

MODIFIOIDUT PUUTUOTTEET

TUOMO VÄÄRÄ
HANNU TURUNEN

MODIFIOIDUT PUUTUOTTEET

Tuomo Väärä

Hannu Turunen

Kouvola 2014

Kymenlaakson ammattikorkeakoulun julkaisuja. Sarja A. Nro 49

KIRJOITTAJAT:

Petri Heino, tutkimuspäällikkö,
Kymenlaakson ammattikorkeakoulu:

ALKUSANAT

Tuomo Väärä, lehtori,
Kymenlaakson ammattikorkeakoulu:

VAATIVIA PUUN KÄYTTÖKOhteITA JA NIIHIN SOVELTUVIA
VAIHTOEHTOISIA PUUMATERIAALEJA

MODIFIOIDUT PUUTUOTTEET

Hannu Turunen, materiaalitekniikan DI.,
Mikkelin ammattikorkeakoulu:

TULEVAISUUDEN MODIFIOIDUT PUUTUOTTEET

Copyright: Kymenlaakson ammattikorkeakoulu
Kustantaja: Kymenlaakson ammattikorkeakoulu
Graafinen suunnittelu, taitto: Sami Leminen
Paino: Kopijyvä Oy, Kouvola 2014

ISBN (NID.): 978-952-306-031-9

ISBN (PDF): 978-952-306-032-6

ISSN-L: 1239-9086

ISSN: 1239-9086

Sisällys

ALKUSANAT	5	3.3.1 Yleistä puun vesilasikyllästyksestä	56
1 JOHDANTO	6	3.3.2 Vesilasikyllästetyn puun ominaisuudet ja käyttö	57
1.1 Mitä puun modifointi on	8	3.4 Mäntyöljykäsitelty puu	66
1.2 Mihin puun modifoinnilla pyritään	10	3.5 Kemiallisesti modifioitu puu	70
2 VAATIVIA PUUN KÄYTTÖKOHTEITA JA NIIHIN SOVELTUVIA VAIHTOEHTOISIA PUUMATERIAALEJA	12	3.5.1 Asetyloitu puu	70
2.1 Rakennusten ulkoverhous	14	3.5.2 Furfuloitu puu	74
2.2 Ulkoterassit	17	3.5.3 Lämpöeristetty puutuotteet - Coloured Wood Products (CWP)	78
2.3 Muu piharakentaminen ja ulkokalusteet	21	3.6 Mekaanisesti modifioitu puu	79
2.4 Infrarakentaminen	21	3.7 Puu-muovikomposiitit	84
2.5 Ikkunat ja ulko-ovet	22	4 TULEVAISUUDEN MODIFIOIDUT PUUTUOTTEET	90
2.6 Sauna- ja kylpyhuonesustukset	22	4.1 Biopohjaiset liimat, kyllästys- ja puun suoja-aineet	92
2.7 Lattiapinnoitteet	23	4.2 Ipen sekundaaristen aineenvaihduntatuotteiden lahonsuojausominaisuudet	94
3 MODIFIOIDUT PUUTUOTTEET	24	4.3 Luontaiset termitin suoja-aineet	95
3.1 Paine-kyllästetty puutavara eli kestopuu	26	4.4 Eteerisen eukalyptusöljyn vaikutus Microcerotermes diversus -termiitteihin	95
3.1.1 Kestopuutuotteet	26	4.5 Muilla teollisuudenaloilla käytössä olevien materiaalien ja menetelmien hyödyntäminen puutuoteteollisuudessa	97
3.1.2 Kestopuun ominaisuudet	32	4.5.1 Siloksaanit puunkyllästämisessä	97
3.1.3 Kestopuun käyttö	34	4.5.2 Puun ja puupohjaisten materiaalien pinnoittaminen kuparilla	98
3.2 Lämpökäsitelty puu	40	4.5.3 Biopohjaisten tuotteiden modifoinnin tulevaisuus	99
3.2.1 Lämpökäsitelty puutuotteet	40	LÄHTEET	102
3.2.2 Lämpökäsitelty puun ominaisuudet	44		
3.2.3 Lämpökäsitelty puun työstö ja käsittely	54		
3.3 Vesilasikyllästetty puu	56		

ALKUSANAT

Petri Heino, tutkimuspäällikkö, Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

Puu on luonnonmateriaali. Eri puulajit ovat ominaisuuksiltaan hyvin erilaisia. Perinnölliset tekijät, kasvuolosuhteet ja puuaineen epäsäännöllisyydet vaikuttavat ominaisuuksiin. Puumateriaali luonnostaan reagoi ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden muuttumiseen. Mikro-organismit vaikuttavat puun väriin ja ominaisuuksiin niille suotuisissa olosuhteissa. Keinokuivauksella ja erilaisilla jalostusprosesseilla pyritään minimoimaan, luokittelemaan ja häivyttämään ominaisuuksien vaihtelua ja ympäristön vaikutusta. Puuta pilkotaan mekaanisesti ja liimataan yhteen.

Modifiointi astuu askeleen pidemmälle. Puun modifioinnin avulla vaikutetaan käytön kannalta sekä kriittisiin että toivottaviin ominaisuuksiin. Modifioimalla voidaan muuttaa puun fysikaalisia ja visuaalisia ominaisuuksia sekä kestävyyttä mikro-organismeja vastaan. Modifioidun puun

käyttö mahdollistaa puun käytön kohteissa, joissa nykymääräykset tai nykyinen käytäntö ei puuta salli. Julkisten rakennusten julkisivut on yksi tällainen käyttökohteita, jossa palomääräykset rajoittavat puun käyttöä. Modifioidun puun käyttö voi olla perusteltua myös kohteissa, joissa huoltovälin pidentämisestä on merkittävää etua. Näitä ovat esim. korkeiden rakennusten julkisivut. Kuluttajien toiveet tai ajankohdittaiset ympäristöteemat vaikuttavat käytettäviin tuotteisiin. Lämpöpuuteknologian kehittämisen yksi peruste on halu korvata erityisesti uhanalaisia trooppisia puulajeja kotimaisilla puutuotteilla.

Puutuotteiden käyttö on yleensä ympäristösyistä perustellumpaa kuin betonin tai metallin käyttö. Modifiointi laajentaa puun käyttökohteita. Eri modifiointimenetelmien tunteminen on avain puun oikeaan ja lisääntyvään käyttöön.



JOHDANTO

Tuomo Väärä, lehtori, Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

Tämän julkaisun tarkoituksena on koota yksiin kansiin tietoa puun normaalia vaativammista käyttökohteista ja niihin soveltuvista modifioituista puutuotteista. Tämä tieto toivon mukaan auttaa rakentajia, puuseppiä, muita puutuotteiden valmistajia, suunnittelijoita ja arkkitehtejä materiaalivalinnoissa ja tuo esille puupohjaiset tuotteet vartenotettavana vaihtoehtona. Julkaisun on toteuttanut Kymenlaakson ammattikorkeakoulun hallinnoima Wood Academy -hanke.

1.1 MITÄ PUUN MODIFIOINTI ON

Modifioinnilla tarkoitetaan puun käyttöominaisuuksien muuttamista sen koko elinkaaren ajaksi. Callum Hill (2006, 21 - 23) luokittelee puun modifioinnin seuraavasti.

■ Kemiallinen modifiointi

Kemiallisessa modifioinnissa puuhun lisätty kemikaali reagoi soluseinämän polymeerien hydroksyyli-ryhmien kanssa. Tuloksena voi olla kemikaalin yksinkertainen sitoutuminen hydroksyyli-ryhmän kanssa tai poikkisidosten muodostus (cross-linking) kahden tai useamman hydroksyyli-ryhmän välille. Kemiallisella modifioinnilla usein vähennetään veden sitoutumismahdollisuutta puuhun, jolloin puun hygroskooppisuus pienenee sekä dimensiostabiilisuus ja usein myös biologinen kestävyys paranevat.

■ Lämpömodifiointi

Lämpömodifioinnissa puuta lämmittämällä saadaan sen kemiallisessa rakenteessa aikaan halutunlaisia muutoksia ilman, että puuhun lisätään mitään kemikaaleja. Tyypillisiä muutoksia ovat puun rakenneosien, etenkin hemiselluloosien (mutta myös selluloosan ja ligniinin) pilkkoutuminen ja tätä kautta puun hygroskooppisuuden pieneneminen. Korkea käsittely-

lämpötila voi rikkoa puun rakennetta siinä määrin, että sen lujuusominaisuudet alkavat heiketä. Lämpökäsittely voidaan tehdä ilmassa, suojakaasussa tai esim. kuumen öljyn avulla.

■ Pintamodifiointi

Puun pinnan muutoksia voidaan saada aikaan kemiallisella modifioinnilla, biologisella modifioinnilla entsyymejä käyttäen tai fysikaalisilla prosesseilla (lämpötila, kosteus, paine). Pintamodifioinnilla voidaan parantaa esim. liiman tai pintakäsittelyaineen tartuntaa puuhun, pinnan säänkestoa tai pinnan kovuutta ja kulutuskestävyyttä.

■ Modifiointi kyllästämällä

Puun kyllästyksessä liukoinen kyllästysaine imeytetään painekäsittelyn avulla syväälle puun solukoihin, joissa se yleensä polymeroituu ja kiinnittyy puun soluseinämiin tai soluonteloihin. Puun kyllästyksellä voidaan parantaa kyllästysaineesta riippuen mm. puun biologista kestävyyttä tai palonkestävyyttä.

Eri modifiointimenetelmiä voidaan yhdistää, esim. puun kemiallinen modifiointi ja lämpökäsittely. Modifiointimenetelmät määräytyvät aina puutuotteiden käyttökohteen

perusteella, joka määrittää puulle vaadittavat oleelliset ominaisuudet. Yleispätevää puun kaikkia ominaisuuksia parantavaa modifiointimenetelmää ei ole olemassa. Itse asiassa ei liene edes tarkoituksenmukaista tällaista hakea, koska käyttökohteeseen asettaa vaatimukset ominaisuuksille, jotka voivat eri käyttökohteissa olla jopa ristiriidassa keskenään. Toisaalta tietty käsittely voi samanaikaisesti parantaa jotakin puun ominaisuutta ja heikentää toista. Esim. lämpökäsittely pienentää puun hygroskooppisuutta ja näin parantaa dimensiostabiiliisuutta, mutta samanaikaisesti heikentää jonkin verran useimpia lujuusominaisuuksia.

Puun modifioinnin onnistumista voidaan arvioida seuraavilla kriteereillä. Modifioinnilla pitää olla vaikuttavuutta. Käsittelyn tulee parantaa halutulla tavalla puun ominaisuuksia ja modifiointikäsittelyn vaikutuksen tulee olla pysyvää. Modifiointiaineiden ja -menetelmien tulee olla ekologisesti ja terveyden kannalta kestäväällä pohjalla. Modifiointimenetelmien tulee olla niin taloudellisia, että asiakkaat ovat valmiita maksamaan modifioinnin aiheuttamat lisäkustannukset.

MIHIN PUUN

I.2 MODIFIOINNILLA PYRITÄÄN

Puuta käytetään mitä moninaisimpiin tarkoituksiin. Saha- tavaraa, puulevyjä ja niiden jalosteita käytetään laajalti raken- nustuotannossa, puusepänteollisuudessa ja kuljetusvälineissä. Puukuituja käytetään paperin, kartongin ja puu-muovikom- posiittien valmistukseen. Puusta voidaan tehdä lukuisia kemi- kaaleja. Puuta käytetään eri muodoissaan polttoaineena ener- gian tuotantoon. Puu on Suomen merkittävin luonnonvara.

Puulla on eri käyttökohteissaan lukuisia hyviä ominai- suuksia kilpaileviin materiaaleihin verrattuna: Se on suhteel- lisen lujaa tiheyteensä nähden, kevyttä ja helposti työstet- tävää. Sen lämmöneristyskyky on hyvä. Hygroskooppisena materiaalina se tasaa huonetilan kosteutta ja on näin terveellinen materiaali. Lisäksi puu uusiutuvana materiaalina on ekologista, ja se voidaan elinkaarensa lopuksi hävittää polttamalla.

Toisaalta puu on myös haasteellinen materiaali useissa käyttökohteissaan. Haasteelliseksi sen tekevät mm. seuraavat ominaisuudet:

- Puu on hygroskooppista eli sitoo itseensä kosteutta ympäröivästä ilmasta.
- Kosteusvaihtelut puussa aiheuttavat kosteuselämistä.
- Suuri kosteus heikentää puun biologista kestävyyttä; se on altis laholle, homeelle, bakteereille ja hyönteisille.
- Puun kosteus vaikuttaa puun kimmo- ja lujuusominaisuuksiin, mikä pitää ottaa huomioon puurakenteiden suunnittelussa, samoin puun viskoelastinen käyttäytyminen.
- Puu on anisotrooppista, eli monet sen ominaisuuksista vaihtelevat eri suunnissa.
- Palavana materiaalina sen käyttö on rajoitettua tietyissä rakenteissa.
- Puun lujuus, kovuus ja kulutuskestävyys eivät välttämättä ole riittäviä vaativissa käyttökohteissa.
- Luonnon materiaalina puu on epähomogeenista ja sisältää vikoja, jotka heikentävät sen käytettävyyttä.

Kuva: Kestopuuteollisuus



Jotta puun kilpailukykyä muihin materiaaleihin (betoni, tiili, teräs, muut metallit, muovit) voidaan parantaa, täytyy edellä mainittuihin haasteisiin pystyä vastaamaan. Yksi ratkaisu on rakenteellisin keinoin vähentää em. ominaisuuksien aiheuttamia haittoja. Pyritään rakenteellisesti vähentämään tai hidastamaan esim. puun kostumista, jolloin kosteuden aiheuttamat haitat puussa vähenevät, tai pyritään rakennusteknisin keinoin esim. sprinklerjärjestelmällä vähentämään puurakennusten paloriskiä. Toinen lähestymistapa on puun ongelmallisten ominaisuuksien parantaminen erilaisilla käsittelyillä, modifioimalla puuta.

Puun modifioinnille on selvästi olemassa tilaus. Puun käyttöä rakentamisessa ja muissa potentiaalisissa käyttökoh-teissa halutaan lisätä, koska puun hiilijalanjälki moniin kil-paileviin materiaaleihin verrattuna on pieni. Toisaalta tässäkin kehitystyössä täytyy ymmärtää realiteetit. Puuta ei pidä väki-sin tarjota sellaisiin kohteisiin, jossa sillä ei ole mahdollisuuk-sia menestyä. Puun käyttöä voidaan myös lisätä yhdistämällä sitä muiden materiaalien kanssa (puukomposiitit).

II

2–Vaativia puun käyttökohteita ja niihin
soveltuvia vaihtoehtoisia puumateriaaleja

VAATIVIA PUUN KÄYTTÖKOHTEITA JA NIIHIN SOVELTUVIA VAIHTOEHTOISIA PUUMATERIAALEJA

Tuomo Väärä, lehuri, Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

Monissa puun käyttökohteissa puun luontaiset ominaisuudet ovat sellaisenaan riittäviä. On kuitenkin useita kohteita lähinnä ulkokäytössä, jossa puun heikot ominaisuudet tulevat esille. Asiaa on pyritty ratkaisemaan kehittämällä erilaisia modifioituja puutuotteita, joista jotkin, kuten painekyllästetty ja lämpökäsittely puutavara ovat saavuttaneet laajan käytön. Toiset taas ovat puun käyttäjien keskuudessa melko tuntemattomia ja vähän käytettyjä. Syynä voi olla se, että tuotteen uutuudesta johtuen sen ominaisuuksia ei tunneta tai sitä on heikosti saatavilla. Myös normaalipuuta korkeampi hinta rajoittaa modifioidun puun käyttöä etenkin, jos asiakas ei ole vakuuttunut tuotteen paremmuudesta käsittelemättömään puuhun verrattuna.

Pohjimmiltaan puun modifioinnilla pyritään parantamaan puun luontaisia heikkouksia, jotka tulevat esille puun vaativissa käyttökohteissa. Puun ominaisuuksissa on toivomisen varaa mm. lahon ja hyönteisten kestävyden, palonkestävyyden, mittapysyvyyden, pinnan kovuuden ja kulutuskestävyyden suhteen. Puun pinta myös halkeilee helposti ulkokäytössä pintakäsittelyistä huolimatta ja lisää näin puutuotteiden huoltotarvetta.

Puun modifiointi nostaa aina puumateriaalin hintaa. Modifioidun puun käyttäjän tuleekin harkita modifioinnin mukanaan tuomaa hyötyä

suhteessa kustannuksiin. Kustannuksissa ei pidä miettiä pelkkää materiaalin hankintakustannusta, vaan tuotteen koko elinkaaren aikana tulevia kustannuksia, kuten tuotteen käyttöön liittyviä kustannuksia (työstöt, asennus, pintakäsittely, käyttöikä, huoltotarpeet käytön aikana) ja käytöstä poistetun materiaalin hävittämiskustannuksia. Myös tuotteen terveellisyys ja ekologisuus voivat painaa vaakakupissa eri tuotteita vertailtaessa. Vaikka modifioidun puun hinta olisikin korkea, sen valintaa voi puoltaa se, että tuotteen valmistuksessa puun raaka-ainekustannus on pieni mutta modifioinnin puuta parantavat ominaisuudet tuotteen kannalta merkittävät. Esim. ikkuna on varsin tekninen ja monista materiaaleista koostuva tuote, jossa puun osuus valmistuskustannuksista ei ole kovin merkittävä.

