinen kuvaus projektin neljästä eri vaiheesta. Osioissa kuvataan, kuinka projekti käynnistyi ja eteni, mitä ongelmia ilmeni ja minkälaisilla ratkaisuilla niistä selvittiin. Testikappaleiden mitoitussuunnitelmat, varsinaiset suoritustoimenpiteet ja testien lopputulokset käydään läpi tutkimuskohteet-osiossa.

4.1.1 Tutustuminen ja perehtyminen

Ennen koko testauksen aloittamista oli ihan ensimmäiseksi tutustuttava aiheeseen liittyvään materiaaliin ja suoritustoimenpiteisiin. Keskeisin olemassa oleva tekstimateriaali oli peräisin vuoden 2011 kevään aiheeseen liittyvistä Leo Lähteisen ja Eero Kahilaniemen tekemistä testeistä ja näiden raporteista. Myös projektin vetäjä Matti Kukkonen jakoi omia tekstejä ja materiaaleja, jotka liittyivät aiheeseen. Varsinaista aiheeseen liittyvää kirjallisuutta ei voitu hyödyntää, sillä vastaavanlaisessa tapauksessa ei ole käytetty kuumamuovausta. Kevään 2011 raportti oli riittävän perinpohjainen pohjatietolähde, ettei perustiedoissa tarvinnut arvuutella. Tämän lisäksi Leo Lähteinen oli suurimman osan aikaa koulun tiloissa, mikäli tarvitsi apua tai opastusta.

Materiaalin ohessa saatiin myös varsinainen tehtävänanto, mitä lähdettiin tutkimaan. Päätavoitteena oli suunnitella ja tuottaa Solidiwood -palkki niin, ettei rakenteen keskellä olevaa reikää tuettaisi puristuksen aikana. Kun ns. kultainen keskitie olisi löydetty, tuli keskittyä projektin toiseen tavoitteeseen eli eri pintakäsittelyaineiden soveltuvuuteen Solidiwood -tuotteessa ja kuumapuristuksessa. Tässä painotettiin etenkin vesilasin jatkotutkimusta, joka oli aloitettu keväällä 2011. Kolmas tavoite tuli mukaan projektiin myöhemmässä vaiheessa, ja tässä oli tarkoituksena valmistaa asennusvalmis ja valmiiksi sivu-uritettu terassilautanäyte mahdollisimman lyhyessä ajassa.

KUVIO 2. 1-sylinterinen lämpöpuristin.

KUVIO 3. Puristimen käyttöpaneeli.

Testeihin käytettävän 1-sylinterisen hydraalilämpöpuristimen käyttöön ei tarvittu suurempaa perehtymistä, sillä koneen periaatteellinen toiminta oli melko yksinkertainen. Koneeseen lyötiin virrat päälle pääkatkaisijasta ja lämmöt puolestaan erillisestä napista ohjauspaneelissa. Lämpöasteita pystyttiin säätelemään noin 10 °C:n tarkkuudella, ja vastelevyjä pystyttiin myös teholämmittämään. Tällä tarkoitetaan lämmön nostamista vasteissa nopeammin. Puristuspaine säädettiin erillisestä mittarista, jossa tuli rajaviisareita siirtämällä määrätä puristuksen ala- ja yläraja. Alaraja oli painemäärä, jolla puristin saisi puristaa vähintään, ja yläraja puolestaan painemäärä, jonka yli puristuspaine ei nousisi paineen lisäyksessä. Puristusta pystyi myös ohjaamaan manuaalisesti avaamalla erillisen öljyputken ja lukitsemaan halutun painemäärän koneen toisesta, erillisestä sähköpaneelista.

Pientä ongelmallisuutta oli tapahtua alkuvaiheessa, kun puutavaran hankkiminen ei ollut onnistua. Koulun omissa varastoissa ei ollut riittävän tuoretta kuusilankkua tai -lautaa, joita oli tarkoitus käyttää tulevissa testeissä. Ongelmaksi muodostui oikean yhteyshenkilön löytäminen asian tiimoilta, mutta lopulta kolmen viikon jälkeen saatiin Leo Lähteisen avulla oikean henkilön

sähköpostiosoite tietoon, ja muutaman päivän kuluessa tuosta hetkestä oli saatu riittävästi puuta testien aloittamiseen.

4.1.2 Tutkiminen ja vakioittaminen

Jo testien alkuvaiheessa tuli huomattavia ongelmia koskien kuumapuristimen paineen säätöä ja ylläpitoa. Kone ei automaattipuristuksen aikana kyennyt ylläpitämään yli 10 bar:in painetta. Tämä ilmeisesti johtui koneen sylinteristä, joka oli todennäköisesti vuosien saatossa vääntynyt niin, että koneen antama paine purkaantui tiivisteiden välistä. Tästä aiheutui puristimen nykivä edes-takain liike, joka ei testien epäonnistumisen lisäksi olisi ollut pidemmän päälle koneelle

KUVIO 4. Puristimen manuaaliohjaus

hyväksi. Alle 10 bar:in paineet eivät olisi puolestaan riittäneet testeissä pitkässä juoksussa, sillä suurempia tasaisempia paineita olisi tultu tarvitsemaan. Ratkaisu saatiin paineen manuaaliohjauksesta, joka tosin ei ollut aukoton ratkaisu. Vaikka näin saatiinkin painetta pidettyä 10 bar:ia korkeammissa arvoissa, pääsi painetta häviämään lyhyessä ajassa sen verran, että sitä piti säätää takaisin korkeammalle paineensäätömittarista. Tämä esti paineen varovaista ja tasaista nostamista, joka tuotteiden puristuksessa on parhaan mahdollisen lopputuloksen kannalta avainasemassa. Tämä oli ongelma, johon ei voitu vaikuttaa, joten sen kanssa piti vain elää ja suoriutua niin hyvin kuin mahdollista.

Kun puristimen sielunelämä alkoi lopulta valjeta, päästiin perehtymään varsinaisiin testeihin. Testejä suoritettiin kolmella eri puristustavalla. Ensimmäinen oli kokoaikainen kevyt puristus, jossa käytetty painemäärä oli n. 4-7 bar:ia. Kuivumisesta huolimatta tämä ei toiminut kappaleen kieroutumisen takia: puristusvoimat eivät riittäneet kuolettamaan jännityksiä, vaikka hetkellisesti kappaleet pysyivät suorina.

Toinen tapa oli kokoaikainen voimakas puristus, missä paine nostettiin 10 bar:sta aina 25 bar:iin. Tällä tavalla tuloksena saatiin suorempia ja tasaisempia pintoja, mutta ongelmaksi muodostui odotetusti liiallinen murtuminen. Tämä korostui etenkin Solidiwood -palkkirakenteen kohdalla, missä äkkinäiset suuret puristusvoimat olivat liikaa lapepintojen ponttiliitoksille. Kyseiseen tapaan ei perehdytty muutamaa toistoa pitempään, sillä tällä suorituksella haluttiin ainoastaan nähdä, mitä puristusvoimia kuusiaihiot kestäisivät tulevia testejä silmällä pitäen.

Kolmas ja lopullinen puristustapa oli asteittainen paineen lisäys tietyin väliajoin. Tässä yksinkertaisesti lähdettiin matalista puristuspaineista ja noustiin portaittain korkeampiin paineisiin, kunnes puuaines oli suurimmaksi osiksi kuivunut, ja puristunut ja muovautunut tavoitepaksuuteen ja -muotoon.

4.1.3 Tuotanto

Tuotanto-osiossa keskityttiin vain lopputuotteiden volyymiin. Vaikka kehitysprosessia jatkui tuotannon aikana, keskittyi tämä vain lähinnä paineen säätelyyn ja kuivausajan muuttamiseen riippuen testikappaleiden kosteudesta ja paksuudesta.

Samalla alettiin pohtia ja neuvotella Kukkosen kanssa, mitä kaikkia pintakäsittelyaineita valmiille tuotteille aletaan kokeilla. Joitain pintakäsittelykokeita tehtiin tuotannon ohessa osion loppuvaiheessa ennen varsinaista viimeistelyosiota.

4.1.4 Viimeistely

Viimeistelyssä keskityttiin vain valmiiden lopputuotteiden pintakäsittelykokeisiin.

Solidiwood-palkkikappaleissa oli ilmennyt ongelmia puun elämisen suhteen. Etenkin tuotannon loppusuoralla valmistetut palkit olivat vetäytyneet tiimalasimaiseen muotoon, mikä kielii siitä, että osa puun sisuksista oli jäänyt kosteaksi ja kuivausaikaa oli lyhennetty liikaa. Tästä syystä tuotteiden lapepinta ei pysynyt tasaisena, eikä pintakäsittely näille kappaleille onnistunut tällaisenaan. Ongelma jouduttiin kiertämään hiomalla lapepinta tasaiseksi kanttihiomakoneella.

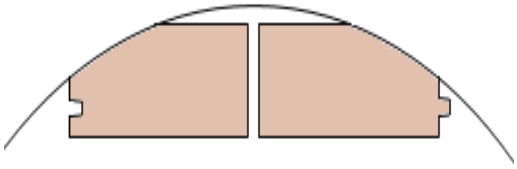
4.2 Tutkimuskohteet

Näyttötyön päätutkimuskohteet olivat Solidiwood -palkkirakenteen optimikoon löytäminen ja toteuttaminen, tämän onnistunut pintakäsittely kuumapuristusta hyväksi käyttäen ja myöhemmässä vaiheessa prosessia tullut terassilaudan valmistaminen kuumamuovauksen avulla. Jokaisen tutkimuskohteen kohdalla oli löydettävä sopiva puristus- ja muovausaika puuaineksen ja pintakäsittelyaineiden kuivumisen kannalta, sopiva puristuspaine puun ja aihioiden rikkoutumista välttäen, ja löytää pintakäsittelyaineet, jotka soveltuisivat kuumapuristukseen. Märät aihiot kuivattiin ohuiden rosterimetallilevyjen välissä aihioiden tasaisen pinnan saamiseksi. Pintakäsittelyssä puolestaan käytettiin silikonimattoja, sillä se myötäili kappaleiden muotoa paremmin ja antoi anteeksi mahdollisia pinnan epätasaisuuksia. Silikonimatot estivät myös paremmin pintakäsittelyaineiden palamista puristuspintoja vasten, esimerkiksi verratessa rosterilevyyn. Silikonimatot olivat myös helpompi puhdistaa. Puhdistukseen riittivät vesi ja astianpesuaine.