Seuraavassa on tarkasteltu sellaisia vaativia käyttökohteita, joissa puun luontaiset ominaisuudet eivät välttämättä ole riittäviä ja modifioidun puun käyttö voi olla perusteltua tai välttämätöntä. Eri käyttökohteisiin on koottu vaihtoehtoisia materiaaleja ja mainittu niiden sellaisia ominaisuuksia, jotka pystyvät vastaamaan käytön asettamiin erityisvaatimuksiin. Luvussa 3 *Modifioidut puutuotteet* on käsitelty tarkemmin eri tavoin modifioitujen puutuotteiden luokittelua ja ominaisuuksia.

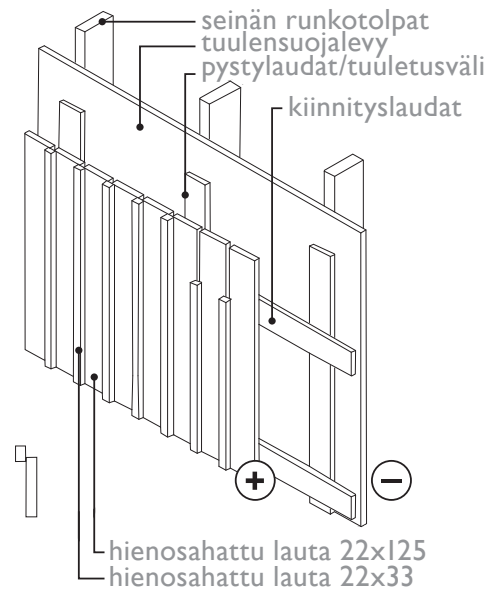
2.1 RAKENNUSTEN ULKOVERHOUS

Rakennuksen ulkoverhouksissa käytetään yleisesti puuta. Kilpailevia materiaaleja ovat mm. betoni, tiili, metallit ja muovit. Ulkoverhoukseen kohdistuva suurin rasitus tulee sään vaihteluista (kosteus, sade, lämpö, pakkanen, auringon valo). Etelän puolella säärasitus on suurin. Jos ulkoseinäverhous on tehty oikein (riittäväällä tuuletusraolla) ja rakennuksen sokkeli on riittävän korkea, ei verhous pääse kostumaan niin paljon, että se olisi käytännössä alttiina laholle. Näin ollen normaali modifioimaton puutavara (mänty- tai kuusilauta tai -paneeli) soveltuu ulkoverhousmateriaaliksi. Normaali puutavara kuitenkin pyrkii maalattunakin halkeilemaan pinnalta lämpö- vaihteluiden ja kosteuselämisen takia. Auringon lämpö voi myös tuoda pihkaa verhouksen pintaan. Pihkavuotoja voidaan vähentää oikealla pintakäsittelyllä.

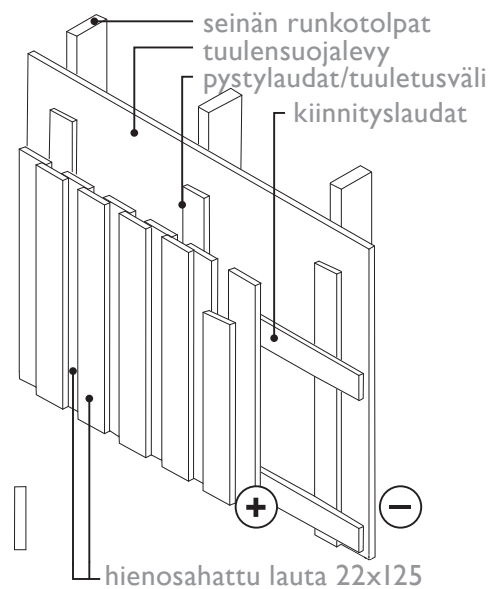
Yksityiskohtaiset ohjeet puu-ulkoverhouksen asennuksesta löytyvät esimerkiksi Puuinfon teknisestä tiedotteesta ”Pitkäikäinen puujulkisivu” (2012).

Oikealla materiaalivalinnalla, asennuksella ja pintakäsittelyllä sekä huollolla normaali käsittelemätön mänty- tai kuusilauta soveltuu hyvin ulkoverhousmateriaaliksi.

Suomalainen lämpökäsittely puutavara tunnetaan ThermoWood® -nimellä. ThermoWood® luokitellaan kahteen tuoteluokkaan: Thermo-S ja Thermo-D. Korkeammasta käsitteilylämpötilasta johtuen Thermo-D-tuotteet ovat väriltään tummempia, ja niiden säänkestävyys ja dimensiostabiilisuus kosteusvaihteluissa on parempi kuin Thermo-S-tuotteiden. Thermo-D-luokan tuotteiden lujuus hieman heikkenee lämpökäsittelyssä. (ThermoWood® käsikirja 2003.)

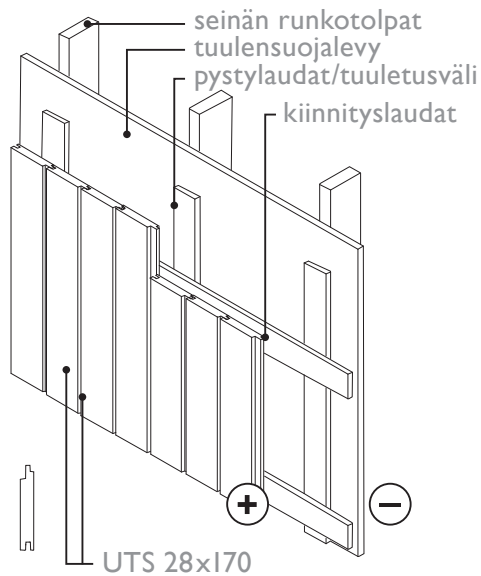


Peiterimaverhous

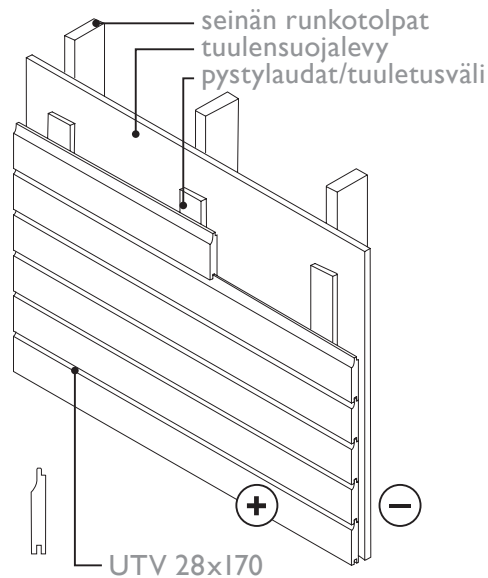


Lomalaudoitus

Rakennekuva 1. Esimerkki peiterimaverhouksesta ja lomalaudoituksesta (Puu-ulkoverhous 2010, 3)



Pystypanelointi



Vaakapanelointi

Kuvat: Puuinfo

Rakennokuva 2. Esimerkki pysty- ja vaakapaneloinnista
(Puu-ulkoverhous 2010, 3 - 4)

Rakennusten ulkoverhoukseen soveltuvia puumateriaaleja ovat mm. seuraavat:

- normaali mänty tai kuusi
- lämpökäsitelty mänty tai kuusi
- vesilasikyllästetty ja lämpökäsitelty, mäntyasetyloitu puu
- furfuloitu puu
- puu-muovikomposiitit

Ulkoseinän puuverhoilu toteutetaan joko peiterimaverhouksena, lomalaudoituksena tai pysty- tai vaakapanelointina (rakennekuvat 1 ja 2). Materiaalista riippumatta puuverhouksessa tulee kiinnittää huomiota seuraaviin asioihin:

- laudan valintaan
- kiinnitysalustaan
- asennukseen
- pintakäsittelyyn

Thermo-D-luokan mänty ja kuusi soveltuvat ulkoverhouskäyttöön. Verhousmateriaalina lämpökäsitelty puu on normaalia puuta kalliimpi vaihtoehto ulkoverhouksessa, mutta sen etuna on pihkattomuus ja pienempi kosteuseläminen, jolloin pinnan halkeilu jää pienemmäksi. Lämpökäsitellyn puun kiinnitys edellyttää ruostumattomien kiinnikkeiden käyttöä ja lämpökäsitellyn puun normaalipuuta pienemmästä halkaisulujuudesta johtuen tulee lautojen kiinnityksessä noudattaa valmistajan ohjeita. Lämpöpuu on maalattavissa normaalin puun tapaan. (ThermoWood® käsikirja 2003.)

Ulkoverhouksessa voidaan käyttää myös vesilasikyllästettyä ja lämpökäsiteltyä, asetyloitua tai furfuloitua puutavaraa, mutta em. tuotteiden hinta on huomattavasti korkeampi kuin käsittelemättömän puutavaran. Vesilasikyllästetyn puutavaran käyttö voi olla perusteltua, jos verhoukselle halutaan parempaa palonkestoa. Esimerkiksi puukerrostalojen (rakennuksen paloluokka P2) ulkoverhousmateriaalilta edellytetään paloluokkaa B-S2, do, myös tuuletusraossa, mikä edellyttää, että normaali puutavara on palosuojakäsiteltyä tai mahdollinen palon leviäminen on estetty rakenteellisin keinoin, kuten palokatkolla tuuletusraossa, paloräystäällä tai riittävällä suojaetäisyydellä toiseen seinään (E1 Suomen rakentamismääräys-

kokoelma 2011, 24). Vesilasikyllästykseen liittyvä lämpökäsittely vähentää pihkavuotoja. Asetyloitu ja furfuloitu puutavara parantavat puumateriaalin dimensiostabiilisuutta, pienentävät pinnan halkeilua ja antavat tuotteelle paremman maalaus pohjan. Vesilasikyllästettyä puutavaraa on markkinoilla mm. tuotenimellä Q-Treat (Stora Enso Building and Living), asetyloitua puuta tuotenimellä Titan Wood (Accsys Technologies) ja furfuloitua puuta tuotenimillä Visorwood ja Kebony.

Markkinoilla on myös rakennusten ulkoverhoukseen tarkoitettuja puu-muovikomposiitteja. Ne ovat normaalia puuta huomattavasti kalliimpi vaihtoehto, mutta niiden säänkestävyys on normaalia puuta parempi ja huoltotarve vähäisempää. Ne eivät esimerkiksi halkeile. (Caulfield 2010, 157.)

Painekyllästetyn kestopuun käyttö ulkoverhouksessa ei ole perusteltua, ellei ulkoverhous ole hyvin lähellä maanpintaa, jolloin lahoamisriski on olemassa. Mäntyöljyllä käsitelty puutavara ei myöskään sovellu ulkoverhoukseen, koska suurilla mäntyöljyjäämillä öljyn pintaan tihkuminen on todennäköistä. Kummankaan edellä mainitun tuotteen hyviä ominaisuuksia ei voida siinä määrin hyödyntää normaaliulkoverhouksissa, jotta niiden käyttö olisi taloudellisesti perusteltua.

2.2 ULKOTERASSIT

Puun käyttö terassimateriaalina on varsin yleistä. Muita mahdollisia materiaaleja ovat mm. puu-muovikomposiitit, betoni, betonilaatat, tiili, kivi yms. Ulkoterassit joutuvat enemmän tai vähemmän alttiiksi sään vaikutukselle riippuen siitä, onko terassi avoin vai katettu. Lisäksi terassit ovat alttiina laholle etenkin, jos rakenteet ovat suorassa maakosketuksessa. Terassin pintalaudit ovat alttiina myös erilaisille mekaanisille rasituksille, kuten taivutusjännitykselle ja mekaaniselle kulutukselle. Terassimateriaalilta vaaditaan paljon. Normaalista käsittelemätöntä puuta voidaan käyttää terassien materiaalina. Normaali puutavara ei kuitenkaan ole kovin pitkäikäinen materiaali terasseissa. Käyttöikä voidaan pidentää pintakäsittelyllä kuultavilla tai peittäväillä suoja-aineilla. Käyttöikä voidaan jonkin verran vaikuttaa myös puulajivalinnalla. Esim. männyn sydänpuu tai lehtikuusi on paremmin lahoa kestävä kuin kuusi tai männyn pintapuu. Myös hyvä tuuletus terassilaudoituksen alla vähentää homeutumista ja lahoamista ja pidentää materiaalin käyttöikä. Terassilaudat tulee asentaa sydänlape ylöspäin, jolloin näkyviin tulee säätä kestävämpi sydänpuu ja pinnan halkeilu on vähäisempää. Koolausväli riippuu käytetystä materiaalista ja sen paksuudesta ja vaihtelee yleensä välillä 400 - 600 mm (puu-muovikomposiittia käytettäessä enintään 400 mm).

Puuterasseihin soveltuvia puumateriaaleja ovat mm.

- normaali mänty, kuusi tai lehtikuusi,
- painekyllästetty mänty,
- lämpökäsitelty mänty tai kuusi,
- vesilasikyllästetty ja lämpökäsitelty mänty,
- asetyloitu puu,
- furfuloitu puu,
- mäntyöljyllä kyllästetty mänty ja
- puu-muovikomposiitti.

Terassimateriaalin käyttöikä saadaan moninkertaistettua, kun käytetään painekyllästettyä kestopuuta. Tehoaineena ovat kupariyhdisteet. Maakosketuksessa olevan koolauksen tulee olla A-luokkaan kyllästettyä kestopuuta. Terassin kansilaudoitukseksi käy AB-luokkaan kyllästetty tavara. Kyllästetty puutavara voidaan pintakäsitellä vesiliukoisilla tai liuotinpohjaisilla puunsuoja-aineilla, öljyillä tai vahoilla. Parhaiten tuloksen antavat puoliläpäisevän kalvon muodostavat pintakäsittelyaineet. Sävytetyt puunsuoja-aineet ja öljyt estävät tehokkaimmin puun harmaantumisen. Kantavissa rakenteissa kestopuun kanssa tulee käyttää ainoastaan ruostumattomia kiinnikkeitä, muissa rakenteissa, esim. kansilaudoissa voidaan käyttää myös kuumasinkittyjä kiinnikkeitä. (Painekyllästetty puu, Opas ammattilaiselle 2012.)

Lämpökäsittelyä mäntyä tai kuusta (Thermo-D) voidaan myös käyttää terassilaudoituksena (ei kuitenkaan maakosketuksessa). Lämpökäsittely parantaa puun lahonkestävyyttä ja

dimensiostabiilisuutta. Materiaali on pintakäsiteltävissä normaaleilla puunsuoja-aineilla. Kiinnikkeiden tulisi olla ruostumattomia, ja muutenkin kiinnikkeiden käytössä kannattaa noudattaa puutavaran valmistajan ohjeita (lämpöpuun suurempi halkeamisriski). Lämpöpuun valmistajat ovat kehittäneet terassilautojen kiinnitykseen systeemejä, joissa kiinnike jää näkymättömiin. (ThermoWood® käsikirja 2003.)

Terassilaudoituksena voidaan käyttää myös vesilasikyllästettyä, asetyloitua tai furfuloitua puutavaraa. Näillä tuotteilla on paremman lahonkestävyyden lisäksi saatu parannettua myös pinnan kovuutta ja kulutuskestävyyttä. Em. materiaalit ovat kuitenkin perinteistä painekyllästettyä kestopuuta ja lämpökäsittelyä puuta kalliimpia. Myös mäntyöljyllä kyllästetty puutavara soveltuu terassilaudoitukseksi. Kymenlaakson amk:n Palvaanjärven koerakennuksen havaintojen perusteella mäntyöljyllä käsitelty materiaali ei vety yhtä helposti kuin normaali puu ja sen pintahalkeilu on myös vähäisempää.

Melko uutena tuotteena terassilautamarkkinoille ovat tulleet puu-muovikomposiitit, jotka valmistetaan puukuidusta ja muovista. Sekä kuitu että muovi voivat olla kierrätysmateriaalia, jolloin tuote on ekologinen. Puu-muovikomposiittien hyviä ominaisuuksia ovat vähäinen kosteuseläminen ja huoltotarve sekä suhteellisen hyvä sään ja lahonkestävyys. Ne ovat työstettävissä normaaleilla puun-työstövälineillä ja hävitettävissä polttamalla. Komposiittien huonoja ominaisuuksia on suuri lämpölaajeneminen ja normaalipuuta heikempi taivutuslujuus ja -jäykkyys, mikä edellyttää pienempää koolausväliä terassilaudoituksen alla. (Puu-muovikomposiitit.)

Rakennekuvassa 3 on esitetty Puuinfon esimerkki puu-terassin rakenteesta. Tässä tapauksessa terassi on rakennettu betonipilareiden varaan. Jos terassin runkorakenteet (koolaus) tulevat suoraan maakesketukseen, kannattaa runkorakenteessa käyttää A-luokan kestopuuta.