4.2.1 Solidiwood -palkkirakenne

Solidiwood -palkkirakenne koostuu neljästä samankokoisesta profiloivasta sahauksesta tulevista saheista eli komponenteista. Näistä muodostetaan palkin muoto niin, että jokaisen komponentin vajaasärmäinen sivu asetetaan palkin sisintä kohti. Näin palkkiin muodostuu palkin läpi vievä reikä, joka on

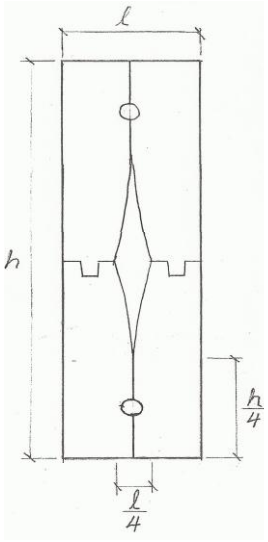
timanttimaisen muotoinen. Kappaleiden vajaasärmän sivuun ajetaan alajyrsintä käyttäen pontti: kahteen kappaleeseen urospontti, kahteen naaras.



KUVIO 5. Palkin osat tukissa.

KUVIO 6. Palkkirakenne

Keskireikä itsessään toimii hyvänä kosteuden poistokanavana kuivauksen yhteydessä, mutta tätä tehostaakseen kappaleiden vajaasärmän lappeelle ajettiin myös kovera ura. Tämä muodosti pyöreän tai ovaalin muotoisen reiän palkin lävitse. Edellytyksenä näiden urien toimivuudelle oli, ettei liimaa käytettäisi liian paljon, jolloin urat pysyisivät puhtaina. Myös puristuspaine ei saisi olla liian suuri muovauksen alkuvaiheessa, sillä kappaleen puristuessa lopulliseen paksuuteen reiät umpeutuvat. Kääntöpuolena liiman reilulle käytölle kuitenkin on, että tällöin ura toimisi hyvänä valuliiman kerääjänä etenkin sivujen ollessa sivupuristuksessa ummessa. Samalla liimapinta-ala kasvaisi hieman.



KUVIO 7. Alkuperäinen palkkirakenne

Kevään 2011 testeissä palkkirakenteessa oli kokeiltu mittoja, jotka eivät olleet suotuisia palkin muodon säilymisen kannalta. Kaivattu muoto saatiin vain keskireiän tukemisella puristuksen ja jäähtymisen ajan. Kyseisessä tapauksessa keskireiän koko oli seuraavanlainen: reiän koko oli palkin paksuudesta neljännesosa ja leveydestä puolet. Koska kyseinen rakenne ei toiminut ilman reiän tukemista, oli reiän kokoa kavennettava. Tästä johdettiin idea, että osien sisälappeelle tehtäisiin kosteudenpoistourat, ettei tarvittavasta tukipinta-alasta tarvitsisi luopua.

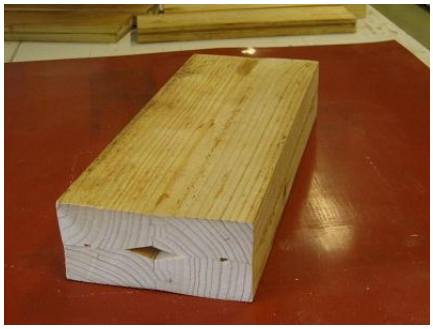
Ennen palkkimallien massavalmistusta kokeiltiin kahta reikäkokoa, joista suotuisampaa alettaisiin käyttää tulevissa esimerkeissä. Aihion kooksi päätettiin 60 x 120 mm, jolla jäljiteltiin perinteistä 2/4 -palkkiratkaisua. Näin ollen yhden osan mitta oli 30 x 60 mm. Mitta koski tuoreaihiota, koska lopputuotteessa palkin lujuusarvojen oletettiin vastaavan tuoreaihion mittojen arvoja. Ensimmäinen reikäkoko oli 15 x 50 mm, eli palkin mitoista ¼ -osa paksuudesta ja vajaa puolet (5/12) leveydestä. Tätä kokoa kokeiltiin siksi, koska korkeudessa rajoitetun reiän ansiosta voitiin kokeilla isompia 8 millimetrin ponttiliitoksia. Tällä toivottiin kompensaatiota sisälappeiden pienemmälle tukipinta-alalle. Se myös jäljitteli paremmin sitä, että palkin osat olisi otettu lähempää tukin reunaa missä vajaasärmäisyys ei olis niin jyrkkä lappeen suunnassa. Toisen reiän koko oli 20 x 40 mm, eli 1/3 -osa palkin paksuudesta ja sama osuus leveydestä. Tässä ponttiliitoksena käytettiin 6 millimetrin jyrsintää, ja vajaasärmän lape sai suuremman tuki- ja liimapinta-alan. 8 mm:n pontin syvyys oli 12 mm ja 6 mm:n 10 mm. Reikien koot käyvät ilmi alla olevasta taulukosta.

TAULUKKO 1. Testikappaleet

Kappale	Keskireikä	Sivureiät
1	20x40	4
2	15x50	4
3	20x40	6
4	15x50	6

Testausten myötä päätettiin käyttää reikäkokoa 20 x 40 mm, sillä kyseisellä koolla vältyttiin paremmin palkin lapekoveruudelta eli ns tiimalasi-muodolta. Pikkureikien koolla ei ollut suuremmin merkitystä, kunhan ne vain olivat. Kokona alettiin käyttää loppujen lopuksi n. 5 x 6 mm:n reikiä, jotka jyrsittiin alajyrsimellä. Reiän koko selittyy jyrsimellä saatavasta ovaalimuodosta. Puristimen lämpö asetettiin 160 ºC:een ja kokonaispuristusaika oli aluksi 3,5 tuntia, mikä lyhennettiin myöhemmässä vaiheessa 3 tuntiin. Puristustapa oli vaiheittainen paineen nosto. Paineen suuruus vaihteli testien välillä, mutta peruspaineet ja -ajat olivat 4-6 bar:ia ensimmäisen 20-30 minuutin ajan, n. 8-15 bar:ia aikavälillä 30-120 minuuttia. Loppuajan pyrittiin pitämään n. 6-12 bar:in puristuspaine, sillä tähän mennessä puuaines oli puristunut tavoitepaksuuteen, ja tarkoituksena oli enää pitää aihio jäähtymiseen saakka puristuksessa. Vaikka aihio olisi puristunut enemmän kasaan, pidettiin paksuus 55 mm:ssä siltä varalta, ettei aihio murtuisi.

Ensimmäisissä testeissä kappaleen liimauksissa oli käytetty tavallista kosteuden kestävää puuliimaa Kiillon B3 PVAc-dispersioliimaa. Näistä kuitenkin kävi selväksi nopeasti, ettei se soveltunut kuumapuristukseen hyvin, sillä märän puun ja korkean lämpötilan takia liimaliitoksesta ei tullut luja. Liimaukseen päätettiin kokeilla 1- ja 2-komponenttista polyuretaaniliimaa. Ensimmäinen oli jälleenmyyjiltäkin saatava Kiillon D4-polyuretaaniliima, mutta 2-komponenttista jouduttiin hankkimaan koulun ulkopuolelta testejä varten. Sitä saatiin Mikkelin Ammatti-instituutin puutöiden opettajalta Ari Uotilalta, jolta myös konsultoitiin eri pintakäsittelyaineista myöhemmässä vaiheessa prosessia. D4-liima oli näistä kahdesta parempi vaihtoehto, sillä sen alttius kosteudelle takasi joustavamman liimasauman kuivumisen. Ongelmana kuitenkin oli, että pieni määrä liimaa ei riittänyt pitämään liitoksia lujina, ja näin ollen lopputulos oli sotkuinen ja palkkiin

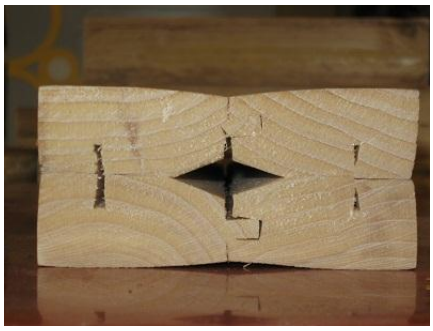


KUVIO 8. Höylläämätön kuumapuristettu palkki.

KUVIO 9. Höylätty kuumapuristettu palkki.

tehdyt pienet reiät täyttyivät liimasta. Tämän takia puuaines ei kuivunut toivotun nopeasti puun sisuksissa. 2-komponenttinen polyuretaaniliima oli käytännössä kaksikosta lujempi vaihtoehto, minkä takia sitä haluttiin kokeilla. Sen kuivumisnopeus on suoraan verrannollinen käytössä olevaan lämpötilaan, ja tämän lisäksi kosteus edesauttaa liiman kuivumista. Nämä olivat kuitenkin prosessin suurin kompastuskivi, sillä liimasauma kuivui liian nopeasti. Liitos oli kuivunut jo ensimmäisen 15-20 minuutin aikana, minkä jälkeen kappaletta puristaessa ja kappaleen kuivuessa liimasauma murtui suurella todennäköisyydellä ennen kuin tavoitekuivumisaika oli saavutettu.