Kuva: Mitsubishi Rayon America Inc.



Puu-muovikomposiitin raaka-aineita



Kuva: Kestopuuteollisuus

Rakennekuva 3. Esimerkki puuterassin rakenteesta

2.3 MUU PIHARAKENTAMINEN JA ULKOKALUSTEET

Piharakentamiseen kuuluvat terassien lisäksi mm. pengerrykset, aidat, valaisinpylväät, pergolat, kukkalaatikot, puutarhakalusteet ja lasten leikkipaikat. Näissä käytetään paljon puuta mutta myös kiveä, betonia, metalleja ja muoveja. Ulkokohteenä piharakentaminen asettaa materiaaleille tiukat vaatimukset lähinnä säänkeston ja lahonkeston suhteen. Maakosketuksessa olevissa rakenteissa suositellaan käytettäväksi A-luokan kestopuuta. Aiemmin esim. pengerryksissä käytettiin toisinaan kreosootilla kyllästettyjä, käytöstä poistettuja ratapölkkyjä, mutta nykyisin kreosootilla kyllästetyn puutavaran käyttö on hyvin tarkasti rajoitettu tiettyihin ammatillisiin käyttökohteisiin (käytännössä pylväät ja ratapölkkyt).

Maan yläpuolisissa osissa, joissa lahoamisriski on pienempi, voidaan käyttää normaalia modifioimatonta puutavaraa asianmukaisesti pintakäsiteltynä. Materiaalin käyttöikä saadaan kuitenkin pidennettyä, jos käytetään AB-luokkaan kyllästettyä kestopuuta, lämpökäsiteltyä puuta, vesilasikyllästettyä puuta, asetyloitua tai furfuloitua puuta. Puutarhakalusteissa voidaan käyttää edellä mainittujen lisäksi myös puu-muovikomposiitteja niiden helpon huollettavuuden takia.

2.4 INFRARAKENTAMINEN

Puuta käytetään infrarakentamisessa mm. linjapylväinä, ratapölkkyinä, silloissa, laitureissa ja meluaidoissa. Kilpailevia materiaaleja ovat lähinnä teräs ja muut metallit, betoni ja muovit. Kaikissa infrarakentamisen kohteissa materiaaleilta vaaditaan säänkestävyyttä. Käyttökohteesta riippuen materiaaleilta vaaditaan myös lahon ja hyönteisten kestävyyttä, meriveden kestävyyttä ja hyvää lujuutta pitkäaikaisessa käytössä.

Sähköpylväät valmistetaan kuparikyllästeillä A-luokkaan kyllästetystä kestopuusta tai kreosoottiöljyllä kyllästetystä puusta. Uusina materiaaleina pylvästuotantoon ovat tulossa mäntyöljyllä ja vesilasilla kyllästetyt pylväät.

Ratapölkkyinä käytetään kreosootilla kyllästettyä puuta. Kreosoottiöljy antaa puulle erittäin hyvän suojan lahoa ja hyönteisiä vastaan. Ongelmana on se, että kreosoottiöljy on terveydelle ja ympäristölle haitallinen aine, eikä se kiinnity täydellisesti puuhun, vaan sitä valuu tuotteesta pois tuotteen käyttöaikana. Ratapölkkyinä voidaan käyttää myös vesilasilla kyllästettyä puuta.

Siltojen ja laitureiden runkorakenteisiin soveltuu A-luokan kestopuu ja pidemmällä jänneväleillä siitä valmistettu liimapuu. Laituritolpat, jotka ovat kosketuksessa meriveteen, tulee valmistaa M-luokan kestopuusta. Siltojen ja laitureiden kansirakenteissa voidaan A-luokan kestopuun lisäksi käyttää AB-luokkaan kyllästettyä puutavaraa, lämpökäsiteltyä puuta tai vesilasikyllästettyä puuta.

2.5 IKKUNAT JA ULKO-OVET

Ikkunoiden ja ulko-ovien perinteinen materiaali on ollut normaali mäntypuu. Ikkunoiden ja ulko-ovien ulkopuoliset osat joutuvat alttiiksi sään vaikutuksille, mistä on seurauksena rakenteiden mahdollinen lahoaminen, kosteuselämisen aiheuttamat mittojen muutokset ja vääntymiset, pinnan halkeilu sekä tarve aika-ajoin tehtävälle huoltomaalaukselle. Em. syistä johtuen esim. ikkunoissa käytetään nykyisin varsin paljon alumiinia tai muovia ulkopuitteissa. Rakennusten palomääräykset voivat myös edellyttää ikkunalta tai ovelta palonkestoa.

Näin ollen normaalin modifioimattoman puun ominaisuudet eivät aina ole riittävät ikkunoiden tai ulko-ovien valmistuksessa. Ikkunan lahonkestoa saadaan parannettua käyttämällä ikkunan ulkorakenteissa AB-luokan kestopuuta. Dimesiostabiliteettia saadaan parannettua käyttämällä ikkunoissa ja ovissa esim. asetyloitua puuta ja palonkestoa käyttämällä vesilasikyllästettyä puuta. Puumuovikomposiitteja voidaan myös käyttää ikkunoiden valmistuksessa niiden suhteellisen hyvän säänkestävyyden ja helpon huollettavuuden takia. PVCmuovista valmistettu komposiitti on teknisesti soveltuvaa, koska sillä on muita puumuovikomposiitteja pienempi lämpölaajeneminen, se on kosteudenkestävää ja suhteellisen jäykkää (Caulfield 2010, 157). Toisaalta PVC-muovi sisältää klooria ja on siten poltettavuuden kannalta ongelmallinen.

2.6 SAUNA- JA KYLPYHUONESISUSTUKSET

Puu soveltuu hyvin käytettäväksi saunan sisustuksessa ja kylpyhuonekalusteissa. Saunan paneloinnissa ja laudepuuna käytetään yleisesti sellaisenaan kuusta, haapaa, abatsia tai tervaleppää. Laudepuuksi soveltuu hyvin myös lämpökäsittely haapa, mänty tai kuusi. Lämpökäsittely tekee havupuusta pihkottoman, mikä mahdollistaa sen käytön laudepuuna. Lisäksi lämpökäsittely parantaa puun lämmöneristyskykyä, jolloin laude ei tunnu liian kuumalta. Lämpökäsittely lisää myös pinnan vedenhylkivyyttä, jolloin pinnasta tulee helpommin puhdistettava. Lämpökäsittelystä johtuen puun pinnalla on vähemmän ravinteita bakteerikasvua varten, mikä lisää pinnan hygieenisyyttä.



Kuva: Puuinfo

2.7 LATTIAPINNOITTEET

Puuta käytetään lattiapinnoitteissa joko massiivipuusina pontattuina lattialautoina tai parkettina. Kilpailevia tuotteita puulle ovat laminaatit, muovi- ja tekstiilimatot ja keraamiset laatat. Lattiapinnoitteen tärkeitä ominaisuuksia ovat kaunis ulkonäkö, hyvä pinnan kovuus ja kulutuskestävyys sekä hyvä dimensiotabiilisuus kosteusvaihteluissa. Koolauksen päälle asennettavalta materiaalilta edellytetään myös hyvää taivutuslujuutta ja -jäykkyyttä. On myös hyvä, jos pinnoite tuntuu lämpimältä ja mukavalta käveltäessä. Puulajin valinta vaikuttaa suuresti em. ominaisuuksiin, etenkin pinnan kovuuteen.

Mäntyä käytetään yleisimmin pontattuna lattialautana. Sen huonoja puolia ovat pehmeys ja rakenteesta johtuva suurehko kosteuseläminen. Parketeissa käytetään pinnassa kovempia puulajeja, kuten tammea tai pyökkiä. Myös saarni, kanadanvaahtera ja useat trooppiset kovapuulajit ovat paljon käytettyjä parketeissa hyvän kovuutensa takia. Lautaparketeissa voidaan kosteuselämistä vähentää rakenteellisin keinoin laudan pituussuuntaan poikkisyn liimatulla keskikerroksella. Lattiapinnoitteille tärkeitä ominaisuuksia kuten kovuutta, kulutuskestävyyttä ja dimensiotabiilisuutta voidaan parantaa esim. vesilasikyllästyksellä, asetyloinnilla tai furfuloinnilla. Myös puun mekaaninen modifiointi puristamalla parantaa puun pintaosien kovuutta ja kulutuskestävyyttä, mutta dimensiotabiilisuus saattaa heikentyä. Puun kovuutta parantavat modifiointimenetelmät voivat avata yleisesti käytössä oleville luontaisesti pehmeille puulajeille (esim. mänty, kuusi, haapa, poppeli) uusia käyttökohteista, joissa ne voivat korvata yhä vaikeammin saatavien trooppisten kovapuiden käyttöä.



Kuva: Puuinfo

III

3–Modifoidut puutuotteet

MODIFIOIDUT PUUTUOTTEET

Tuomo Väärä, lehtori, Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

Tässä luvussa esitellään erilaisia modifioituja puutuotteita, niiden ominaisuuksia ja nykyisiä mutta myös mahdollisia uusia käyttökohteita. Aluksi käsitellään perinteisiä, jo käytössä vaikiintuneita tuotteita kuten painekyllästettyä ja lämpökäsiteltyä puutavaraa. Seuraavaksi käsitellään uusia ja kehitysvaiheessa tai tutkimuksen alla olevia uusia tuotteita, joilla voi tulevaisuudessa olla mahdollisuus nousta suosioon.

PAINEKYLLÄSTETTY PUUTAVARA

3.1 ELI KESTOPUU

3.1.1 Kestopuutuotteet

Painekyllästyksellä tarkoitetaan kyllästysaineen saattamista puun sisään kyllästysylinterissä paineen avulla. Näin saadaan kylläste tunkeutumaan riittävän syvälle puuaineeseen, ja kylästyksen teho kestää huomattavasti pidemmän aikaa kuin pelkkä aineen siveleminen puun pintaan. Painekyllästystä käytetään yleisesti puun biologisen kestävyuden parantamiseksi, joten tuotteet on tarkoitettu vaatimaan ulkokäyttöön.

Painekyllästyksessä on käytössä useita eri prosesseja, mutta useimmille on yhteistä seuraavat vaiheet (Koski 2008, 31 - 32).

- alkutyhjö (80 - 85 % alipaine, 15 - 60 minuuttia), jonka aikana imetään suurin osa puun solukoissa olevasta ilmasta pois, mikä antaa tilaa kyllästysaineelle
- kyllästysylinterin täyttö kyllästysaineella
- painejakso (10 - 16 barin ylipaine, 1 - 3,5 tuntia), jolloin kylläste tunkeutuu puuhun
- paineen lasku ja kyllästeen poisto kyllästysylinteristä varastosäiliöön
- lopputyhjö (80 - 85 % alipaine tai 15 minuuttia, kumpi tapahtuu ensin) ylimääräisen kyllästeen poistamiseksi

Taulukko 1. Kyllästysluokat (RT 10880 2006, 2)

Luokka NTR	Luokka EN 351-I	Suoja-aineen tunkeuma	Suoja-aine (tyypillinen)	Tunkeutuneen suoja-aineen määrä
M	NP5	Suoja-aine tunkeutunut pintapuun läpi	Kreosoottiöljy	Täytettävä SYKEN päätöksen sekä NTR:n hyväksymis- asiakirjan vaatimus
A	NP5	Suoja-aine tunkeutunut pintapuun läpi	Cu-tuotteet (kupari) Kreosoottiöljy	
AB	NP5	Suoja-aine tunkeutunut pintapuun läpi	Cu-tuotteet Metallivapaat tuotteet	
B	NP5	Vähintään 6mm:n lateraa- linen ja vähin- tään 50mm:n pituussuuntainen tunkeuma pintapuussa	Orgaaniset öljypohjaiset tuotteet	



Perinteisesti painekyllästyksessä on käytetty CCA-kyllästeitä (kupari-kromi-arseeni), mutta CCA-kyllästeiden (arseeni) käyttökielto EU:n alueella on johtanut siihen, että nykyisissä kyllästysaineissa tehoaineina ovat pelkästään kuparisuolat. Myös kreosootia käytetään erittäin vaativissa kohteissa, kuten ratapölkkyissä ja linjapylväissä (kreosootilla kyllästettyjen sähköpylväiden on todettu säilyvän Suomen oloissa jopa 80 vuotta). Ympäristö- ja terveysriskien vuoksi kreosootin käyttö on rajoitettu ammattikäyttöön, käytännössä ratapölkkyihin ja pylväisiin.

Kyllästyksen tehokkuus riippuu käytetystä kyllästysaineesta, sen tunkeumasta eli siitä, miten syväälle aine on tunkeutunut puuhun, ja jäämästä eli tehollisen kyllästeen määräästä puun kuutiometriä kohti. Painekyllästyksessä käytetään lähes yksinomaan mäntyä, koska kylläste saadaan helposti

tunkeutumaan männyn pintapuuhun. Kuusen kyllästäminen on hankalaa sen puuaineen huonon läpäisevyyden takia, ja koivu luontaisesti helposti lahoavana puuna ei sovellu kyllästykseseen. Käytännössä männylläkin saadaan kyllästettyä vain pintapuu sydänpuuhun saakka. Toisaalta männyn sydänpuun lahonkestävyys on luontaisesti varsin hyvä, joten käytännössä sen kyllästämisellä ei saavutettaisi merkittävää etua. Kestopuu-teollisuus ry:n mukaan painekyllästetyn puun käyttöikä ulkoikäkäytössä on vähintään 3 - 5 kertaa pidempi kuin kyllästänyt puun.

Painekyllästetty puu luokitellaan taulukon 1 mukaisiin kyllästysluokkiin (RT 21-10880 2006, 2).

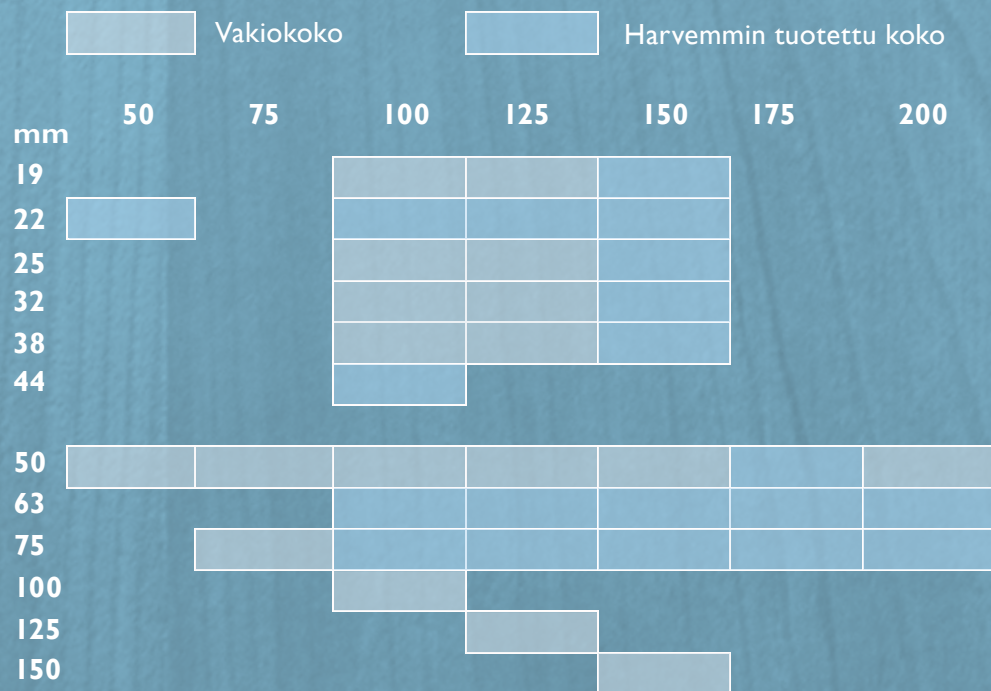
M, A ja AB luokat vastaavat standardin EN 351-1 kyllästysluokkaa NP5 ja luokka B kyllästysluokkaa NP3.

Suomessa mäntypuutavaraa kyllästetään kyllästysluokkiin A ja AB (RT 38263 2012, 1). Sekä A- että AB-luokan kestopuu kyllästetään samoilla kuparipohjaisilla kyllästysaineilla. A-luokkaan kyllästetyllä puutavaralla kyllästysaineen määrä on kyllästeestä riippuen pintapuussa 16 - 36 kg/m³. AB-luokassa kyllästysaineen määrä on pintapuussa 8 - 9 kg/m³ (Painekyllästetyn kestopuun käyttö- ja turvallisuusohje 2012, 2). Sydänpuuhun kyllästysaine ei juurikaan tunkeudu.

A-luokan painekyllästettyä puutavaraa käytetään maa- ja vesikosketuksessa olevissa rakenteissa sekä kantavissa ja erityistä turvallisuutta vaativissa rakenteissa. A-luokkaan kyllästetään 48 mm ja sitä paksumpi puutavara. Tuote merkitään valkoisella lipukkeella, jossa on merkintä NTR ja A. (RT 38263 2012, 1.)