Palkkitestien lopputulokset olivat hieman ristiriitaiset. Siinä missä keskireiän optimoinnissa ja puristuspaineiden säätelyssä onnistuttiin, kuivausajassa testit menivät pieleen. Kuvio 11:sta näkyy miten isoille osille palkeista kävi 2-3 viikon jälkeen puristuksesta. Lopputulos johtui siitä, että palkkirakenteen sisus oli jäänyt vielä kosteaksi, ja näin ollen 3-3,5 tunnin kuivumisaika ei ollut riittävä. Ongelma olisi voitu korjata pidemällä puristusajalla tai rei'issä olevan kosteuden ilmanvaihdolla esimerkiksi paineilman avulla.



KUVIO 10. Pikkureiät sirkkelillä.

KUVIO 11. Palkki kolme viikkoa puristuksesta.

4.2.2 Terassilauta

Terassilautatestit tulivat mukaan myöhemmässä vaiheessa projektia. Tarkoituksena oli tutkia kuumapuristuksen suomaa mahdollisuutta valmistaa terassilautaa tuoresahatusta laudasta valmiiksi tuotteeksi ja mahdollisimman nopeasti. Normaalisti tämä kestäisi yhdestä kahteen päivään perinteisellä kamarikuivauksella. Lisäaikaa ja -kustannuksia syntyisi mittaan sahauksesta ja höyläyksestä, ja materiaalihävikki olisi suurempi puun omien vikojen, kuten

käyryyden ja korkkiruuvisuuden takia. Kuumamuovauksella lopputuote olisi valmis vain muutamissa tunneissa, jopa pintakäsittelyn kanssa. Oletuksena oli, ettei erillisiä raakasahauksen jälkeisiä sahauksia ja höyläyksiä tarvittaisi. Tämä syystä, että oikein mitoitetun raakasahauksen jälkeen lauta kuumamuovattaisiin loppumittoihin kuivauksen ohessa. Ihannetapauksessa lauta voitaisiin profiloida yksinkertaisilla urituksilla, kanttauksilla tai pyöristyksillä kuivauksen aikana. Terassilaudan mallikappaleisiin päätettiin lisätä sivu-uritus kuumapuristusta käyttäen, sillä sen oli todettu onnistuvan käytössä olevilla laitteistoilla kevään 2011 testeissä Solidiwood -palkkirakenteessa.

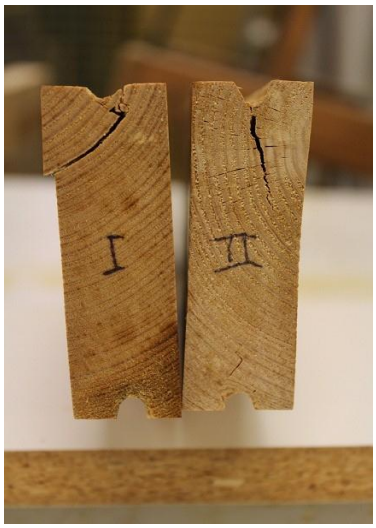
Tarkoituksena oli valmistaa 25 mm:n paksuisesta aihiosta 20 mm paksu lopputuote, jonka leveys olisi joko 75, 100 tai 125 mm. Materiaalin säästämiseksi valittiin 75 mm leveät kappaleet. Erillisellä sivupuristuksella piti laudoille muovata vielä koko pituuden kattavat sivu-urat halkaisijaltaan 5 mm:n rautatankoa käyttäen. Jotta kappale ei puristuisi 20 mm:ä ohuemmaksi, oli käytössä kyseisen paksuiset metallitangot estämässä lisäpuristuksen.

Ensimmäisissä testeissä otettiin selvää, millä paineilla ja paineen jaksottamisilla lautoja tulisi puristaa. Samalla tutkittiin, voivatko märät puuaihiot puristua vaadittua 5 millimetriä. Koska laudassa ei ollut palkin kaltaisia murtuvia

KUVIO 12. Valmis terassilauta.

rakenteita ja märkä puuaines oli melko muovautuvaa, voitiin puristuksessa vapaammin käyttää suurempia puristuspaineita verrattuna Solidiwood -palkkiin. Jo puristuksen alussa voitiin käyttää 10 bar:ia ilman ongelmia ja painetta pystyttiin lisäämään hieman huolettomammin. Samalla paineen lisäyksen jaksottamisella ei ollut niin suurta merkitystä verrattuna palkkirakenteeseen.

Ainoastaan alussa katsottiin hyväksi lämmittää lautakappale pienemmällä n. 10 bar:in paineella 15 minuutin ajan, minkä jälkeen paineen pystyi nostamaan 15 ja peräti 20 bar:iin ja ylläpitämään tässä aina kappaleen kuivumiseen saakka. Oli kuitenkin varottava lisäämästä painetta liikaa kuivauksen loppuvaiheessa, sillä kuiva puuaines tunnetusti on herkempi murtumaan kuin märkä. Tämän lisäksi huomattiin, että mikäli puristuspainetta käytettin yli 30 bar:n voimassa, lautakappale murtui sitä suuremmalla todennäköisyydellä syiden mukaisesti. Tämä murtuma ei enää umpeutunut samalla tavalla kuin syynsuunta vastaa syntyneet halkemamat.. Testien perusteella alettiin jatkossa käyttämään seuraavanlaista paineen jaksottamista: ensimmäiset 15 -30 minuuttia lautaa puristettiin n. 8-10 bar:n voimalla, minkä jälkeen paine nostettiin ja ylläpidettiin 15-20 bar:ssa loput 90 minuuttia. Mikäli kappale näytti vielä kahden tunnin puristuvan kasaan ilman suurempia murtumia, jatkettiin puristusaikaa vielä 30 minuutilla puusepän kuivan lopputuloksen varmistamiseksi. Kappaleet ehtivät tässä ajassa kuivua jo niin paljon, ettei näitä tarvittu jättää jäähtymisen ajaksi puristuksiin vaan olivat saman tien valmiita jatkotoimenpiteisiin ja viimeistelyyn.



Kuvio 13. Epäonnistuneet profiilit.

Prosessin ensimmäisessä vaiheessa ilmeni ensimmäinen epäkohta, johon ei voinut vaikuttaa ilman lopputuotteen pilaamista. Päämääränä oli puristaa kappale 20 mm:n paksuuteen 25mm:stä, mutta tämä oli käytännössä mahdotonta. Ilman kappaleen murtumista lauta puristui kasaan vain 2,5 - 3,5 mm. 3,5 mm oli ehdoton

maksimi niin mänty- kuin kuusilaudan kohdalla, eikä siinä vaikuttanut kappaleen alkukosteus mitenkään. Toimenpidettä testattiin tuorekosteiden, eli kosteusprosentin ollessa n. 79 - 81 % ja varastokosteiden, n. 50 – 65 % lautojen kanssa. Toimenpide testattiin myös varastokosteiden kappaleiden uudelleen uittamisessa, joissa kappaleet upotettiin vesiastiaan kahdeksi vuorokaudeksi. Loppupuristumaan ei tullut muutosta. Terassilautojen alkupaksuus laskettiin tästä syystä 23 millimetriin.

KUVIO 14: Valmis terassilauta.

Prosessin toisessa osiossa tuli profiloida lautojen sivuihin ura. Alusta asti oli selvää, ettei profilointia voitu suorittaa heti lapepuolen puristusten perään, sillä puuaines oli aivan liian kuivaa. Tästä syystä kappaleiden sivupuolet upotettiin 5-10 minuutiksi veteen ennen kuin toimenpide aloitettiin. Ihannetilanteessa kyseistä välitoimenpidettä ei tulisi olemaan, sillä tulevaisuudessa olisi tavoitteena valmistaa laite, joka puristaisi kappaletta kaikilta sivuilta yhtä aikaa. Ajatuksena olisi näin lisätä sivupuristuksiin profiilikomponentit, joilla muovataan mm. urat kappaleeseen kuivauksen ohessa. Sivujen muovauksessa tuli käyttää matalia puristuspaineita. Prosessi oli kyllä ohi 15 minuutissa, mutta tässä toimenpiteessä tuli varoa, ettei käyttäisi yli 5 bar:n voimaa puristuksessa. Tällainen lopputulos näkyy kuviossa 14. Tämä ei upottanut metallitankoa täysin puuhun ensimmäisellä puristuksella, mutta sekin onnistui lopulta niin, että puristimen avasi ja sulki uudestaan 3-5 minuutin välein pyrkien pitämään jokaisella puristuksella paineet matalalla. Jotta sivut pystyttiin pitämään tasaisina ja estämään laudan murtumista, puristettiin lauta kahden yhtä leveän MDF-levyn väliin tavallisien kierrepuristimien avulla. Vaikka tarpeeseen olisivat sopineet vastaaviin mittoihin

leikatut metallilevyt paremmin, antoivat MDF-levyt riittävän hyvän tuen murtumisen estämiseksi. Oli kuitenkin suotavampaa puristaa useamman laudan sivu kerralla, sillä mitä suurempaa pinta-alaa puristimen vasteet puristavat niin sitä varmemmin pystytään välttämään lautojen murtumista. Prosessissa päädyttiin lopulta puristamaan kolmea lautaa kerralla, sillä sen verran mahduttiin puristamaan aina yhdellä työstöllä, ja sillä määrällä saatiin riittävän tukeva aihio sivujen profiilien muovaamiseen. Prosessissa sivut kostutettiin ja puristettiin aina yksi puoli kerrallaan.