Em. luokitus edellyttää, että

- puunsuoja-aine on hyväksytty kyseiseen luokkaan (NTR, Suomessa myös SYKE),
- puulaji on hyväksytty kyseiseen luokkaan,
- tuotantolaitos on hyväksytty tuottaman kyseisen luokan puutavaraa (Inspecta Sertifiointi Oy) ja
- kyllästetyn puutavaran laatua valvotaan (valmistaja, Inspecta Sertifiointi Oy).



AB-luokan painekyllästettyä puutavaraa käytetään maanpinnan yläpuolisissa säälle alttiissa rakenteissa. AB-luokkaan kyllästetään alle 48 mm paksu puutavara. Tuote merkitään keltaisella lipukkeella, jossa on merkintä NTR ja AB. (RT 38263 2012, 1.)

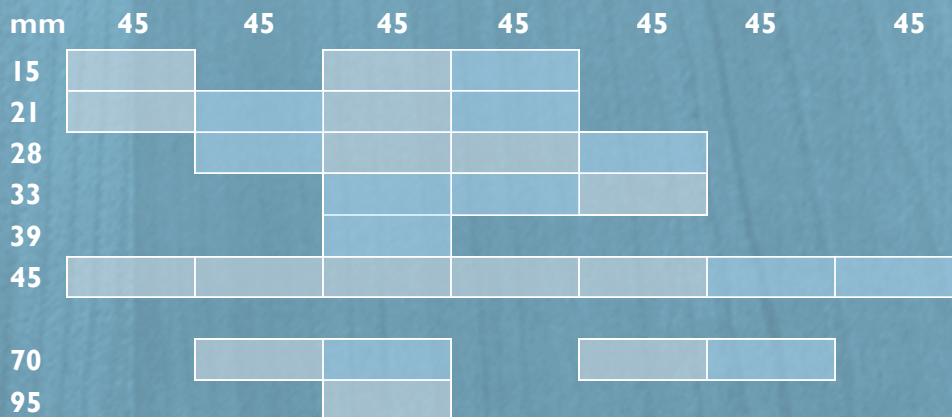
B-luokan kyllästetty puutavara on tavallisesti työstetty muotoon ennen kyllästystä, jotta riittävä tunkeuma saadaan taattua. B-luokan kyllästettyä puutavaraa käytetään esimerkiksi ikkunarakenteiden uloimmissa osissa. (RT 21-10880 2006, 3.)

M-luokan painekyllästetty puutavara on tarkoitettu erityyppisiin vaativiin olosuhteisiin, mm. merivedelle alttiissa kohteissa. M-kyllästysluokan puutavaraa ei Suomen olosuhteissa tarvita. (RT 38263 2012, 3.)

Kaaviokuva 1. Sahatun kestopuun poikkileikkausmitat

Vakiokoko
 Harvemmin tuotettu koko

Höylätyn kestopuun poikkileikkausmitat



Mitallistetun kestopuun poikkileikkausmitat



Sahattu kestopuu toimitetaan kaaviokuvan 1 mukaisina dimensioina. Höylätty ja mitallistettu kestopuu toimitetaan kaaviokuvan 2 mukaisina dimensioina. (RT 38263 2012, 2.)

Kestopuuta toimitetaan myös sylinterin ja kartion muotoisena sekä liimattuina tolpparakenteina. Paineekyllästettyä puuta käytetään yleisesti myös infrarakenteissa, kuten linjat ja valaisinpylväinä, aidantolppina, puistorakenteissa, laitureissa, silloissa ja ratapölkkyinä.

Vesipohjaisilla kuparia, booria tai muita tehoaineita sisältävillä kyllästeillä käsitelty puutavara on väriltään vaaleanvihreää tai ruskeaa ja hajutonta. Värillä ei ole merkitystä lahonkestävyyteen. Kreosoottijälyllä kyllästetty puutavara on väriltään tumman ruskeaa, ja kreosootin haju on selvästi aistittavissa. Öljypohjaiset puunsuoja-aineet ovat tavallisesti värittömiä. Liutinaineen aiheuttama haju heikkenee liutinaineen haihtuessa. Haihtumisaika on muutamia viikkoja.

Kaaviokuva 2. Höylätyn ja mitallistetun kestopuun poikkileikkausmitat

Taulukko 2. Ohjeelliset arvot havupuusahatavaran mittamuutoksille
1 %-yksikön kosteusmuutosta kohti kosteuden ollessa alle 30 %
(Painekyllästetty puu, Opas ammattilaiselle 2012, 7)

Sahatavarakappaleen kosteuden muutos	Sahatavarakappaleen poikkileikkauksen mittamuutokset	Sahatavarakappaleen pituuden mittamuutos
1 %	0,25 %	0,02 %

3.1.2 Kestopuun ominaisuudet

Painekyllästetyn puutavaran lujuus ei poikkea oleellisesti vastaavan kyllästämättömän puutavaran lujuudesta. Esimerkiksi lujuuslajiteltu sahatavara säilyttää CE-merkintänsä kyllästyksen jälkeenkin. Kyllästetyn puutavaran lujuusarvoja heikentävät normaalin puutavaran tavoin suuri kosteus ja lämpötila. Kyllästysmenetelmällä ei ole merkittävää vaikutusta taivutuslujuuteen, kimmokerrotimeen tai puristuslujuuteen. Jos tavallisen kyllästämättömän puutavaran lujuutta merkitään luvulla 1, kyllästetyn puutavaran taivutuslujuus saa arvon 0,98 – 1,03 ja kimmokerroin arvon 1,01 – 1,06. Kyllästys voi kuitenkin alentaa puutavaran iskutaivutuslujuutta, mikä tulee ottaa huomioon esimerkiksi pylviäitä käsiteltäessä. (Painekyllästetty puu, Opas ammattilaiselle 2012, 6.)

Painekyllästetty puu on hygroskoopista eli sen kosteus muuttuu ympäröivän ilman kosteuden mukaan. Vesiliukoisilla metallisuoloilla ja -yhdisteillä kyllästetyn puutavaran kosteuskäyttäytyminen vastaa normaalipuun kosteuskäyttäytymistä, paitsi hyvin kosteassa ilmassa, jossa kyllästetyn puun tasapainokosteus on 1 – 3 %-yksikköä korkeampi kuin vastaavalla kyllästämättömällä puulla. Kreosottikyllästeillä ja öljypohjaisilla kyllästeillä veden imeytyminen puuhun hidastuu. (Painekyllästetty puu, Opas ammattilaiselle 2012, 6 – 7.)

Painekyllästetyn puun mittapysyvyys ei eroa tavallisesta puusta, koska tasapainokosteuksissa ei ole merkittävää eroa. Kestopuuteollisuus ry antaa taulukon 2 mukaiset ohjeelliset arvot havupuusahatavaran mittamuutoksille yhden %-yksikön



Kuva: Kestopuuteollisuus, Ella Springare

kosteusmuutosta kohti (kosteuden muutos välillä 0 - 30 %, kosteuden ollessa yli 30 % kosteusvaihtelut eivät aiheuta mittamuutoksia) (Painekyllästetty puu, Opas ammattilaiselle 2012, 7)

Poikkileikkauksen mittamuutos tarkoittaa puussa tangentin suuntaa (pintalaudan leveysuunta). Säteen suunnassa (pintalaudan paksuussuunta) mittamuutos on noin puolet taulukossa esitetystä.

Käytetyt kylästeet eivät vaikuta puun palo-ominaisuuksiin. Tavalliseen puuhun verrattuna painekyllästetty puu on hieman vaikeammin syttyvä ja palaa suhteellisen hitaasti jälkihehkun ollessa voimakas. Painekyllästettyä puuta voidaan käsitellä palonsuoja-aineilla, mutta niiden toimivuus on syytä varmistaa valmistajalta. (Painekyllästetty puu, Opas ammattilaiselle 2012, 8.)

Kuparekyllästetyn puun sähkönjohtavuus on varsin pieni kosteuden ollessa alle 8 %, mutta se kasvaa nopeasti kosteuden puun noustessa yli 10 - 12 %. Tällä ei kuitenkaan ole käytännössä oleellista merkitystä materiaalin toimivuuden kannalta eristeenä. Sähkönjohtavuuden muutoksella on enemmän merkitystä käytettäessä kosteuden mittauksessa sähköisiä kosteusmittareita, jolloin mittaustulokset vääristyvät. (Painekyllästetty puu, Opas ammattilaiselle 2012, 8.)



Mikkeliipuisto

3.1.3 Kestopuun käyttö

Käyttöluokissa 1 ja 2 ei ole tarpeen käyttää kyllästettyä puutavaraa. Itse asiassa painekyllästetyn puun käyttö sisätiloissa on kielletty. Kyllästysluokan M puutavara on tarkoitettu käytettäväksi merivedessä, jonka suolapitoisuus on yli 0,7 % (esimerkiksi Itämeren eteläiset osat, Välimeri ja valtameret).

Painekyllästetty puu on työstettävissä normaaleilla puun-työstökoneilla ja terillä. Tarvittavat työstöt katkaisua lukuun ottamatta suositellaan kuitenkin tehtäväksi ennen kyllästystä.

Jos kyllästettyä puutavaraa joudutaan työstämään, työstöpin-
nat tulee käsitellä siveltävällä puunsuoja-aineella. Kyllästetyn
puutavaran työstöä tulee välttää, koska työstö saattaa tuoda
esille kyllästämätöntä puupintaa, ja työstöstä syntyvä jäte tulee
erotella muusta työstöjätteestä ja toimittaa kyllästetyn puu-
tavaran keräyspisteisiin tai jäteasemille. (Painekyllästetty puu,
Opas ammattilaiselle 2012, 11.)

Taulukossa 3 on esitetty painekyllästetyn puutavaran käyttö-
esimerkkejä eri käyttöluokissa (RT 21-10880 2006, 4).

Taulukko 3. Kyllästetyn puutavaran käyttöesimerkkejä eri käyttöluokissa (RT 21-10880)

Käyttöluokka EN 335-1	Käyttöalue	Esimerkkejä käytöstä	Suosittelava kyllästysluokka NTR
1	Puu kuivassa sisätilassa	Huonekalut, sisäverhoukset	–
2	Puu, joka ei ole suoraan alttiina säään vaikutukselle eikä kosketuksessa maahan mutta jonka kosteuspitoisuuden lyhytaikainen nousu on mahdollista	Kattotuolit, katetussa ulkotilassa oleva puu	–
3	Säälle ja kondenssikosteudelle alttiina oleva puu, joka ei ole kosketuksessa maahan eikä pysyvästi vedessä ja joka sijaitsee siten, että vaurioituneet osat on helppo vaihtaa ja että ne eivät aiheuta tapaturmavaaraa	Ikkunat ja ulko-ovet Sateelta suojaamattomat ulkovarusteet, pihakalusteet, piharakenteet, pihalaatat yms., jotka eivät kosketa maata	B AB
4	Puu, joka on jatkuvassa kosketuksessa maahan tai merivedeen, jonka suolapitoisuus on enintään 0,7 % (kaikki Suomen rannikkovedet) tai on erityiselle säärasitukselle alttiina ja jonka lujuuden ei henkilöturvallisuussyistä sallita heikentyvän tai jonka vaihtaminen on vaikeaa	Sähkö- ja puhelinpylväät, ratapölkkyt. Laiturien ja siltojen kantavat rakenteet. Aidan ja portin pylväät, seinärakenteiden alajuoksut, ulkopuoliset rakenteet kuten portaat, parvekerakenteet yms.	A
5	Puu suolaisessa merivedessä ja puu, jolle asetetaan erityisiä kestävyys- ja lujuusvaatimuksia	Satama- ja venelaiturit, peruspaalut, ym.	M



Asuntomessut

Kyllästetyn puutavaran työstössä suositellaan seuraavia suojatoimenpiteitä (Paineekyllästetyn kestopuun käyttö- ja turvallisuusohje 2012, 2):

- Käytä pölysuojainta ja suojalaseja.
- Käytä suojakäsineitä.
- Huuhto puupöly pois iholta työstön jälkeen.
- Pese kädet vedellä ja saippualla ennen ateriointia ja tupakointia.
- Jos kuparikyllästysaineita sisältäviä ainesosia joutuu silmään, huuhtelee silmä ja hakeudu tarvittaessa lääkäriin.

Kyllästetyn sahatavaran liimaaminen on hankalampaa, ja liimasaumoista voi tulla heikompia kuin normaalista sahatavara valmistettujen. Tämä johtuu siitä, että kyllästeiden komponentit haittaavat tehokkaan liimasauman muodostumista mm. enneaikaisen liiman kovettumisen, pinnan tukkeutumisen ja heikentyneen kostumisen takia. Liimattavan kyllästetyn puutavaran kosteuden tulee myös olla liimaukseen sopiva (käytännössä tämä edellyttää kyllästetyn puutavaran kuivausta liimalle sopivaan kosteuteen). Kestävä liimasauma saadaan kuitenkin aikaan, kun huomioidaan liiman ja kyllästeen ominaisuudet ja vuorovaikutukset. Kyllästetyn puun liimauksessa kannattaa hyödyntää liimanvalmistajien asiantuntemusta. (Paineekyllästetty puu, Opas ammattilaiselle 2012, 14.)

Kyllästetty puu kestää rakenteellisesti ilman pintakäsittelyä. Pintakäsittelyllä voidaan kuitenkin vähentää sään aiheuttamaa kulumista ja huoltotarvetta. Pintakäsittelyllä vähennetään auringon UV-säteilystä aiheutuvaa puun harmaantumista ja pienennetään kosteuden imeytymistä puuhun. Pintakäsitelty kestopuu säilyttää pidempään värinsä, ja kosteuselämisen aiheuttama pinnan halkeilu vähenee. Pintakäsittely tulee uusia parin vuoden välein.

Kyllästetty puutavara voidaan pintakäsitellä vesiliukoisilla tai liuotinpohjaisilla aineilla. Parhaan tuloksen antavat puoli-läpäisevän kalvon muodostavat pintakäsittelyaineet. Sävytetyt puunsuoja-aineet ja öljyt estävät tehokkaimmin puun harmaantumisen. Taulukossa 4 on esitetty eri käyttökohteisiin soveltuvia pintakäsittelyaineita (Paine-kyllästetty puu, Opas ammattilaiselle 2012, 13).

Kyllästetyn puutavaran tulee olla läpikuiva ja kosteuden alle 18 % ennen pintakäsittelyä. Ulkovarastoidun puun tulee antaa kuivua hyvissäkin olosuhteissa vähintään kuukauden, usein pidempäänkin ennen pintakäsittelyä. Pintakäsiteltäessä lämpötilan tulee olla yli 5 °C.

Kuparipohjaiset kyllästeet lisäävät puun ionijohtavuutta, joka nopeuttaa metallien korrosioreaktiota. Suuri puun kosteus lisää myös metallien korrosioherkkyyttä. Kyllästetyn puutavaran kiinnikkeiksi suositellaan mieluummin ruuveja kuin nautoja. Rakenteesta riippuen tulee käyttää seuraavia kiinnikkeitä (Paine-kyllästetty puu, Opas ammattilaiselle 2012, 11).

Kantavat ja henkilöturvallisuuden kannalta merkittävät rakenteet:

- ruostumattomasta teräksestä valmistetut kiinnikkeet, ruuvit ja naulat

Muut rakenteet:

- ruostumattomasta teräksestä valmistetut kiinnikkeet, ruuvit ja naulat
- kuumasinkityt kiinnikkeet, ruuvit, naulat ja ns. terassiruuvit. Sinkitys vähintään G185:n vahvuinen ASTM A123:n ja A153:n mukaisesti (sinkkikerroksen paksuus vähintään 90 µm)

Kyllästettyä puutavaraa ei saa polttaa kotitulisijoissa. Käytöstä poistettu kylästetty puutavara ja työstöjätteet tulee toimittaa vastaanottopisteisiin, joita ovat jätteenkäsittelykeskukset, kestopuun kierrätysterminaali sekä kuluttajien käyttöön tarkoitetut puutavarakauppojen kierrätyslavat. (Paine-kyllästetyn kestopuun käyttö- ja turvallisuusohje 2012, 3.)

Taulukko 4. Suositeltavat maalityypit
kyllästetyn puun käyttökohteen mukaan

Maalityyppi	Ikkunat, listoitukset ja ulkoseinät	Aidat, parvekkeet ja katteet	Portaat ja laiturit	Pihakalusteet	Terassit
Öljymaali	✓	✓	-	-	-
Lateksimaali	✓	-	-	-	-
Alkydimaali ja -lakka	-	-	-	✓	-
Kuultava puunsuoja	✓	✓	✓	✓	✓
Peittävä puunsuoja	✓	✓	-	✓	✓
Öljyäminen	-	✓	✓	✓	✓
Vaha	✓	✓	-	✓	✓



Kuva: Kestopuuteollisuus

LYHYESTI KESTOPUUSTA

Painekyllästetty puutavara eli kestopuu on puutuotteista ainoa vartenotettava vaihtoehto vaativiin käyttökohteisiin, joissa puulta edellytetään hyvää biologista kestävyyttä. Tällaisia kohteita ovat mm. puun käyttö maakosketuksessa ja merivedessä. Kestopuuta voidaan käyttää ulkona myös vähemmän vaativissa kohteissa, mutta näihin kohteisiin on tarjolla myös muita modifioituja puutuotteita. Tieto, että kestopuuta ei voisi maalata, on myytti. Kestopuu on maalattavissa, kunhan vain varmistetaan että se on riittävän kuivaa. Kestopuuta ei voi ympäristösyistä johtuen hävittää polttamalla, vaan käytöstä poistettava tuote tulee toimittaa keräyspisteisiin, joita on mm. puutavaraliikkeiden pihalla.

3.2 LÄMPÖKÄSITELTY PUU

3.2.1 Lämpökäsitellyt puutuotteet

Puun lämpökäsittelyssä puuta kuumennetaan 150 - 250 °C:n lämpötilassa vähäisen happimäärän läsnä ollessa (suojakaasua käyttäen). Lämpökäsittelyssä useat puun ominaisuudet muuttuvat. Puun hygroskooppisuus ja kosteuseläminen pienenevät, puun biologinen kestävyys paranee; toisaalta puun tiheys laskee ja lujuusominaisuudet heikkenevät jonkin verran. Puun väri myös tummuu. Ominaisuuksien muutokset johtuvat pääasiassa puussa olevien hemiselluloosien termisestä hajoamisesta. Mitä korkeampaa lämpötilaa ja pidempää käsittelyaikaa käytetään, sitä suurempia ovat muutokset. (Viitaniemi et al. 1996, 9.)

Maailmalla on käytössä useita lämpökäsittelymenetelmiä, joista tärkeimmät ovat (Hill 2006, 176 - 183):

ThermoWood®-menetelmä

ThermoWood®-menetelmä on Suomessa kehitetty menetelmä, jossa puuta lämpökäsitellään muutamia tunteja yli 180 °C:n lämpötilassa normaali ilmanpaineessa vesihöyryn toimitessa suojakaasuna. Menetelmällä voidaan käsitellä sekä tuoretta että kuivattua puutavaraa.

PLATO-menetelmä

PLATO-menetelmä on Alankomaissa kehitetty menetelmä, jossa lämpökäsittely tehdään kahdessa vaiheessa välikuivausta käyttäen. Varsinaiset lämpökäsittelyvaiheet ovat hydrotermolyyssivaihe korotetussa paineessa ja toinen lämpökäsittelyvaihe kuivissa olosuhteissa normaali-ilmanpaineessa. Käsittelylämpötilat ovat alhaisemmat kuin esim. ThermoWood®-prosessissa. Menetelmällä voidaan käsitellä sekä tuoretta että kuivattua puutavaraa.

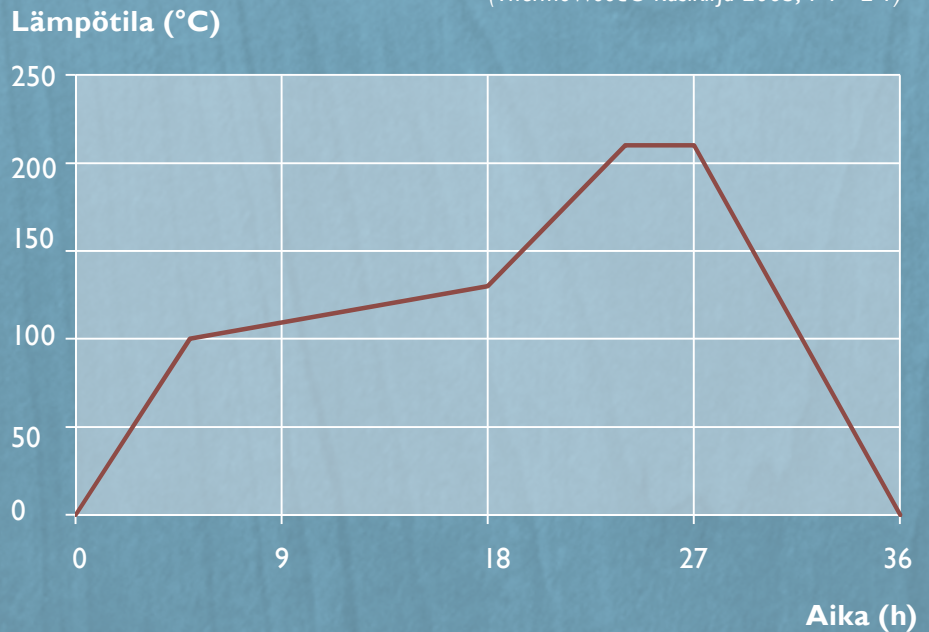
Retification- ja Le Bois Perdure -menetelmät

Ranskassa on käytössä kaksi puun lämpökäsittelymenetelmää. Retification-menetelmässä kuivattu puutavara käsitellään 180 - 250 °C:n lämpötilassa tyypen toimiessa suojakaasuna. Le Bois Perdure -menetelmässä käytetään tuotetta puuta, joka ensin kuivataan ja sitten lämpökäsitellään 200 - 230 °C:ssa vesihöyryn toimiessa suojakaasuna.

Menz Holz -menetelmä

Saksassa käytettävässä Menz Holz -menetelmässä lämpökäsittely tehdään kasvis- tai pellavaöljykeittona 180 - 220 °C:n lämpötilassa.

Kaaviokuva 3. ThermoWood®-tuotantoprosessista
(ThermoWood® käsikirja 2003, 1-1 - 2-1)



Jatkossa keskitytään tarkastelemaan lähinnä ThermoWood® tuotteita, koska niiden saatavuus on Suomessa hyvä.

Kaaviokuvassa 3 on esitetty ThermoWood®-lämpökäsittelyn tuotantoprosessi, joka voidaan jakaa kolmeen päävaiheeseen (ThermoWood® käsikirja 2003, 1-1 - 2-1):

Vaihe 1. Lämpötilan kohottaminen ja kuumakuivaus

Kamarin lämpötila nostetaan nopeasti noin 100 °C:een lämmön ja höyryn avulla. Tämän jälkeen lämpötilaa nostetaan tasaisesti 130 °C:een, minkä aikana kuumakuivaus tapahtuu ja puun kosteus laskee lähes nolnaan.

Vaihe 2. Lämpökäsittely

Kun kuumakuivaus on tehty, uunin lämpötilaa nostetaan välille 185 - 215 °C, ja kun tavoiteltu lämpötila on saavutettu, se pidetään vakiona 2 - 3 tunnin ajan loppukäyttösovelluksesta riippuen.

Vaihe 3. Jäähdytys ja kostutus

Viimeisessä vaiheessa lämpötilaa lasketaan vesisuihkujärjestelmien avulla, ja kun lämpötila on 80 - 90 °C, tehdään uudelleenkostutus, jossa puun kosteus saadaan käytettävälle 4 - 7 %:n tasolle.

ThermoWood® luokitellaan kahteen tuoteluokkaan: Thermo-S ja Thermo-D. Havu- ja lehtipuille on omat luokituksensa. Suomessa lämpökäsitellään mäntyä (*Pinus sylvestris*), kuusta (*Picea abies*), koivua (*Betula pendula*) ja haapaa (*Populus tremula*).

Thermo-S ja Thermo-D tuoteluokkien lämpökäsittely ja ominaisuudet poikkeavat toisistaan taulukon 5 mukaisesti (ThermoWood® käsikirja 2003, 4-1 - 5-1).

Taulukko 5. Lämpökäsittelyn vaikutus Thermo-S- ja Thermo-D-tuoteluokkien ominaisuuksiin

	Havupuut (mänty ja kuusi)		Lehtipuut (koivu ja haapa)	
	Thermo-S	Thermo-D	Thermo-S	Thermo-D
Käsittelylämpötila	190 °C	212 °C	185 °C	200 °C
Säänkestävyys	+	++	ei muutosta	+
Dimensiostabiiisuus	+	++	+	+
Taivutuslujuus	ei muutosta	-	ei muutosta	-
Värin tummuus	+	++	+	++

Korkeammasta käsittelylämpötilasta johtuen Thermo-D-tuotteet ovat väriltään tummempia, niiden säänkestävyys ja dimesiostabiilisuus kosteusvaihetuissa parempi kuin Thermo-S-tuotteiden. Thermo-D-luokan tuotteiden lujuus hieman heikkenee lämpökäsittelyssä.

Thermo-S- ja Thermo-D-tuoteluokkiin käsitellyn sahatavaran suositeltavia käyttökohteita on esitetty taulukossa 6 (ThermoWood® käsikirja 2003, 4-I - 5-I).

Taulukko 6. Thermo-S- ja Thermo-D-tuoteluokkiin käsitellyn sahatavaran käyttökohteita

Thermo-S, havupuut	Thermo-S, lehtipuut
<ul style="list-style-type: none"> • rakennekomponentit • sisustukset, kuivat tilat • kiintokalusteet, kuivat tilat • huonekalut • puutarhakalusteet • saunan lauteet • ikkuna- ja ovirakenteet 	<ul style="list-style-type: none"> • sisustukset • kiintokalusteet • huonekalut • lattiat • saunan rakenteet • puutarhakalusteet
Thermo-D, havupuut	Thermo-D, lehtipuut
<ul style="list-style-type: none"> • ulkoverhous • ulko-ovet • ikkunaluukut • ympäristörakenteet • sauna- ja kylpyhuonekalusteet • lattiat • puutarhakalusteet 	<p>Käyttökohteet samat kuin luokassa Thermo-S. Haluttaessa tummaa värisävyä käytetään luokan Thermo-D-tuotteita.</p>



Kuva: Stora Enso

3.2.2 Lämpökäsittelyn puun ominaisuudet

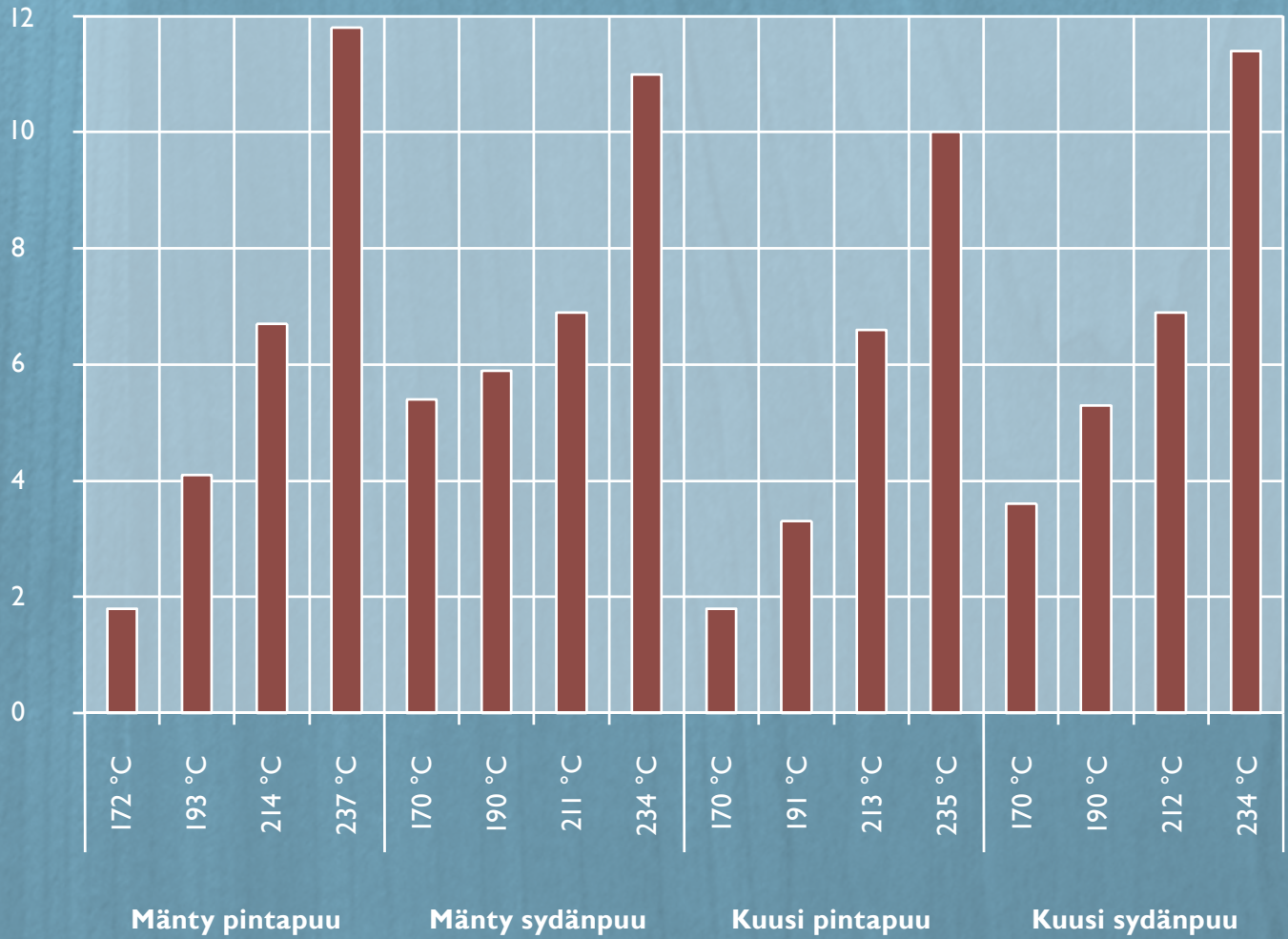
Puun lämpökäsittelyssä sen kemialliset ominaisuudet muuttuvat. Tämä näkyy lähinnä hemiselluloosien pilkkoutumisena ja niiden määrän vähenemisenä. Tästä on seurauksena puun vedensitomiskyvyn eli hygroskooppisuuden pieneminen sekä lahonkeston paraneminen. Hemiselluloosien pilkkoutuminen ei vaikuta oleellisesti puun lujuusominaisuuksiin. Selluloosa ja ligniini hajoavat korkeamassa lämpötilassa kuin hemiselluloosat. Selluloosan hajoamislämpötila on 240 - 350 °C, hemiselluloosien noin 200 - 260 °C. Lähinnä selluloosan hajoamisella on vaikutusta puun lujuusominaisuuksiin, joten lämpökäsittelyn lämpötilat täytyy olla selluloosan hajoamislämpötilan alapuolella. (ThermoWood® käsikirja 2003, 2-4 - 3-4.)

Lämpökäsittely aiheuttaa puuhun massahäviötä ja siten alentaa puun tiheyttä. Kaaviokuvassa 4 on esitetty männyn ja kuusen pinta- ja sydänpuun massahäviö käsiteltäessä puuta eri lämpötiloissa. Käsittelyaika on 3 tuntia. Massahäviö riippuu voimakkaasti käsittelylämpötilasta. Sydänpuun massahäviö on jonkin verran suurempi kuin pintapuun johtuen suuremmasta uuteainemäärästä. (Metsä-Kortelainen 2011, 33.)

Puun lämpökäsittely pienentää puun vedensitomiskykyä eli hygroskooppisuutta. Tästä on seurauksena pienempi kosteuseläminen ja puun parempi biologinen kestävyys. Kaaviokuvassa 5 on esitetty käsittelemättömän ja eri tavoilla lämpökäsittelyn kuusen tasapainokosteus ilman suhteellisen kosteuden funktiona.

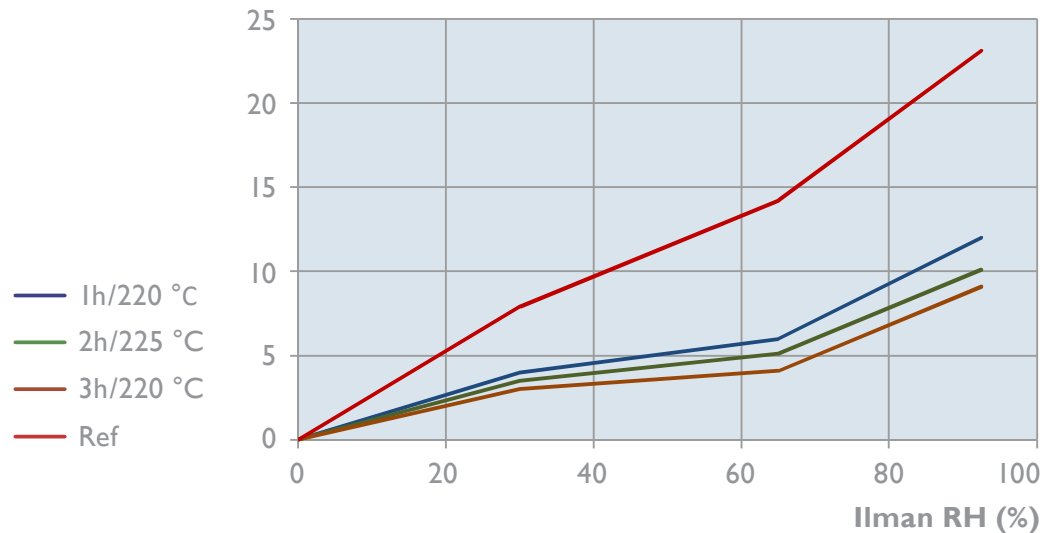
Massahäviö (%)

Kaaviokuva 4. Lämpötilan vaikutus männyn ja kuusen massahäviöön lämpökäsittelyssä.
Lämpökäsittelyaika 3 h. (Metsä-Kortelainen 2011, 33.)