KUVIO 15. Onnistuneen mäntylaudan pinta.

KUVIO 16. Liian voimakkaasti puristetun mäntylaudan pinta.

Terassilautatestien loppupuolella piti tehdä esimerkkikappaleet, jotka olivat 150 mm leveät mäntylaudat. Kuuseen tottuneena männyn käyttäytyminen oli selkeästi erilaista. Siinä missä kuusi kosteana painui kasaan murtumatta jopa 3,5 mm, mänty alkoi suuremmalla todennäköisyydellä murtua, kun puristusta oli tapahtunut 3 mm:ä. Tämä selittyy todennäköisesti sillä, että männyn puristamiseen tarvitaan suurempi puristusvoima. Mäntylaudan puristus saattoi tosin loppua jo aiemmin, jos kappale oli otettu läheltä puun ydintä. Lauta ei puristunut tasaisesti vaan ainoaksi sileäksi osaksi jäi ytimen kohta laudasta siinä missä ydinpuusta loitonevat pinnat kuivuivat kasaan puristumisen sijaan. Näissä kohdissa raakasahauksessa syntyneet sirkkelin jäljet jäivät korostetusti näkyviin. Positiivisena puolena voidaan tosin todeta, ettei normaalissa sydänpuukappaleen kuivauksessa esiintyvää sydänhalkeilua tapahtunut. Mäntylaudassa ilmeni myös

ilmiö, mitä kuusen kanssa ei ollut tapahtunut. Jos puristuksen vapautti kesken kuivauksen, alkoivat mäntylaudat poksahdella. Syy on todennäköisesti se, että puristuksessa olevan mäntylevyn syihin jääneen kosteuden haihtuessa vesihöyry ei pääse purkautumaan yhtä samaa tahtia kuin sitä syntyy. Poksahdukset ovat seurausta paineen purkautumisesta, kun puristusta vähennetään. Pihka ja pihkataskut saattavat edesauttaa paineen kerääntymistä. Poksahdus voi olla niinkin voimakas, että se halkaisee kappaleen syyn kohdalta, jossa purkaus tapahtuu.

4.2.3 Pintakäsittely

Pintakäsittelyn edellytyksenä projektissa oli, että sitä ei suoritettaisi perinteisellä tavalla vaan kuumapuristusta käyttäen. Tavoitteena oli saada näyttävä ja ominaisuuksiltaan samanlainen pinta, jolla syntyisi perinteisiä levitys- ja kuivaustekniikoita käyttäen. Valttina kuumapuristuksen kanssa oli nopeus, sillä normaalissa tilanteessa aineiden imeytymis-, tarttumis- ja kuivausaika venyisivät tunneista päiviin, mutta kuumapuristuksessa sama tapahtuisi muutamissa kymmenissä minuuteissa. Erona kuitenkin oli pinnan laatu: Solidiwood -tuotteissa haettiin pintaa, joissa lopputulos lappeella ei ollut sileä eikä tasainen vaan puun syynkuvioita ja oksakohtia myötäilevä. Kevään 2011 testeissä oli havaittu, että pehmeää Silikoni-mattoa puristuslevyn ja aihion pinnan välissä käyttävässä kuumamuovauksessa pehmyt kevätpuu oli ilmeisesti imenyt kosteampaa pintakäsittelyainetta enemmän kuin tiivis kesäpuu, muodostaen näin ainutlaatuisen pinnan, joissa se oli vielä lisännyt kesäpuun syynkuvioiden koholle jääntiä.

Kokeet suoritettiin jo kuumamuovattuihin lopputuotteisiin, niin terassilautoihin kuin Solidiwood -palkkituotteisiin. Kuumamuovauksen jälkeen tuotteiden pinta oli kovan puristuksen takia normaalia kovempi, mutta pinnan altistuminen jatkuvalle kosteudelle kovuus katoaa ja pintakäsittelyaineiden imeytyvyys ja tarttuvuus puuhun palaa normaaliksi.

Kaikilla pintakäsittelyaineilla oli samat olosuhteet keskenään lukuun ottamatta kuumumisaikaa. Kaikki puristettiin silikonimattojen välissä 160 ºC:n

lämpötilassa. Kuumentumisaikaa vaihdeltiin 10 ja 20 minuutin välillä. Esimerkiksi vesipetsin kuivumisessa tarvittiin käyttää vain minimiaikaa. Sitä vastoin vesilasin ja pastan kanssa kuumennusta venytettiin varuilta 15-20 minuuttiin, jotta aine kuivuisi varmasti riittävästi. Puristuspainetta kokeissa oli 7-12 bar:ia, riippuen siitä oliko puristettava kappale palkkirakenne vai terassilautanäyte.

Tutkimuksessa käytetyt aineet olivat vesilasi, terva, vesipetsi, paperiteollisuuden pasta, akrylaattimaali, palonestomaali, parafiini ja etenkin vesilasin eri seokset muiden aineiden kesken.

Vesilasi: Vesilasista puu sai kuumapuristuksen jälkeen kiiltävän pinnan. Vesilasin piti kuitenkin olla pitoisuudeltaan suurempaa kuin normaalisti myytävä kivipintojen 30 % vesilasiliuos, koska muuten puu ei saa tätä lasimaista pintaa. Varmimmin parhaan pinnan sai uittamis- ja valutusmenetelmällä. Esimerkiksi siveltimellä vedettäessä pinnalle ei välttämättä saanut siveltyä tasaisen paksua kerrosta siveltyä, jolloin pinnan ohuisiin kohtiin ei muodostunut kiiltävää pintaa. Mikäli vesilasi ei levity tasaisesti pinnalle, voi myös puristuspaineen lisäämisellä saada pintaa tasaisemmaksi. Tämä on kuitenkin tehtävä puristamisen alkuvaiheessa, sillä vesilasi jähmettyy ja kuivuu melko nopeasti ja lämpö edesauttaa tätä veden haihduttamisella. Varmimmin tasaisen pinnan saa uittamalla lappeet vesilasiastiassa ja valuttamalla enimmät nesteet pois.

KUVIO 17. Palkki vesilasipinnalla.

Terva: Kuumapuristuksen aikana iso osa ylijääneestä tervasta valui kappaleen reunojen yli. Tästä huolimatta terva imeytyi puun pintaan ja säilytti tervan tumman värin. Tervan ominaisuuksien säilymiseen perehdytään myöhemmin läpikäytävässä osiossa.

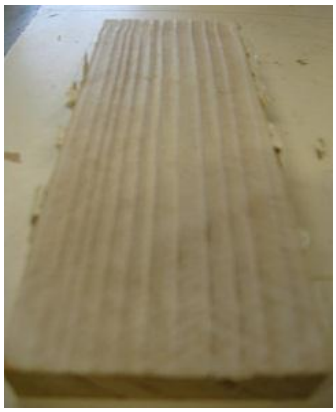
KUVIO 18. Kuumapuristettu tervapinta.

KUVIO 19. Tavallisesti tervattu pinta.

Vesipetsi: Kuumapuristuksella saatiin petsin kuivuminen nopeutumaan. Puristus ei vaikuttanut pinnan ulkonäköön, sillä edellytyksellä, että petsi levitettiin tasaisesti. Oksakohdissa voi ilmetä värin epätasaisuuksia.

KUVIO 20. Vesipetsipinta.

Paperiteollisuuden pasta: Pasta valmistettiin sekoittamalla akrylaattilateksimaalia ja kolmea jauhetta, jotka olivat tärkkelys, kaoliini ja talkki. Kuten kevään 2011 tuloksissa oli huomattu, pasta soveltui hyvin puun pintakäsittelyyn, kunhan jauheita ei lisätty liikaa: noin 90 grammaan maalia oli hyvä sekoittaa vain vajaa teelusikallinen kutakin jauhetta. Pinnasta tuli syynkuviointia lukuun ottamatta tasaisen valkoinen. Aikeena oli myös lisätä vuolukivijauhetta, että pasta saisi hieman kivimäistä pigmenttiä lopulliseen väriinsä. Vuolukivijauheen lisäämisellä toivottiin myös lisäävän



KUVIO 21.
Paperiteollisuuden pasta.

paloestonparanemista. Vuolukivijauheellisen pastan paloeston paranemisesta ei saatu mitään konkreettista tietoa, sillä se ei kuulunut tutkimustavoitteisiin, mutta pigmenttiin se ei vaikuttanut millään tavalla. Pastaan tulisi sekoittaa huomattavan suuri määrä jauhetta, mikäli sen toivoisi saavan vastaavanlaista väristystä lopulliseen pintaan. Liiallisella lisäämisellä puolestaan pasta ei olisi enää juoksevaa eikä niin kappaleen pintaan tarttuvaa, joten vuolukivijauheen käyttö pastassa on todennäköisesti melko turhaa.

Parafiini: Lämpö edesauttoi parafiinin imeytymistä, mutta pinnan ulkonäkö kärsi hieman toimenpiteestä. Pinnan luonnollinen väri himmeni hieman.

KUVIO 22. Kuumapuristettu parafiinipinta.

Akrylaattimaali: Paperiteollisuuden pastan sidosaineena toimiva akrylaattilateksimaali ei puolestaan sovellu itsenäisenä pintakäsittelyaineena kuumapuristukseen, vaikka pinta jäi eri kohdista pastan kaltaisesti tasaiseksi ja siistiksi niin maali tarttui sieltä täältä silikonimattoon kiinni ja repi maalia puupinnasta irti kappaleita ottaessa pois puristuksista.

KUVIO 23. Kuumapuristettu maalipinta.