Kaaviokuva 5. Kolmella tavalla lämpökäsitellyn kuusen tasapainokosteus suhteessa käsittelemättömään kuuseen (Ref)

(ThermoWood® käsikirja 2003, 10-4)



Karkeasti ottaen lämpökäsitellyn puun tasapainokosteus on noin puolet käsittelemättömän puun tasapainokosteudesta. Mitä korkeampi lämpökäsittelylämpötila on ja mitä pidempi lämpökäsittelyaika on, sitä pienempi on puun tasapainokosteus. Taulukossa 7 on esitetty lämpökäsittelyn ja painekyllästyksen vaikutusta eri puulajien tasapainokosteuteen 65 %:n ilman suhteellisessa kosteudessa. (Viitaniemi et al. 1996, 39.)

Lämpökäsitellyn puun vesiabsorptio vesiliotuksessa on myös pienempi kuin käsittelemättömän puun. Viitaniemen (Viitaniemi et al. 1996, 36 - 37) mukaan 1 vuorokauden vesiliotuksessa lämpökäsitellyn kuusen kosteus oli parhaimmillaan

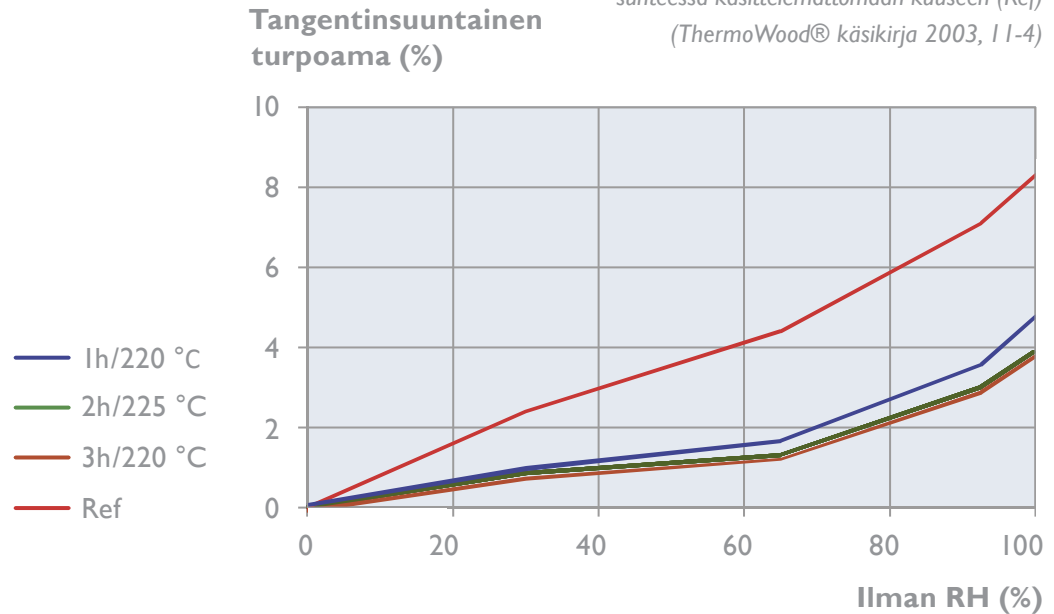
56 %, männyn 81 % ja koivun 87 % pienempi kuin käsittelemättömän. Uputusajan kasvaessa 21 vuorokautteen ero lämpökäsitellyn ja käsittelemättömän puun välillä pieneni. Mitä suurempi lämpökäsittelyn aiheuttama massahäviö oli, sitä vähemmän puuhun imeytyi vettä.

Lämpökäsitellyn puun dimensiostabiilisuus kosteusvaihteiluissa on parempi kuin käsittelemättömän puun johtuen alhaisemmasta tasapainokosteudesta. Kaaviokuvassa 6 on esitetty käsittelemättömän ja eri tavoilla lämpökäsitellyn kuusen tangentin suuntainen turpoama ilman suhteellisen kosteuden funktiona.

Taulukko 7. Männy, kuusen ja koivun tasapainokosteudet 65 %:n ilman suhteellisessa kosteudessa (Viitaniemi et al. 1996, 39)

Puulaji	Käsittely	Tasapainokosteus RH 65 %:ssa
Mänty	Käsittelemätön	10,9
	Painekyllästetty	10,8
	LK 205 °C/4h	6,1
	LK 230 °C/4h	4,8
Kuusi	Käsittelemätön	13,4
	Painekyllästetty	14,7
	LK 205 °C/4h	6,5
	LK 230 °C/4h	5,2
Koivu	Käsittelemätön	10,2
	Painekyllästetty	10,5
	LK 205 °C/4h	5,8
	LK 230 °C/4h	5,2

Kaaviokuva 6. Kolmella tavalla lämpökäsitellyn kuusen tangentin suuntainen turpoama suhteessa käsittelemättömään kuuseen (Ref) (ThermoWood® käsikirja 2003, I 1-4)



Kaaviokuvasta 6 voidaan todeta, että lämpökäsitellyn puun turpoama on pääsääntöisesti alle puolet käsittelemättömän puun turpoamasta. Säteen suunnassa turpoama on pienempi kuin tangentin suunnassa. Mitä korkeampi lämpökäsittelylämpötila on ja mitä pidempi lämpökäsittelyaika on, sitä pienempää on lämpökäsitellyn puun kosteuseläminen. Pieni kosteuseläminen pienentää myös puun kupertumista ja muita muodonmuutoksia kosteuden vaihdellessa.

Lämpökäsittely parantaa puun lahonkestävyyttä. Lahotuskokeissa lahoamisen määrää voidaan kuvata puun massahäviöllä lahotuskokeen aikana. Lämpökäsittelyn vaikutus ruskolahon aiheuttamaan lahoamiseen männyllä ja kuusella on esitetty taulukossa 8 (Metsä-Kortelainen et al. 2009, 112). Lahotajasieninä ovat Coniophora puetana ja Poria placenta.

Puu voidaan luokitella lahonkestävyyssuokkiin massahäviön mediaanin mukaan taulukon 9 mukaisesti (CEN/TS 15083-1, 2005).

Coniophora puetana -sienen kohdalla voidaan päästä lahonkestävyyden osalta luokkaan hyvin kestävä 3 tunnin käsittelyllä jo 210 °C:n lämpötilassa. Poria placenta -sienen kohdalla luokkaan hyvin kestävä päästäkseen tarvitaan 230 °C:n lämpötila. Toisaalta näin korkea lämpötila heikentää puun lujuutta ja tekee siitä tumman ja hauraan.

Vaikka puun lämpökäsittely parantaa lahonkestoa, ThermoWoodia ei suositella käytettäväksi jatkuvassa kosteassa maakosketuksessa kohteissa, joissa vaaditaan rakenteellista lujuutta (ThermoWood® käsikirja 2003, 18-4).

Taulukko 8. Lämpökäsittelyn vaikutus ruskolahon aiheuttamaan massahäviöön männyllä ja kuusella. Lahotusaika 10 viikkoa. (Metsä-Kortelainen et al. 2009, 112.)

Materiaali	Käsittely	Mediaani massahäviö (%)	
		Coniophora puetana	Poria placenta
Kuusi, pintapuu	Käsitlemätön	31,3	32,6
	3 h 170 °C	28,7	26,6
	3 h 190 °C	20,8	14,9
	3 h 210 °C	3,4	21,4
	3 h 230 °C	0,0	4,6
Kuusi, sydänpuu	Käsitlemätön	34,7	28,6
	3 h 170 °C	24,2	28,3
	3 h 190 °C	21,1	24,6
	3 h 210 °C	0,2	22,1
	3 h 230 °C	0,0	2,5
Mänty, pintapuu	Käsitlemätön	34,1	31,3
	3 h 170 °C	24,8	27,6
	3 h 190 °C	18,7	23,1
	3 h 210 °C	0,3	8,1
	3 h 230 °C	0,0	0,3
Mänty, sydänpuu	Käsitlemätön	32,7	24,6
	3 h 170 °C	21,9	21,2
	3 h 190 °C	14,9	19,9
	3 h 210 °C	1,9	3,5
	3 h 230 °C	0,0	0,2

Taulukko 9. Lahonkestävyysluokat massahäviön mediaanin perusteella (CEN/TS 15083-1, 2005)

Kestävyysluokka	Kuvaus	Massahäviö (%)
1	Hyvin kestävä	≤ 5
2	Kestävä	< 5 ja ≤ 10
3	Melko kestävä	< 10 ja ≤ 15
5	Heikosti kestävä	< 15 ja ≤ 30
5	Ei kestävä	< 30

Puun taivutuslujuus alenee lämpökäsittelyssä, sitä enemmän, mitä korkeampi käsittelylämpötila on. Viitaniemen (Viitaniemi et al. 1996, 41) mukaan pienten virheettömien koe-kappaleiden testissä männyn taivutuslujuus pieneni 0 - 25 % ja kuusen 3 - 27 % lämpökäsittelyssä lämpötilan vaihdelta välillä 180 - 230 °C. Koivun taivutuslujuus aleni lämpökäsittelyssä keskimäärin noin 15 %, mutta käsittelylämpötilalla ei ollut vaikutusta taivutuslujuuteen.

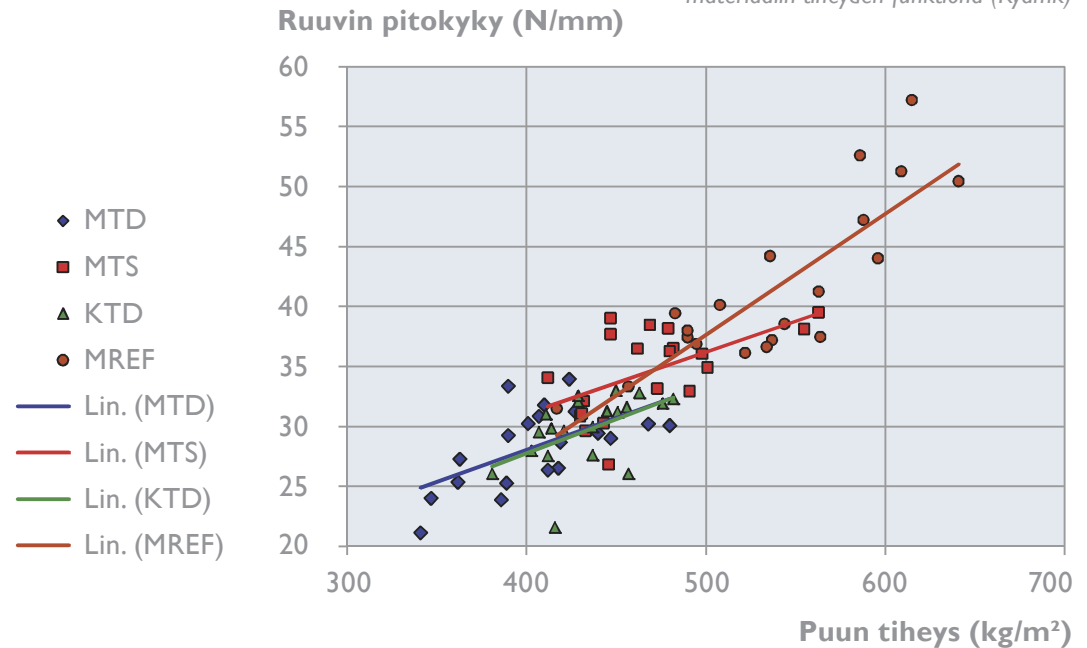
Lämpökäsittely ei alenna merkittävästi puun taivutuskimmokerrointa (ThermoWood® käsikirja 2003, 5-4).

Suuremmilla puokappaleilla, joissa on vikoja kuten oksia, on lämpökäsittelynä alhaisemmat lujuusarvot kuin käsittelemättömänä. Taulukossa 10 on esitetty lämpökäsittelyn kuusen (dimensio 38 mm x 100 mm, lämpökäsittely 230 °C:ssa,

4 tuntia) taivutuslujuudet ja kimmokertoimet standardin EN 408 mukaisessa testissä. Tasaannutus oli ennen testiä 45 %:iin ja 65 %:iin ilman suhteellisessa kosteudessa. (ThermoWood® käsikirja 2003, 6-4.)

Käsittelemättömän kuusen, joka on tasaannutettu 65 %:iin ilman suhteellisessa kosteudessa, viitearvot ovat taivutuslujuuden osalta 40 - 50 N/mm² ja kimmokertoimen osalta 9700 - 12000 N/mm². Taivutuslujuus on pienentynyt lämpökäsittelyssä jopa 40 %. Tämä johtuu virheistä, kuten oksia ympäröivien alueiden heikentymisestä. 190 °C:ssa käsitellyn puun taivutuslujuusero oli paljon pienempi (ThermoWood® käsikirja 2003, 6-4). Kimmokertoimessa ei ole tapahtunut oleellista muutosta. Taulukosta 10 nähdään myös, että lämpökäsittelyn puun taivutuslujuuden vaihtelu on varsin suurta.

Kaaviokuva 7. Lämpökäsittelyn männyn ja kuusen ja käsittelemättömän männyn ruuvinpitokyky materiaalin tiheyden funktiona (Kyamk)



Tästä syystä ThermoWood®-käsikirjassa suositellaan, ettei ThermoWoodia® käytetä kantaviin rakenteisiin, ennen kuin lujuusominaisuuksista saadaan lisää tietoa (ThermoWood® käsikirja 2003, 7-4).

Ruuvin pitokyvulla on merkitystä esim. terassirakenteissa. Lämpöpuun ruuvin pitokykyyn ei vaikuta niinkään itse lämpökäsittely, vaan puun tiheysvaihtelut. Lämpökäsittely puu on käsittelemätöntä kevyempää, jolloin myös ruuvin pitokyky on myös hieman heikentynyt. Esiporausreikiä pienentämällä saadaan ruuvin pitokykyä parannettua (ThermoWood® käsikirja 2003, 7-4). Vastaavanlaisiin tuloksiin on päästy myös Kymenlaakson amk:n puutekniikan laboratoriossa tehdyssä testauksessa keväällä 2010. Kyamkissa selvitettiin lämpökäsittelyn puun (Mänty Thermo-D ja Thermo-

S sekä kuusi Thermo-D) ruuvin pitokykyä eri suunnissa (pituus, säde, tangentti). Referenssimateriaalina oli käsittelemättömän männyn pintapuuta. Tulokset ruuvin pitokyvusta säteen suunnassa on esitetty kaaviokuvassa 7. Tuloksista voidaan päätellä, että vaihtelut ruuvin pitokyvussa selittyvät pääosin puun tiheysvaihteluista, eivät niinkään lämpökäsittelystä sinänsä. Pituuden ja tangentin suunnassa tulokset olivat hyvin samanlaiset kuin säteen suunnassa.

Puun lämpökäsittely parantaa jonkin verran puun puristuslujuutta. Syitä vastaan kohtisuoran kiskopuristuslujuuden on kokeissa havaittu olevan 30 % parempi kuin käsittelemättömän puun. Lämpökäsittely oli tehty 3 tunnin ajan 195 °C:n lämpötilassa ja testi oli tehty kostealle puulle (ThermoWood® käsikirja 2003, 7-4).

Taulukko 10. Lämpökäsitellyn kuusen taivutuslujuus ja kimmokerroin

Sarja	Taivutus-suunta	RH (%)	Tiheys * kg/m ³	Taivutus-lujuus * N/mm ²	Kimmo-kerroin * N/mm ²
1	Syrjä	45	425 ± 45	23,0 ± 11,2	11015 ± 3142
2	Syrjä	65	392 ± 40	22,5 ± 9,2	12326 ± 1681
3	Lape	45	392 ± 25	19,0 ± 5,4	10486 ± 1649
4	Lape	65	397 ± 17	27,9 ± 5,9	11913 ± 1422

*) keskiarvo ± keski poikkeama

Lämpökäsittely ei vaikuta heikentävästi puun syynsuuntaiseen puristuslujuuteen. Itse asiassa kuusen syysuuntainen puristuslujuus on lämpökäsitellyllä puulla hieman suurempi kuin käsittelemättömällä. Puristuslujuuteen vaikuttaa enemmän puun tiheys.

Lämpökäsittely heikentää puun iskutaivutuslujuutta. Esimerkiksi 3 tunnin ajan lämpötilassa 220 °C lämpökäsitellyn kuusen iskutaivutuslujuus vähentyi noin 25 % (ThermoWood® käsikirja 2003, 8-4).