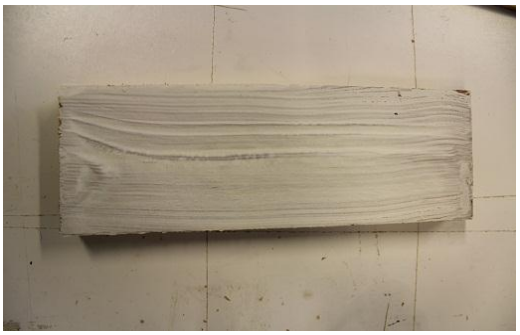
KUVIO 24. Repeily maalipinnassa.

Silikonimattoja yritettiin liukastaa mäntysuovalla tarttumisen estämiseksi, mutta tällä ei ollut vaikutusta. Yhtenä ideana oli liukastaa matot nestemäisellä silikonilla, mutta tässä epäiltiin tapahtuvan niin, että suihkutettu silikoni tarttuisi maalin omaan pintaan. Vaikka tällä tavoin maali ei tarttuisikaan enää silikonimattoon, niin todennäköisesti mikään muu aine ei enää tarttuisi maalipintaan uudestaan, mikäli pintaa ei erikseen hiottaisi. Rajallisten silikonimattojen takia ei haluttu riskeerata myöskään sitä, että nestemäistä silikonia jäisi mattoihin tämän jälkeen, mikä saattaisi vaikuttaa muihin tutkittaviin pintakäsittelyaineisiin.

Palonestomaali: Palonestomaalilla saatiin vielä huonommat lopputulokset kuin akrylaattimaalilla. Lopputuotteen maalipinta oli hyvin ohut maalin puristuessa pinnalta pois reunojen yli ja puun oma väri ei ollut peittynyt maalin alle vaan se kuulti maalin läpi. Palonestomaalia kokeiltiin myös pohjustamalla kappale Aqua Primerilla, jonka pitäisi taata parempi tarttuvuus maalille. Vaikka itse Aqua Primer

tarttui hyvin puuhun kiinni, lopputulos maalin kanssa oli samanlainen kuin ilman Aqua Primeria. Tässä tapauksessa Aqua Primer kuulsi maalin alta.

KUVIO 25. Palonestomaali Aqua Primer-pohjustuksella.



KUVIO 26: Palonestomaali ilman Aqua Primeria.

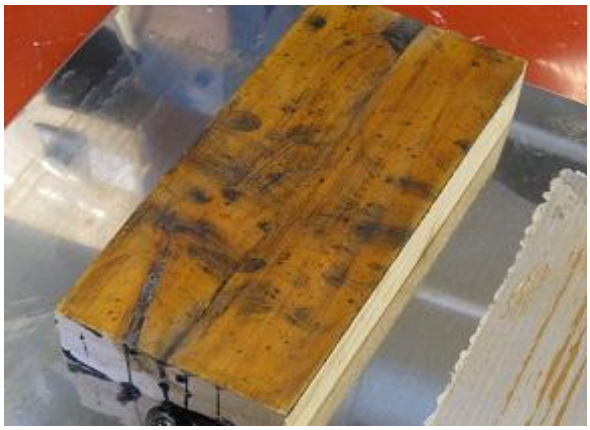
Vaikka tutkimuksessa käsiteltäviä aineita olikin iso määrä, suurin painoarvo oli vesilasin soveltuvuudesta muiden pintakäsittelyaineiden kanssa. Kevään 2011 tutkimuksessa oli saatu selko, että aine soveltuu hyvin puun kanssa, mutta esimerkiksi alustavat testit pastassa akrylaattilateksimaalin korvikkeena olivat osoittautuneet turhiksi. Nyt haluttiin ottaa selville voisivatko vesiohenteiset aineet, kuten vesipetsi, sekoittua vesilasin kanssa niin, että seos toimisi pintakäsittelyaineena.

Vesilasi + parafiini: Seoksen ajatuksena oli yhdistää vesilasin palonestokyvyt, ja parafiinin homeenesto kyky ja hyvä imeytyvyys puuainekseen. Seokselta olisi haluttu, että parafiini olisi kuljettanut vesilasia syvemmälle puuhun, mikä olisi saanut puun palosuojakykyä kasvamaan. Aineet eivät lopulta sekoittuneet keskenään ollenkaan, ja näin pinta jäi todella epäsiistiksi ja rakeiseksi.

Vesilasi + väripasta: Väripasta on ainetta, jolla sävytetään maalit halutuiksi väreiksi. Ajatuksena oli sekoittaa vesiohenteista väripastaa vesilasiin, sillä sanansa mukaisesti vesilasi on veden kanssa ohenevaa. Lopputulos oli huono, sillä pastan värikiteet ei sekoittuneet vesilasin kanssa ollenkaan vaan jäivät ”leijumaan” epätasaisesti seokseen omina pistemäisinä keskittyminä. Mikäli pinnan muoto oli epätasainen, nämä keskittymät valuivat kohtaan, jossa pinta oli koverampi.

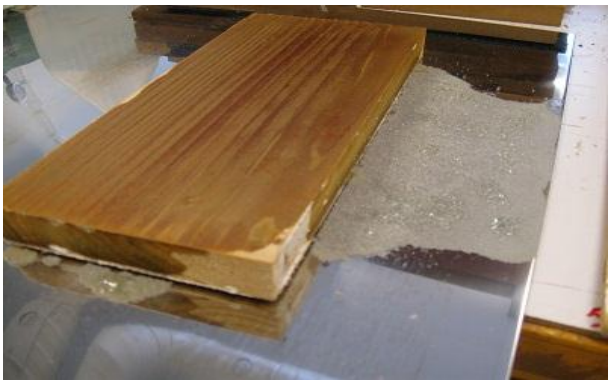
Vesilasi + petsi (jauhe): Ajatuksena oli sävyttää vesilasi petsijauheen avulla, jotta kiiltävän pinnan lisäksi pinnalla olisi värisävy. Sekoitusvaiheessa kuitenkin petsi

ei sekoittunut toivotulla tavalla vesilasiin vaan paakkuuntui sattumiksi sekoitukseen. Vesilasi sai kuitenkin väristä sävyn, joten koetta jatkettiin. Lopputulos oli huono. Pigmnettiä ei jäänyt pientä tummentumaa lukuunottamatta kuumapuristettuun vesilasiin. Sattumien takia pinta jäi sotkuisen näköiseksi, eikä vesilasistakaan jäänyt tämän tunnettua kiiltoa pintaan.



KUVIO 27. Vesilasi + petsijauhe.

Vesilasi + petsi (liuos): Edellisestä kohdasta oppineena, seuraavaksi kokeiltiin toimiiko sävytys valmiilla vesipetsiliuoksella. Lopputuloksessa ei ollut enää jauheen kanssa syntynyttä sotkua, mutta vesilasi ei edelleenkään ollut värjääntynyt. Veden lisäämisen takia vesilasissa ei ollut kiiltävää pintaa.



KUVIO 28. Vesilasi + vesipetsiliuos.

Vesilasi petsin päällä: Koska petsi ei kyennyt sekoittumaan vesilasiin sellaisenaan, haluttiin myös kokeilla em. prosessia petsatun pinnan kanssa. Lopputulos oli huono, sillä vesilasilla on kuumentuessaan taipumus polttaa puun

pintaa tummemmaksi lasittumisen ohessa. Tämä kävi viimeistään tässä testissä selväksi, sillä vaikka pinta sai vesilasimaisen kiillon, ei sen alta pystynyt erottamaan enää petsin antamaa väriä puun tummuttua.

KUVIO 29.
Kuumapuristettu vesipetsi + vesilasi.

Vesilasi tervan päällä: Koska tervan kuivattaminen puun pintaan kuumapuristusta käyttäen oli onnistunut hyvin, kokeiltiin voitaisiko yhdistää vesilasin kiilto tervan tummuuden kanssa. Aluksi kappale tervattiin ja kuumennettiin, minkä jälkeen kappaleen pintaan yritettiin kuumentaa vesilasipinta. Lopputulos oli yllätyksetön, sillä vesilasi oli suurimmaksi osaksi valunut puristuksessa kappaleen reunoilta yli, ja se vähä mikä pintaan oli tarttunut, ei jättänyt vesilasimaista pintaa. Tervaus pysyi ulkonäöllisesti normaalina.

Vesilasi + puupöly (lämpökäsitelty koivu): Viimeisien testipäivien aikana syntyi ajatus puupölyn käytöstä vesilasin pigmentoimiseksi. Ajatuksena oli, että hienojakoisen puupölyn hiukkaset asettuisivat vesilasin lasikiteiden väliin niin, että se loisi illuusion pigmentoituneesta vesilasista. Pölynä käytettiin lämpökäsiteltyä koivua, jota saatiin yksinkertaisesti hiomalla puupalaa kanttihiomakoneella. Lopputulos yllätti positiivisesti, sillä puun pinta oli tummunut normaalia tummemmaksi. Sitä vastoin pinnassa ei ollut vesilasille tyypillistä kiiltävää pintaa vaan tämä oli jäänyt mattapintaiseksi. Lähemmässä

tarkastelussa pystyi erottamaan tummia pisteitä, jotka olivat vesilasiin lisättyjä pölyn hiukkasia.

Vesilasi + puupöly (5 x lämpökäsitelty koivu): Puupölyn onnistunutta käyttöä pigmentoinnissa jatkettiin kokeilemalla tummempaa puuta. Koska varastossa ei ollut luonnostaan lämpökäsiteltyä tummempaa puuta, käytettiin kappaletta, joka oli ollut lämpöuunissa arviolta viisi kertaa. Puuaines kappaleessa oli jo hyvin haurasta ja pinta alkamassa jo hiiltymään. Puun pöly oli tummuudeltaan leivontakaakaon väristä, ja näin toivottiin, että tämä näkyisi myös lopputuloksessa. Yllättävää kuitenkin oli, ettei pinnan pigmentti ollut tummunut

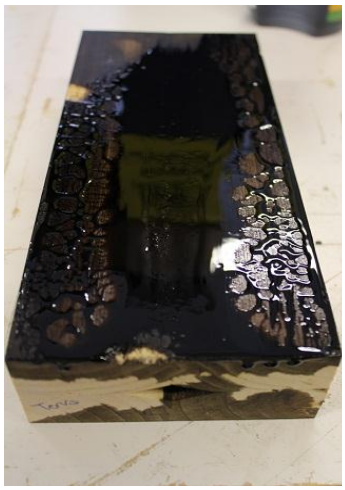
KUVIO 30. Eri vesilasipinnat.

KUVIO 31. 5x lämpökäsitelty puupöly.

paljoa enempää kuin edellisessä testissä. Lopputulos oli vain hieman tummempi pigmentti kuin aikaisemmassakin testissä. Tästä voidaan päätellä, ettei puupölyn tummuudella ole mitään väliä, sillä kaikki pölyhiukkaset värjäytyvät mitä todennäköisimmin vesilasissa olevan veden ja suuren lämpötilan aiheuttamasta palamisesta. Lämpötilan laskemisella voisi mahdollisesti saada erilaisia lopputuloksia, mutta ajan säästämiseksi moiseen urakkaan ei lähdetty. Kuvio 30:ssa ilmenevät pigmentin erot: vasemmalla on kerran käsitellyn lämpöpuun pöly, keskellä viidesti käsitellyn ja oikealla normaali vesilasipinta.

Tervalaudan kosteustesti: Varsinaisten tehtävien ohella tehtiin erillinen testi, jossa haluttiin tutkia tervan ominaisuuksien säilymistä kuumapuristuksen jälkeen. Käsittelemättömällä tervalla puun pinta saa tervalle ominaisen tumman pinnan, mutta jättää normaalioloissa pinnan hyvin tahmeaksi ja alttiiksi mm. pölylle, lialle ja sormenjäljille. Tämän takia pinnasta tulee myös tahriva. Normaalisti kuivumista ja levittämistä nopeutetaan ohentamalla tervaa puutärpätillä tai pellavaöljyllä.

Kuumapuristuksen etuna onkin, ettei tervaa tarvitsisi erikseen ohentaa, sillä lämpötilan lisäyksellä terva notkistuu, jolloin imeytyvyys ja levittyminen helpottuvat. Myös pinnan kovettumisen ansioista pinnan kosteuden sietokyky paranee hieman. Testeissä tapahtumaa parhaiten pystyi kuvaamaan roiskesuojauksena (Kuvio 33). Kosteustesteissä haluttiin ottaa selvää kuinka



KUVIO 32. Esimerkki kuumapuristekappaleen roiskesuojakyvystä.

hyvin roiskesuojaus pinnassa kestää tervan kanssa, ja vertailtiin niin kuumakäsittelemättömän kuin -käsitellyn tervapalojen kosteuden imeytyvyyttä verrattuna tavalliseen kuivaan puukappaleeseen. Testissä kaikki palat olivat samankokoisia, ja ne oli liimattu umpeen sivupinnoilta ja päistä, koska lämpöpuristuksessa ei kyetty puristamaan vaakasuuntaisesti pintoja. Jokainen pala oli kuivattu kuumapuristusta käyttäen. Palat punnittiin puolen tunnin välein kahden tunnin ajan. Lopuksi palat punnittiin kahdesti vuorokauden välein. Puulajina oli kuusi.

. TAULUKKO 2. Kappaleiden painot.

		Paino (g)	
Aika (h)	Käsittelemätön	Kuumatervattu	Perustervattu
0	113,4	115	117,8
0,5	118,7	119,8	122,1
1	120,3	120,7	123,4
1,5	121,6	121,5	124,1
2	121,9	121,8	124,5
24	142	137,4	136,4
48	150,8	144,9	142

Kuten tuloksista nähdään, kuumapuristus paransi tervakappaleen kosteuden imeytymistä samalla tavalla kuin perustervattu kappale. Samalla huomataan, kuinka paljon tavallinen käsittelemätön pala imee paljon nopeammin kosteutta itseensä. Tulokset ovat tervan kannalta selkeitä vielä 48 tunnin vedessä likoamisen jälkeen. Kuumapuristetun tervakappaleen roiskesuojauksen parantumisesta ei

KUVIO 33. Kosteustestipalat.

KUVIO 34. Kosteustestipalat vasemmalta oikealle: normaali, kuumatervattu ja perustervattu.

kuitenkaan löydy mitään viitteitä kyseisillä upotusaikojen välisissä punnituksissa. Pääsääntöisten tutkimusten takia koetta ei uusittu roiskesuojauksen jatkotutkimisten kannalta.

5 YHTEENVETO

Projektin aikana ei ilmennyt suurempia ongelmia, mutta niistä eroon pääseminen takaisi lopputuotteen, joka olisi parempi kuin yksikään projektin aikana tuotettu esimerkkikappale. Ehdoton kehitys tulisi tapahtua laitteistoon. Testit suoritettiin puristimella, jonka paineen säätelyä voisi kuvailla parhaimmillaankin siedettäväksi. Siinä missä ideaalitapauksessa paineen säätely olisi tasaista ”sykähtelemätöntä” puristusta, oli liian monen testin lopputulos vain suuntaa antava korkeiden puristuspainepiikkien takia.

Myös yhtäaikainen sivupuristus pitäisi saada vakioitua prosessiin. Vaikka sivujen laatua saatiin projektin loppua kohden parannettua, olisi enemmän kuin suotavaa saada myös sivuille tasaisesti puristavat tai edes muodossa vankemmin pitävät tasot. Tällä hetkellä sivut jäävät liian vinoiksi epätasaisen puristuksen takia tai puolestaan pursuavat liian heikon puristuksen takia. Ongelmaa voidaan lieventää hieman lapepuristuksen jälkeisellä erillisellä sivupuristuksella, mutta tämä lisää ajankäyttöä huomattavasti siihen nähden, että sama voisi tapahtua lapepuristuksen ohella. Myös puun laatu ei ole ihanteellinen enää jo kerran kuivatussa ja uudelleen kostutetussa puukappaleessa.

Jatkotutkimuksissa tulisi ottaa myös selvää eri puiden suhtautumisesta kuumapuristukseen. Selväksi on käynyt, että iso osa vioista kuoleentuu kuumapuristuksen aikana, mutta kokoonpuristuma muuttuu huomattavasti puun tiheyden muuttuessa. Myös puun käyttäytyminen kuivauksen aikana saattaa muuttua, mikä kävi ilmi em. mäntylautapuristuksessa.

Palkkeja koskevat testit onnistuivat vaihtelevasti. Keskireiän optimikoko saatiin toimimaan niin, ettei keskireikää tarvinnut kuumapuristuksen aikana tukea erikseen. Ongelmaksi kuitenkin muodostuivat liian lyhyt kuivausaika ja osittain huono ilmanvaihto. Palkit jatkoivat kuivumista vielä prosessin jälkeen, mikä aiheutti lopulta niin suurivoimaisen puunaineen kutistumisen, että palkki halkesi heikommasta liimasaumastaan ponttiliitoksista. Lopputuloksen näkee kuviosta 11. Ratkaisu tähän olisi yksinkertaisesti lisätä kuivumisaikaa 3,5 tunnista 4,5-6 tuntiin, jotta rakenne kuivuisi varmasti. Samalla voitaisiin tehostaa kuivumista paineilman avulla, jotta reiässä oleva kostea ja lämmin ilma vaihtumaan.

Pintakäsittelyn osalta kuumapuristus on etujensa puolesta silti nykyisellään hyvin rajoittunutta. Lämmöllä ja puristuksella on useimmissa tapauksissa hyvät edellytykset taata tasainen pinta ja tiukka pinta-aineen tarttuvuus puuhun. Kaikki puuhun imeytyvät materiaalit toimivat toistaiseksi parhaiten, sillä puuhun imeytyessä niillä ei ole vaaraa palaa kiinni puristaviin pintoihin. Tämä jättää testeissä käytetyt silikonimatot myös puhtaammiksi, mikä puolestaan nopeuttaa prosessin uusimista. Hyviä tällaisia aineita ovat myös testeissä kokeiltu parafiini, luonnonmukaiset öljyt, kuten pellavaöljy, sekä oletettavasti liuotinpohjaiset puunkäsittelyöljyt ja -vahat. Jälkimmäisten kohdalla on kuitenkin huolehdittava tehokkaasta ilmanvaihdosta. Opinnäytetyön testeissä liuotinaineita ei todettu viisaaksi käyttää tervaa lukuun ottamatta ollenkaan, sillä testauspaikalla ei ollut riittävän hyvää ilmanvaihtoa.

Maalien kanssa kuumapuristus toimisi teoriassa hyvin, mutta maali tahtoi tarttua testeissä käytettyihin silikonimattojen puristuspintoihin kiinni joistain kohdista. Aluksi ajateltiin, että matto olisi likainen, mutta huolellinen peseminen ja puhdistaminen ei hävittänyt ongelmaa. Myöskään maton liukastaminen mäntysuovalla ei vaikuttanut asiaan mitenkään. Joitain potentiaalisia ratkaisuja voi olla olemassa. Ainakin maalin tarttumisen estämistä puristuspintoihin tulisi tutkia jatkossa kokeilemalla esim. Teflon-, Mylar- ja Bates Relaese Coat -tyyppisiä puristuspintoja.