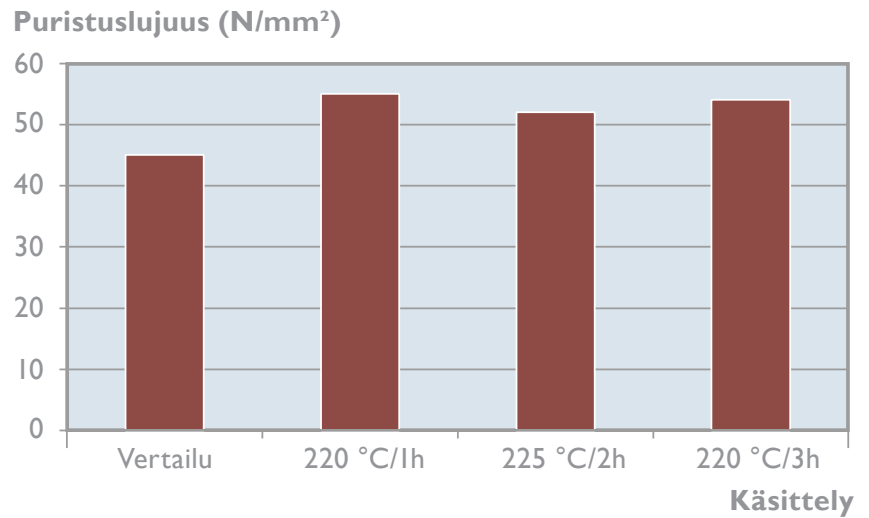
Lämpökäsittely 230 °C:ssa heikentää puun leikkauslujuutta enimmillään jopa 40 %. Alemmissä lämpötiloissa lämpökäsitellyn vaikutus on pienempi. Myös halkaisulujuuden on todettu pienenevän 30 - 40 %, sitä enemmän mitä korkeampaa lämpötilaa käytetään (ThermoWood® käsikirja 2003, 8-4). Alhaisempi halkaisulujuus täytyy ottaa huomioon kiinnittäessä lämpöpuuta nauiloilla tai ruuveilla.

Lämpökäsitellyn puun kovuus on hieman parempi kuin käsittelemättömän, mutta ero ei ole merkittävä (ThermoWood® käsikirja 2003, 9-4).

Lämpökäsitellyn puun lämmönjohtavuus on hieman pienempi kuin käsittelemättömän. Thermo-D-luokan ThermoWoodin® on VTT:n testien mukaan 0,099 W/mK, kun se käsittelemättömällä sahatavaralla on 0,12 W/mK (ThermoWood® käsikirja 2003, 13-4).

Lämpökäsittely huonontaa puun palonkestävyyttä. Tämä johtuu todennäköisesti haihtuvien aineiden vapautumisesta lämpökäsitellyn aikana. ThermoWood kuuluu käsittelemättömän puun tavoin paloluokkaan D. (ThermoWood® käsikirja 2003, 13-4 - 14-4.)

Kaaviokuva 8. Eri tavoilla lämpökäsitellyn kuusen syynsuuntainen puristuslujuus. Keskimääräinen tiheys on 420 kg/m³. (ThermoWood® käsikirja 2003, 7-4)



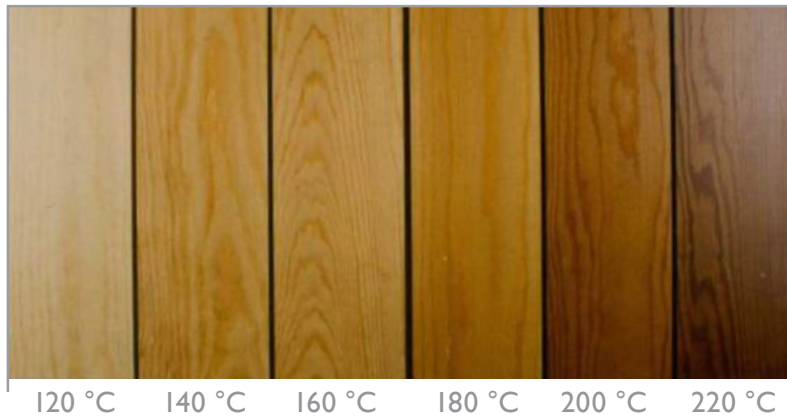
Säältämisessä lämpökäsitelty puu vettyy sateen vaikutuksesta vähemmän kuin käsittelemätön puu. Auringon UV-säteily muuttaa lämpökäsitellyn puun värin harmaaksi. Sään vaihtelut aiheuttavat myös puumateriaaliin pintahalkeamia. VTT:n tutkimuksen mukaan ThermoWoodin® pintahalkeamien määrässä ei nähty paranemista verrattuna käsittelemättömään vertailumateriaaliin, kun käytettiin korkeampia käsittelylämpötiloja. Käyttämällä pigmenttiä sisältävää pintakäsittelyainetta saadaan pintahalkeilua vähennettyä. (ThermoWood® käsikirja 2003, 21-4 - 22-4.)

Lämpökäsittely muuttaa puun värin ruskeaksi. Väri on sitä tummempi, mitä korkeampi lämpötila tai mitä pidempi käsittelyaika on. Kaaviokuvassa 9 on esitetty eri lämpötiloissa käsitellyn männyn väri (käsittelyaika 3 tuntia).

Lämpökäsittely aiheuttaa puulle savunomaisen ominaisuoksen. VTT:ssä on mitattu haihtuvien orgaanisten yhdisteiden emissiota lämpökäsitellystä puusta. Haihtuvista aineista suurin osa on terpeenejä. Lisäksi haihtuu pieniä määriä heksanaalia, etikkahappoa ja furfuraalia. Haihtuvat aineet eivät ole terveydelle vaarallisia. Lämpökäsittely vähentää oleellisesti terpeenien emissiota, mutta lisää etikkahapon ja furfuraalin emissiota. Lämpökäsitellyn puun savuntuoksen arvioidaan olevan peräisin furfuraalista. Tuoksu vähenee itsestään ajan mittaan, ja sitä voidaan vähentää myös pintakäsittelyllä. (ThermoWood® käsikirja 2003, 25-4.)

Kaaviokuva 9. Lämpötiloissa 120 °C
- 220 °C käsitellyn männyn väri.
Käsittelyaika 3 tuntia.
(ThermoWood® käsikirja 2003, 24-4)

Kuva:VTT



3.2.3 Lämpökäsitellyn puun työstö ja käsittely

Lämpökäsiteltyä puuta voidaan työstää samoilla laitteilla kuin normaalia käsittelemätöntä puuta. Koska lämpökäsitelty puu on lujuusominaisuuksiltaan, erityisesti halkaisulujuudeltaan, heikompa kuin käsittelemätön puu ja alttiimpaa mekaanisille vaurioille, tämä täytyy ottaa huomioon työstettäessä. Lämpökäsitelty puu ei sisällä pihkaa, mikä helpottaa työstöä. Lämpökäsitellyn puun työstössä, erityisesti sahauksessa, syntyvä puru on erittäin hienojakoista, joten purunpoistojärjestelmän tulee olla tehokas ja tiivis. Mahdollisesti joudutaan käyttämään myös hengityssuojaimia. (ThermoWood® käsikirja 2003, 1 - 5.)

Lämpöpuun sahauksessa suositellaan käytettäväksi normaalia tiheämpihampaisia teriä, jotta reunojen ja päiden

lohkeilu saadaan estettyä. Kuperaa sahatavaraa höylättäessä tulee huomioida, että syöttörullien paine voi halkaista kap-paleen. Sahattaessa ja jysittäessä työstöjärjestyksellä voidaan vähentää repeämiä. Terien terävyydellä on erityinen merkitys lämpöpuun työstössä. (ThermoWood® käsikirja 2003, 1-5 - 3-5.)

Puun lämpökäsittely heikentää jonkin verran sen liimatavuutta, koska lämpökäsittelyssä puun pinta haurastuu ja veden imeytyminen puuhun hidastuu. Erityisesti liimaus fyysikaalisesti kovettuvilla vesiliukoisilla liimoilla, kuten PVAc-liimalla voi olla ongelmallista. Veden imeytyminen liimasta puuhun hidastuu, jolloin tarvitaan pidempiä puristusajoja.

Kuva: Stora Enso



Kemiallisesti kovettuvat liimat kovettuvat normaaliajassa. (ThermoWood® käsikirja 2003, 4 - 5.)

Lämpökäsittelyn puun pintakäsittely ei oleellisesti poikkea normaalin puun pintakäsittelystä. Vesiohenteiset pintakäsittelyaineet edellyttävät hieman pidempää kuivumisaikaa. Pihkatomana lämpöpuu ei vaadi oksien erityiskäsittelyä (oksalakka) ennen maalausta. (ThermoWood® käsikirja 2003, 5-5.)

Lämpöpuussa kannattaa käyttää ruostumattomia nauvoja, ruuveja ja kiinnikkeitä, jottei puu värjäytyisi. Ruuveja ja nauvoja käytettäessä kannattaa tehdä esiporatut reiät, jottei puu halkeaisi. (ThermoWood® käsikirja 2003, 5 - 5.)

LYHYESTI LÄMPÖ- KÄSITELLYSTÄ PUUSTA

Lämpökäsittely puutavara on hyvä vaihtoehto ulkokäytössä, jossa tuote ei joudu suoraan maakosketukseen. Lämpöpuu on myös oiva materiaali esim. saunan lauteissa, koska siinä ei ole pihkaa ja sen lämmöneristyskyky on hyvä. Lämpökäsittely vähentää oleellisesti puun kosteuselämistä. Lämpökäsittely alentaa myös puun tiheyttä ja näin ollen myös lujuutta, joten lämpöpuuta ei tule käyttää vaativissa kantavissa rakenteissa. Lämpöpuu halkeaa myös normaalipuuta helpommin, joten tämä tulee ottaa huomioon työstöissä ja kiinnityksissä. Lämpöpuun kiinnityksissä kannattaa käyttää korroosion kestäviä kiinnikkeitä. Lämpökäsittely vanhentaa puuta, mikä tarjoaa uusia käyttökohteita esimerkiksi soitinrakennuksessa.

3.3 VESILASIKYLLÄSTETTY PUU

3.3.1 Yleistä puun vesilasikyllästyksestä

Vesilasi on piidioksidin ja natriumoksidin vesiliuos. Moolisuhteet (pii:natrium) voivat vaihdella, samoin vesilasipitoisuus eli konsentraatio liuoksessa. Vesilasi on terveydelle ja ympäristölle vaaratonta, hajutonta ja palamatonta. Ainoana terveysriskinä voi olla liuosta käsiteltäessä korkea pH (moolisuhteella 3,3 pH noin 11,2 ja moolisuhteella 2,5 pH noin 12,6) (Boren 2010, 57).

Puuta kyllästettäessä vesilasi täytyy saada tunkeutumaan puuhun ja kiinnittymään puun solukoihin. Riittävä tunkeuma (männyllä käytännössä sydänpuuhun saakka) voidaan saavuttaa normaaleilla painekyllästysprosesseilla, esim. Bethell-prosessilla, mikä kuitenkin edellyttää käytössä olevan kylästämön muuttamista vesilasikyllästyksen sopivaksi. Parhaat ominaisuudet (mm. lahonkesto, palonkesto, kovuus) saadaan

vesilasikyllästetylle puulle käyttämällä liuosta, jonka moolisuhde on suuri. Tällöin myös vesilasin pysyvyys puussa on parempi. Käytettäessä liuosta, jonka moolisuhde on suuri, riittävän tunkeuman saavuttaminen edellyttää puutavaran esikäsitelyä. Menetelmää on kehittänyt Hannu Boren Kymenlaakson amk:n puutekniikan laboratoriossa. Kyllästyksen jälkeinen lämpökäsittely lisää vesilasin polymerisoitumista ja parantaa vesilasin kiinnittymistä puuhun. Lämpökäsittely parantaa myös puun dimensiostabiilisuutta. Vesilasin kiinnittymistä puuhun voidaan parantaa myös metallisuoloilla, happamilla öljyillä ja hapoilla. (Boren 2010, 58.)

Vesilasikyllästettyä puuta on markkinoilla ainakin tuotemerkkeinä TimberSIL® (TimberSIL Wood, Yhdysvallat) ja Q-Treat® (Stora Enso Building and Living).

Taulukko 11. Lujuusominaisuuksia TimberSIL® versus Southern Yellow Pine
(Timber- SIL® GlassWood Fusion Products)

Ominaisuus	TimberSIL®	Southern Yellow Pine
Kimmokerroin (MPa)	13 000	12 400
Taivutuslujuus (MPa)	110	103
Puristuslujuus syysuuntaan (MPa)	49	40
Kiskopuristuslujuus (MPa)	9,0	6,2
Vetolujuus poikkisyyin (MPa)	3,8	3,2
Janka-kovuus (N)	4 500	4 000

3.3.2 Vesilasikyllästetyn puun ominaisuudet ja käyttö

TimberSIL Wood on kehittänyt vesilasilla kyllästetyn puutuotteen TimberSIL®, joka on ollut markkinoilla vajaat kymmenen vuotta. TimberSIL Wood kertoo tuote-esitteissään (TimberSIL® GlassWood Fusion Products), että vesilasin lisäyksellä puuhun (Southern Yellow Pine) saadaan seuraavia muutoksia puun ominaisuuksiin:

Taulukossa 11 on esitetty TimberSIL Woodin tuote-esitteissään (TimberSIL® GlassWood Fusion Products) ilmoittamia TimberSIL®:n lujuusominaisuuksia käsittelemättömään ja kuivattuun Southern Yellow Pineen (SYP) verrattuna.

- Lujuus- ja kimmo-ominaisuudet paranevat.
- Dimensiostabiilisuus kosteusvaihteluissa paranee.
- Kovuus paranee.
- Naulojen, ruuvien ja muiden kiinnikkeiden pitokyky paranee.
- Tiheys kasvaa.
- Palonkestävyys paranee.
- Biologinen kestävyys (lahonkesto, termittien kesto) paranee.



Kuva: Paavo Lehtonen

Suomen luontokeskus Haltian torni on tehty

Stora Enso Q-Treat -materiaalista

Tuotevalmistajan mukaan TimberSIL® on maalattavissa ja kuultokäsiteltävissä normaalin puun tapaan. Tosin pinnan hiontaa suositellaan ennen pintakäsittelyä. TimberSIL® ei aiheuta korroosiota metallikiinnikkeille. Valmistajan mukaan vesilasi kiinnittyy lujasti puuhun, eikä sen pois huuhtoutumista tapahdu pitkänkään ajan kuluessa. Tuote on myös luokiteltu eibiosidiseksi tuotteeksi (ei vaaraa terveydelle tai ympäristölle). (TimberSIL® GlassWood Fusion Products.)

Edellä mainittuihin tietoihin tulee suhtautua tietyllä varauksella, koska ne ovat tuotevalmistajan ilmoittamia, eikä esitteistä käy ilmi koejärjestelyt. Esim. FDOT (The Florida Department of Transportation) Structures Research Center testasi vuonna 2010 TimberSIL®:n taivutuslujuutta ja kimmoeroa pienellä otoksella. Tulosten mukaan TimberSIL-käsittely ei parantanut mutta ei heikentänytkään lujuus- ja kimmoarvoja käsittelemättömään referenssimateriaaliin verrattuna. (Wagner 2010.)

TimberSIL Wood suosittelee esitteissään (TimberSIL® GlassWood Fusion Products) TimberSIL®:n käyttöä kohteissa, joissa puu voi tulla alttiiksi säälle, laholle, hyönteisille, merivedelle, tulipalolle, mekaaniselle kulukselle ja kosteusmuutosten aiheuttamalle kosteuselämiselle, kuten mm.

- ratapölkyt
- pylväät
- laitureiden rakenteet (vedenalaiset, kannet)
- jokien kalaportaat
- terassit ja patiot
- ympäristörakentaminen (puistorakenteet ja -kalusteet, leikki puistot yms.)
- rakennusten ulkoverhoukset
- aidat
- katto- ja seinärakenteet (palkit, tolpat)
- lattiat ja portaat
- ovet ja ikkunat

Kuva: Stora Enso



Suomen luontokeskus Haltia

Suomessa vesilasikyllästys on varsin uusi puun modifiointimenetelmä, ja tuotteen tutkimus ja kehitystyö on yhä käynnissä. Näin ollen kaikista tärkeistä puun käyttöominaisuuksista ei ole vielä luotettavaa tietoa eikä varsinkaan kokemuksia pitkäaikaiskäytöstä.

Kymenlaakson ammattikorkeakoulussa (Kyamk) on eri hankkeissa tutkittu puun kyllästystä vesilasilla ja testattu vesilasilla kyllästetyn puun ominaisuuksia (Hannu Boren). Tuoteominaisuuksiin vaikuttavat vesilasiliuoksen konsentraatio, vesilasin jäämä ja tunkeuma sekä kyllästyksen jälkeinen lämpökäsittely, joten seuraavia tuloksia ei voida yleistää kaikelle vesilasilla kyllästetylle puutavaralle. Vesilasikyllästetyn puumateriaalin kehitystyö on edelleen meneillään teollisuuden toimesta. Seuraavat Kyamkissa testatut tulokset ovat kuitenkin suuntaa antavia. Ominaisuuksia on myös vaikea verrata suoraan TimberSIL®:n ominaisuuksiin, koska TimberSIL®:n valmistusparametrit, kuten vesilasiliuoksen moolisuhde, vesi-

lasin jäämä tuotteessa ja kyllästyksen jälkeinen lämpökäsittely eivät ole tiedossa.