Vesilasin jatkotutkimuksista voidaan todeta, ettei sitä ole luotu käytettäväksi minkään muun aineksen kanssa, niin seoksena kuin toisen aineen päällä. Kuten tutkimuksissa on osoitettu, ainoastaan puupölyllä saatiin pinnan pigmenttiä tummennettua hieman ilman, että väritys olisi ollut epätasainen. Puupöly kuitenkin eliminoi vesilasille ominaisen lasisen kiiltävän pinnan, ja lopputuloksena oli mattamaisen huokoinen pinta. Vesilasi ei myöskään soveltunut jonkin toisen aineen päälle. Oletuksena on, että vesilasin lasikiteet kuumenevat niin paljon prosessin aikana, että joko se polttaa tai pehmentää alla olevan pinta-aineen. Tästä seuraa joko kuumuuden takia tummunut pinta ilman alkuperäistä väriä (vesipetsi) tai selkokielellä ilmaistuna ”sillisalaatti”, jossa ei ole kummankaan aineen ominaisia ulkonäöllisiä etuja (terva, pasta). Vesilasi myös tarttuu valumina silikonien mattoihin kiinni. Tahrojen raaputtaminen pois ei

itsessään ole vaativa toimenpide, mutta siihen kuluu edelleen aikaa. Puhdistus on tehtävä jokaisen puristuksen jälkeen, mikä aiheuttaisi massatuotannossa varaamaan ajallisia resursseja. Samalla raaputtaminen ja mahdollinen hankaaminen aiheuttivat mattojen pintaan staattista sähköä. Tämä altisti mattojen pinnan herkemmälle likaantumiselle, kun pienet murut ja pölyhiukkaset tarttuivat herkemmin kiinni. Se, että onko staattisella sähköllä vaikutusta varsinaiseen pintakäsittelyaineeseen puristuksen aikana, jäi toteamatta.

Terassilautatestit onnistuivat myös vaihtelevasti. Testeissä saatiin osoitettua, että prosessi kestäisi vain muutamia tunteja sisällyttäen kappaleen mitoittamisen, kuivauksen, profiloinnin ja pintakäsittelyn. Mikäli kalusto olisi ideaalinen, olisi valmistusaika vielä nopeampi. Ongelmakohtia oli myös, mutta tämä johtui lähinnä lämpöpuristimesta. Kovemmilla puristusvoimilla tulokset olisivat olleet paljon paremmat, mutta tällä kertaa kun paineet jäivät matalammiksi, eivät ainakaan mäntylaudat puristuneet tasaiseksi kovan sydänpuuosan jäädessä pinnalle koholle.

Varovaisen optimistisesti uskaltaa myöntää, että Solidiwood-tuotteilla on kaupallista mahdollisuutta, mitä jo itse tuotantoon ja lopputulokseen tulee. Tämän todistaa myös tanskalainen lattiapäällysteitä valmistava Junckers, joka on ollut markkinajohtaja kyseisen teknologian tukemana. Solidiwoodissa on Junckersia vastaava puristustekniikka, mutta Solidiwoodissa on lapepintojen lisäksi myös sivu- ja päätypintojen puristus. Testeissä kävi ilmi, että lämpö ja kosteus yhdistettynä tiukkaan puristukseen kuolettavat puun omat normaalissa kuivauksessa esiintyvät viat, ja puristamalla kuivattu kuusi pysyy hyvin muodossaan, mikäli kuivaus vaan onnistuu. Tämän takia ei prosessia saa keskeyttää kesken kaiken, kuten edellä on jo kerrottu. Sisuksen jäädessä ulkopintaa kosteammaksi vikojen esiintyminen on mahdollista.

6 LÄHTEET

Etelä, R. 2001. Puun kuivausta puristamalla. Sahayrittäjä 2/2001 [Viitattu 4.10.2001]. Saatavissa: http://customers.evianet.fi/woodfocus/view.php?woodfocusid=2&page=document&document_id=628&anonymous=nobody

Hottinen, A. Ex-puristepuuyrittäjä. 8.4.2013. Henkilökohtaisia tiedonantoja.

Ilvolankoski Oy:n kotisivut. 2013. [Viitattu 4/2013] Saatavissa: http://www.ilvolankoski.fi/

Isomäki, O. 1961. Puutavaran kuivaus ja puutavarakuivaamot.

Jäppinen, J. 1976. Insinöörityö: Puutavaran kuivaus huonekalutehtaassa. Lahden ammattikorkeakoulu.

Kahilaniemi, E. ja Lähteinen L. 2011. Puun tutkimusprojekti: Solidiwood. Lahden ammattikorkeakoulu.

Kervinen, O. 2012. Insinöörityö: Lämpöpuun prosessiparametrien vaikutus havupuusahatavaran väriin ja iskulujuuteen. Lahden ammattikorkeakoulu.

Kretschmann D.E.; Pearson R.G.; Simpson B.; Stoker D.L.; Tang Y. 2006. Forest products journal vol. 57: Effect of press-drying on static bending properties of plantation-grown No. 2 loblolly pine lumber. [Viitattu 11/2007] Saatavissa: http://www.fpl.fs.fed.us/products/publications/specific_pub.php?posting_id=16588&header_id=p

Kukkonen, M. Ilvonlakoski Oy:n toimitusjohtaja ja perustaja. 2013. Henkilökohtaisia tiedonantoja.

Lämpöpuu yhdistys Ry. 2003. Thermowood käsikirja. [Viitattu 2.1.2003]. Saatavissa: http://files.kotisivukone.com/thermowood.kotisivukone.com/tiedostot/914711200401161255_twkasikirja.pdf

Kuumapuristettu puu haastaa muut materiaalit teollisuudessa. Rakennustaito-lehti. 2001. [Viitattu 5/2001] Saatavissa: http://www.rakennustieto.fi/lehdet/rakennustaito/index/lehti/unnamed_909.html

Metsä ja puu II – Tukista tuotteeksi. Teknillinen korkeakoulu ja rakennustieto Oy. 1998.

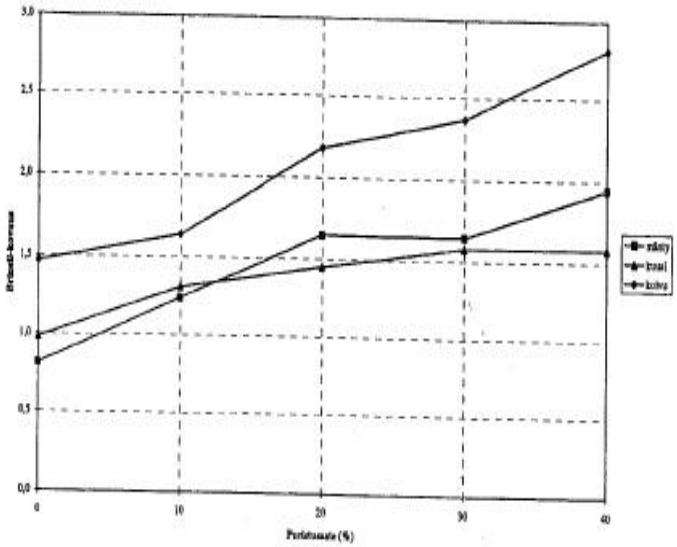
Uotila, A. Mikkelin ammatti-instituutti. Opettaja. 2013. Henkilökohtaisia tiedonantoja.

Vihreäkonsti. 2013. Maksikonsti:6.1.4 uudet puutuotteet - ns. modifioidut puut. [23.3.2013] Saatavissa: http://www.mindcom.fi/vihreakonsti/maksi/6_1_4.htm

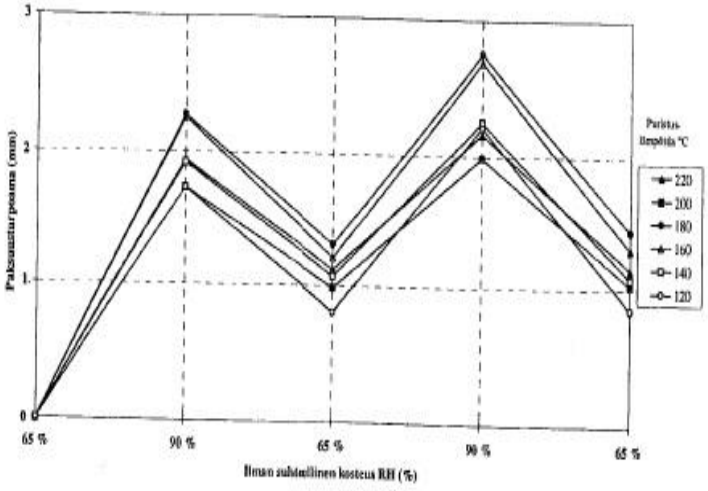
Virtanen, H. 1994. Insinöörityö: Kuivaamotutkielma puutavarahöyläämölle. Lahden ammattikorkeakoulu.

7 LIITTEET

LIITE 1.



kuva 4. Puristusasteen vaikutus Brinell-kovuuteen. Koekappaleiden alkuperäinen paksuus oli 52 millimetriä.



kuva 5. Puristuslämpötilan vaikutus paksuusmuutoksiin kostutus-kuivauskäsittelyissä. Mäntykappaleet, joiden alkuperäinen paksuus oli 52 millimetriä, on puristettu 32 millimetrin paksuuteen.

LIITE 2.

Mänty:

Kaava I

2" sahatuore puusepänkuivaksi

1. lämpötilan nosto 100°C:een, höyrytys
2. lämpötila 100°C:ssa 1–1½ h, 1 ja 2 vaiheen kokonaisaika 1½–2 h
3. 110°C:ssa n. 2 h
4. 120°C:ssa, kunnes kosteus on alle 25 %
5. 130°C:ssa loppuun
6. jäähdytys 70–80°C:seen
7. loppuhöyrytys, kosteuden noustava 1–2 %

Kaava II

2" ilmakuiva

- nosto 100°C:een, höyrytyskosteuden noustava n. 2–3 %
- 100°C:ssa n. 1 h
- 110°C n. 1 h
- 120°C n. 2 h
- 130°C loppuun asti
- jäähdytys 70–80°C:een
- loppuhöyrytys, kosteuden noustava n. 1–2 %

Kaava III

⅞" sahatuore ja ilmakuiva

- nosto 100°C:een, höyrytystä alussa n. 10–15 min.
- 100°C n. 1 h
- 130°C loppuun asti
- jäähdytys 70–80°C:een

Jalopuut:

Kaava I

Ilmakuiva mahonki 1½–2"
teak "
jalava "
punapyökki "

- nosto 100°C:een, melko voimakas höyrytys
- 100°C n. 2 h
- 110°C kunnes kosteus on n. 15 %
- 120°C loppuun
- jäähdytys 70–80°C:een

Ohut tavara voidaan kuivata nopeammin.

Mänty: loppulämpötila n. 130°C, loppukosteus 8 %

Alkukosteus	Kuivausaika ⅞"	Kuivausaika 2"
100	14	36
80	13	33
60	12	29
40	10	23
30	8½	19
20	6½	14
15	5	10

Koivu: lämpötila 130°C, loppukosteus 8 %

30	10	22
15	5	12

Tammi: kaavan muk. kuiv., loppukosteus 8 %

50–30		6
15	17	25

Mahonki:

20	17

Teak:

20	1½" = 17

Punapyökki:

70	49
25	26

LIITE 3.

Mänty:

Kaava I sahatuoreesta 10 %:iin, 7/8"

Lämpötila	Suht. kosteus	Aika
60°C	70 %	1 h
90	70	1
110	70	2
120	50	1
115	40	3
115	30	2
		10 h

Kaava II sahatuoreesta 10 %:iin, 2"

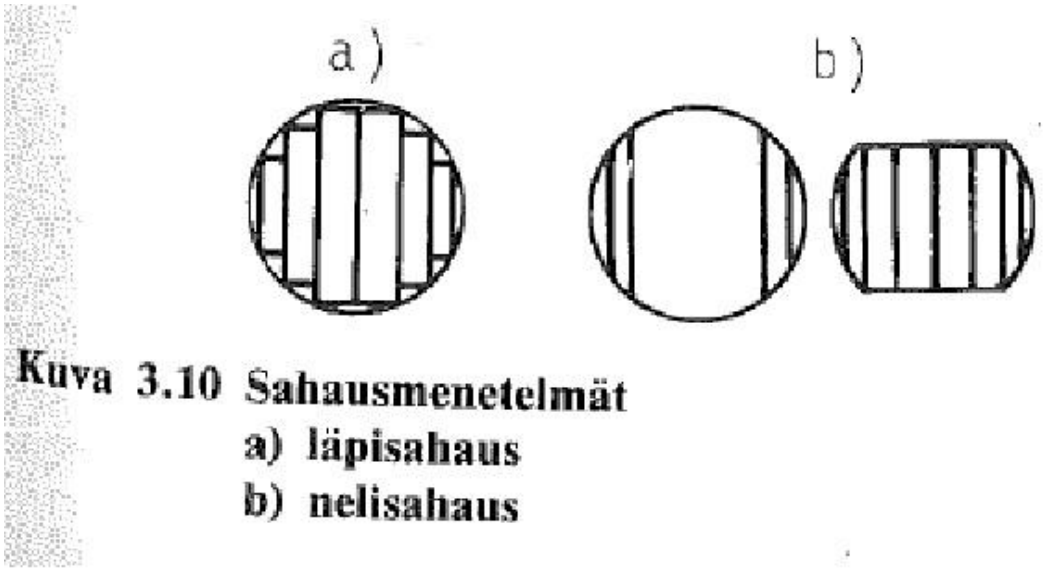
Lämpötila	Suht. kosteus	Aika
50°C	70 %	1 h
95	65	1
115	60	1
115	45	3
115	30	5
115	25	5
		16 h

Koivu:

Kaava I ilmakuivasta 8 %:iin, 1"

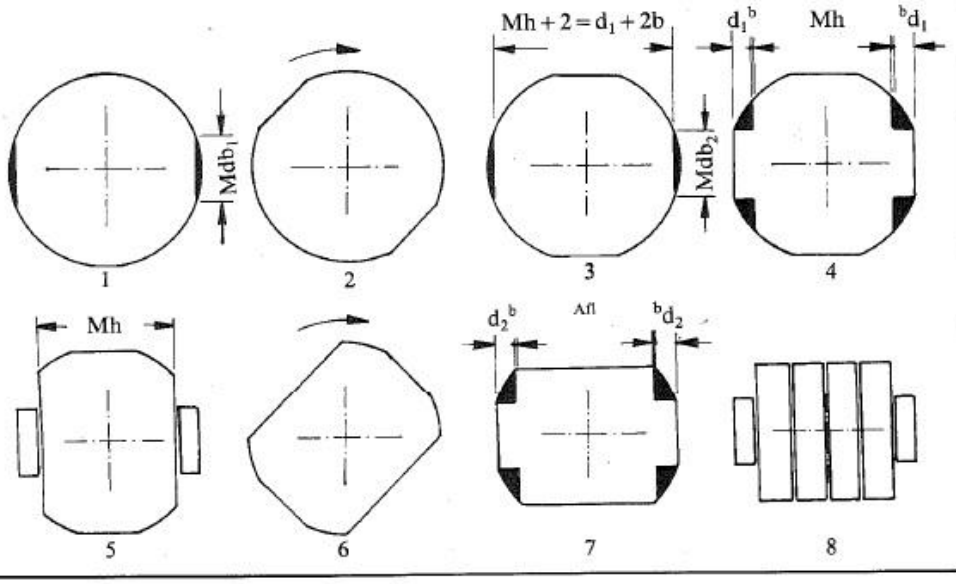
Lämpötila	Suht. kosteus	Aika
80°C	70 %	1 h
125	50	1
125	30	3
120	20	1 1/2
		6 1/2 h

LIITE 4.



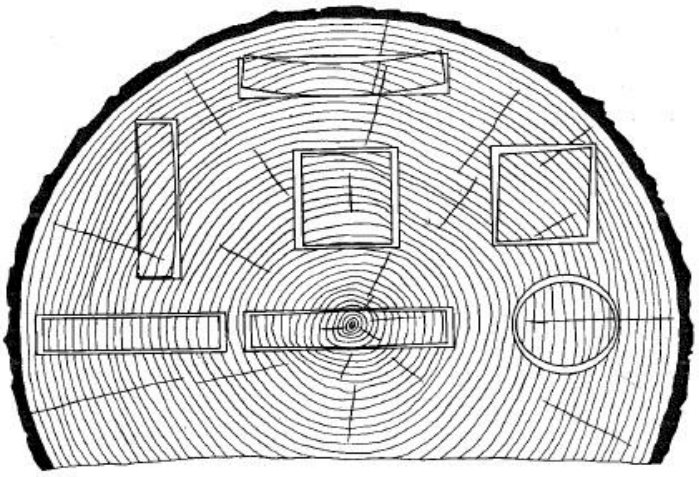
Kuva 3.10 Sahausmenetelmät
a) läpisahaus
b) nelisahaus

Profilointitekniikan työvaiheet 1) pelkkaus, 2) pelkan kääntäminen 90°, 3) toinen pelkkaus, 4) kahden ensimmäisen sivulaudan särmäys, 5) kahden ensimmäisen sivulaudan erottaminen, 6) jäljelle jäävän pelkan kääntäminen, 7) kahden jäljellä olevan sivulaudan särmäys, 8) kahden jäljellä olevan sivulaudan erottaminen ja sydäntavaran jakosahaus.

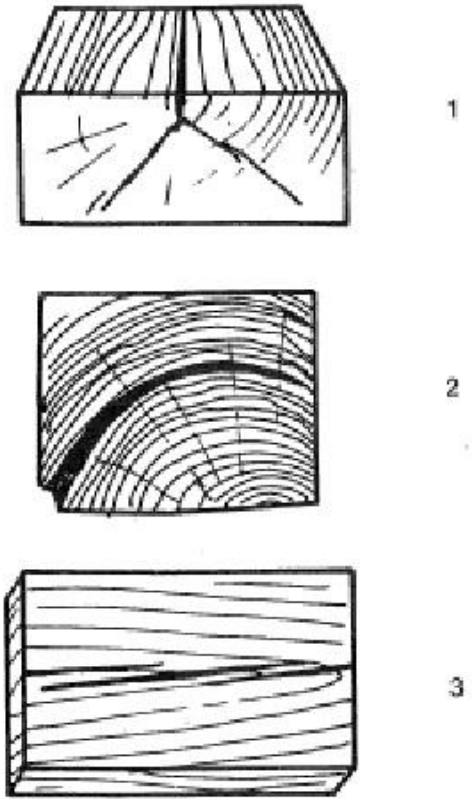


Kuva 3.18 Profilointitekniikan työvaiheet

LIITE 5.



Kuva 9-6. Klassinen piirros tukin eri osista sahattujen kappaleiden poikkileikkauksen muodonmuutoksesta kutistumisen seurauksena. (Kuva: Wood handbook…1999)



Kuva 41. Sahatavaran halkeamatyypit:
1. Sydänhalkeama
2. Rengashalkeama
3. Kuivumishalkeama