Kyamkin testien mukaan pelkkä vesilasikyllästys ilman sitä seuraavaa puun lämpökäsittelyä lisää puun hygroskooppisuutta. Ero käsittelemättömään puuhun verrattuna tulee esille korkeassa ilman suhteellisessa kosteudessa (RH > 65 %). Tämä on havaittu myös muissa tutkimuksissa (Hill 2006, 65). Korkeampi tasapainokosteus lisää myös kosteuselämistä. Vesilasikyllästyksen jälkeisellä lämpökäsittelyllä voidaan vesilasikyllästetyn puun hygroskooppisuutta vähentää ja dimensiostabiliisuus saada käsittelemätöntä puuta paremmaksi.

Kyamkissa puun taivutuslujuutta ja leikkauslujuutta sekä kimmokerrointa taivutuksessa on testattu pienillä koekappaleilla. Tulosten mukaan vesilasikyllästys ei vaikuta männyn taivutuslujuuteen tai leikkauslujuuteen. Kimmokerroin on hieinan alentunut, mutta se saattaa selittyä vesilasikyllästyksen liittyvällä lämpökäsittelyllä.

Vesilasikyllästys parantaa puun kovuutta. Vesilasilla kyllästetyn männyn Brinell-kovuus kasvoi 36 % käsittelemättömään verrattuna ja koivun 32 % eli kovuus kasvoi yli tammen kovuuden. Mäntykappaleiden vesilasijäämä oli 34 kg/m³ ja lämpökäsittelylämpötila 140 °C. Koivukappaleilla vesilasijäämä oli 14 kg/m³ ja käsittelylämpötila 20 °C. (Boren 2008, 6.)

Vesilasikyllästyksellä saadaan parannettua puun palonkestävyyttä. Kyamk teetti vuonna 2008 Savonia-ammattikorkeakoulussa vesilasikyllästettyjen mäntylattia-aihioiden palotestin, jossa testattiin syttymisaikaa, paloetenemää ja savuntuottoa. Vertailumateriaalina oli käsittelemätön mäntylauta. Vesilasikyllästetyn puun syttymisaika oli keskimäärin lähes kaksinkertainen verrattuna käsittelemättömään, mutta syttymisajan hajonta oli suuri vesilasikyllästetyllä materiaalilla. Paloetenemä oli vesilasikyllästetyllä materiaalilla neljäsosa siitä, mitä se oli kyllästämättömällä materiaalilla. Savuntuotto oli pieni molemmilla materiaaleilla. (Boren 2008, 7.)

Vesilasikyllästetyn männyn lahonkestoja testattiin standardin EN113 mukaan. Kyamk teetti testit Mikkelin ammattikorkeakoulussa vuonna 2009. Lahotuskokeessa käytettiin neljää eri sientä (*Oligoporus placenta*, *Coniophora puteana*, *Coriolus versicolor*, *Gloeophyllum trabeum*). Lahotuskokeessa määritettiin sienikohtaiset massahäviöt vesilasikyllästetyille ja kyllästämättömälle männylle. Vesilasikyllästetyn männyn puuaineen sienikohtaiset keskimääräiset massahäviöt

vaihtelivat välillä 9 - 14 % sienestä riippuen. Käsittelemättömän männyn sienikohtaiset keskimääräiset massahäviöt vaihtelivat vastaavasti välillä 19 - 56 %, joten vesilasikyllästys vähensi selvästi puun lahoamista. Lahotetuille kappaleille tehtiin myös syysuuntaiset puristuslujuustestit. Vesilasikyllästettyjen kappaleiden puristuslujuus vaihteli välillä 24 - 57 N/mm². Kyllästämättömien kappaleiden puristuslujuus vaihteli välillä 0 - 40 N/mm² (suurimmalla osalla kappaleista lujuus oli alle 10 N/mm², osa kappaleista hajosi käsittelyssä). Puristuslujuus korreloi selvästi massahäviön kanssa. (Liekinen 2010, 13 - 20.)

Vesilasikyllästetylle puutavaralle ei ole tehty pitkäkestoisia työstökokeita. On kuitenkin viitteitä siitä, että vesilasikyllästetty puutavara kuluttaa työstökoneiden teriä nopeammin kuin normaali käsittelemätön puutavara. Kyamkissa tämä on huomattu höylän terien nopeamana kulumisena etenkin, jos vesilasijäämä puussa on suuri. Työstötavalla on myös merkitystä. Suoran pinnan höyläys ei aiheuta samanlaisia ongelmia, kuin esim. paneelin pontin höyläys, jossa on havaittu terien nopeaa kulumista ja siitä aiheutuvaa työstöpinnan palamista.

Kyamkilla on Palvaanjärvellä Miehikkälässä koerakennus, jossa on käytetty vertailumateriaalina vesilasilla kyllästettyä mäntyä mm. ulkoverhouksessa. Ulkoverhous on pintakäsitelty Tikkurilan Valtti-pohjusteella ja maalattu kahteen kertaan punaisella Tikkurilan Vinha-maalilla. Reilun kahden vuoden

seurantajakson aikana maalipinta on ulkoverhouksessa säilynyt vesilasikyllästetyllä materiaalilla yhtä hyvänä kuin käsittelemättömällä vertailumateriaalilla. Maalin halkeilua, maalin hilseilyä tai vesilasin läpätunkeutumista maalin läpi ei ollut havaittavissa. Myös maalattujen vesilasikyllästettyjen ikkuna-aihioiden kosteusrasitustesti (RH 90 %) osoitti, että maalipinta pysyi hyvänä. (Väärä et al. 2012a, 35.)

Kyamkissa tehtyjen kokeiden mukaan vesilasikyllästetyn männyn liimasauman leikkauslujuus ei poikkea kyllästämättömän puun liimasauman lujuudesta käytettäessä kylmäkoveettuvia formaldehydihartseja (melamiini, melamiini-urea, fenoli-resorsinoli). Näillä liimoilla myös vesilasikyllästetyn männyn liimasauman delaminointikokeiden tulokset eivät poikkea normaalipuusta. Polyuretaaniliimalla liimatun vesilasikyllästetyn männyn liimasauman lujuudet ovat jonkin verran pienemmät kuin käsittelemättömän. (Väärä et al. 2012b, 41.)

KyAMK:ssa on tehty vuonna 2010 ruuvin tartuntatesti vesilasikyllästetyille männylle. Vesilasikyllästetyssä männyssä ruuvin tartunta oli kaikissa suunnissa (pituus, säde, tangentti) parempi kuin käsittelemättömässä referenssimateriaalissa, mutta vesilasikyllästetyn materiaalin tiheys oli myös vesilasijäämästä johtuen merkittävästi (100 kg/m^3) suurempi kuin käsittelemättömän referenssimateriaalin (Ojala 2010, 25). Kyamkin Palvaanjärven koerakennuksessa vesilasikyllästettyä mäntyä on käytetty ulkoterassin materiaalina. Terassit on koottu ruos-

tumattomasta teräksestä valmistetuilla terassiruuveilla. Kolmen vuoden sääaltistuksen jälkeen ruuveissa ei ole tapahtunut korroosiota. (Väärä et al. 2012a, 38.)

TimberSIL Woodin esitteiden (TimberSIL® GlassWood Fusion Products) mukaan TimberSIL®:n elinkaari on pitkä. Ensimmäisestä käyttökohteesta poistettua tuotetta voidaan käyttää raaka-aineena seuraavassa käyttökohteessa. Lopulliseksi käyttökäsi suositellaan Timber- SIL®-hakkeen käyttöä maanparannusaineena, esim. kasvustojen juurella puun kuoren tai hakkeen ohella estämään rikkaruohojen kasvua.

Kyamkin energiatekniikan laboratorioissa on testattu vesilasipurun poltettavuutta. Vesilasipurua voidaan polttaa, eikä se aiheuta haitallisempia savukaasupäästöjä kuin normaali puukaan. Ongelmana poltossa on vesilasin sintraantuminen (lasisittuminen) polttokattilaan ja arinaan. Testeissä vesilasipurun sekoittaminen suhteessa 50:50 puupellettien sekaan ei aiheuttanut poltossa sintraantumista. Vesilasipuru tulee poltossa sekoittaa jonkin muun polttoaineen (hake, puru, pelletit) sekaan. (Väärä et al. 2012b, 52)

Stora Enso on kehittänyt puun modifiointia vesilasikyllästyksellä ja lämpökäsittelyllä, ja kehitystyö jatkuu edelleen. Materiaaliominaisuuksiin voidaan vaikuttaa kyllästysparametreilla, vesilasiliuoksen konsentraatiolla ja kyllästyksen jälkeisellä lämpökäsittelyllä. Stora Enso Building and Living on lanseerannut tuotteen nimeltä Q-Treat, joka on vesilasilla kyllästettyä ja kyllästyksen jälkeen lämpökäsiteltyä mäntyä.

Stora Enso ilmoittaa tiedotteissaan ja esitteissään Q-Treat-tuotteilla olevan seuraavia ominaisuuksia normaaliin käsittelemättömään puuhun verrattuna (Stora Enson Q-Treat-esite):

- parempi biologinen kestävyys (lahonkesto)
- parempi mittapysyvyys kosteusvaihteluissa
- parantunut palonkesto
- parempi kovuus ja kulutuskestävyys
- pihkaton
- ympäristöystävällinen, ei sisällä haitallisia kemikaaleja
- pintakäsiteltävissä normaalin puun tapaan

Q-Treat-tuotteet soveltuvat mm. seuraaviin käyttökohteisiin (Stora Enson Q-Treat-esite):

- laiturit
- terassit
- rakennusten ulkoverhous
- piharakenteet
- lasten leikkitelineet
- sähkö- ja valaisinpylväät
- meluesteet
- pitkospuut
- ratakiskojen aluspuut
- palonkestoja vaativat kohteet
- portaat ja lattiat



Kuva: Stora Enso

Q-Treat-tuotteet eivät sisällä haitallisia aineita, joten elinkaarensa päässä ne voidaan hävittää normaalin puun tapaan esim. polttamalla ne muun puumateriaalin joukossa. Yksistään polttamista ei suositella tuhkan sintraantumisen takia.

LYHYESTI VESILASIKYLLÄSTETYSTÄ PUUSTA

Vesilasikyllästetystä puusta ei uutena tuotteena ole kovin paljon käyttökokemuksia. Tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että vesilasikyllästyksellä voidaan lisätä puun kovuutta, parantaa palonkestävyyttä ja biologista kestävyttä. Vesilasin lisääminen puuhun vaikuttaa puun työstettävyyteen siten, että terät kuluvat nopeammin. Vesilasikyllästetty puu on vaihtoehto kohteisiin, joissa tarvitaan hyvää pinnan kovuutta, palonkestävyyttä ja lahonkestävyyttä. Vesilasikyllästyksen lisäksi puu myös yleensä lämpökäsitellään, jolloin myös dimensiostabiilisuus paranee. Luontokeskus Haltian ulkoverhous on tehty Stora Enson Q-Treat -materiaalista.

3.4 MÄNTYÖLJYKÄSITELTY PUU

Puuta voidaan modifioida imeyttämällä siihen luonnonöljyjä. Yksi mielenkiintoisimmista öljyistä on raakamäntyöljy. Sitä saadaan selluteollisuuden sivutuotteena (30 - 50 kg/sellutonni), se on ympäristölle vaaratonta, ja sillä on luontaisesti puuta suojaavia ja vettä hylkiviä vaikutuksia (Koski 2008, 55). Sydänpuun uuteaineet parantavat puun luontaista lahonkestävyyttä. Männyn tärkeimmät lahoa estävät uuteaineet ovat stilbeenit, mm. pinosylviini ja terpenoidit. Mäntyöljyn rasvahappojen ja hartsihappojen on myös todettu parantavan puun lahonkestävyyttä (Koski 2008, 59). Raakamäntyöljy soveltuu monia muita luonnonöljyjä paremmin puun modifiointiin, koska se on koostumus erilaisista öljyistä, hartseista ja vahoista. On todettu, että puulle saadaan paremmat vettä hylkivät ominaisuudet, jos käsittelyaine koostuu useammasta komponentista. Lisäksi raakamäntyöljylle ei ole sellaisenaan juurikaan käyttöä, vaan se yleensä tislataan eri jakeisiin.

Mäntyöljykäsittely tehdään öljylämpökäsittelyllä kuuman, yli 140-celsiusasteisen öljyn avulla. Käsittelyllä saadaan mäntyöljy tunkeutumaan puun sisään. Mäntyöljy suojaa puuta lahon ja muiden mikrobien vaikutuksilta. Esimerkiksi männyllä

suojavaikutuksia on havaittu, kun mäntyöljyjäämä on vähintään 100 kg/m³ (Väärä et al. 2012b, 21). Mäntyöljyllä kyllästämällä voidaan puulle saada jopa CCA- tai kreosoottikyllästeisiin verrattava lahonkesto. Tosin mäntyöljyjäämän tulisi olla yli 400 kg/m³ (Koski 2008, 61).

Parantuneen biologisen kestävyuden lisäksi mäntyöljykäsittely lisää puun hydrofobisuutta tekemällä pinnasta vettä hylkivän ja hidastamalla veden kapillaarista imeytymistä puuhun. Hydrofobisuus pienentää myös mäntyöljykäsittelyn puun kosteuselämistä ja vähentää lahoamisen riskiä. Toisin kuin lahonkesto, puun vettä hylkiviä ominaisuuksia saadaan selvästi parannettua jo alle 100 kg/m³ mäntyöljyjäämillä. (Koski 2008, 63 - 65.)

Kuten edellä todettiin, jotta mäntyöljykäsittelyllä saadaan puulle riittävä biologinen kestävyys, täytyy mäntyöljyn jäämän olla varsin suuri. Mäntyöljy kuuluu hitaasti kuivuviin öljyihin. Edellä mainituista seikoista johtuen mäntyöljy voi tihkua puun pintaan kyllästyksen jälkeen. Öljyn tihkumista pintaan voi tapahtua myös puun käytön aikana, kun puun pinta lämpenee esim. auringon vaikutuksesta.

Tihkuminen tekee pinnan tahmeaksi ja heikentää oleellisesti pinnan maalattavuutta. Tihkumista voidaan vähentää prosessiteknisin keinoin mm. kuivaamalla puu ennen mäntyöljykäsittelyä alle 10 %:n kosteuteen ja lämpökäsittelmällä puu kyllästyksen jälkeen puunsuoja-aineen polymerisoimiseksi, edistämällä öljyn hapettumista tai lisäämällä katalyytteja tai kuivikeaineita puunsuoja-aineeseen. Mäntyöljyn vesiemulsion käyttö kyllästyksessä pelkän mäntyöljyn sijasta myös vähentää öljyn tihkumista pintaan. (Väärä et al. 2012b, 21.)

Mäntyöljykäsittelyn puun kaupallinen tuotanto on Suomessa on varsin vähäistä. Ekopine Oy valmistaa mäntyöljyllä kyllästettyä puutavaraa, jossa mäntyöljyn jäämä on 150 – 200 kg/m³. Tuote on tarkoitettu ulkokäyttöön piha- ja ympäristörakentamiseen. (Ekopine-esitys.)

Kymenlaakson AMK:ssa on tehty männyille koekyllästyksiä mäntyöljyllä ja kyllästettyjen tuotteiden ominaisuuksia on testattu kenttäkokein Palvaanjärven koerakennuksessa sekä laboratorioskokeilla Kyamkin puutekniikan laboratoriossa.

Palvaanjärven koerakennuksessa on mäntyöljyllä kyllästettyä puutavaraa käytetty ulkoterasseissa, ulkoseinänverhouksessa

ja ulkovalaisinpylväissä. Seuranta ositti, että mäntyöljyllä käsiteltyjen terassielementtien kosteusvaihtelu sään vaihteluissa oli selvästi pienempi kuin käsittelemättömän puun. Mitä suurempi mäntyöljyjäämä tuotteessa oli, sitä pienempää oli kosteusvaihtelu. Suuri mäntyöljyjäämä vähensi myös terassilautojen halkeilua käsittelemättömään materiaaliin verrattuna. Terassilautoissa ei esiintynyt mäntyöljyn pintaan tunkeutumista materiaalilla, jonka jäämä oli noin 100 kg/m³. Sen sijaan tuotteella, jossa jäämä oli suurempi, mäntyöljyä tunkeutui pintaan mustana tervamaisena aineena. Lahonkestosta ei lyhyen seurannan takia saatu tuloksia. (Väärä et al. 2012a, 38 – 45.)

Palvaanjärven koerakennuksessa käytetty mäntyöljykäsitelty puu ei soveltunut ulkoverhousmateriaaliksi, koska pystysuorassa seinässä mäntyöljy tihkui maalin läpi pintaan aiheuttaen tahmean, tervamaisen pinnan. Sama ilmiö oli havaittavissa myös valaisinpylväissä, etenkin etelänpuolella, jossa auringon vaikutus on suurin. (Väärä et al. 2012a, 35 – 37 ja 45 – 47.)

Kyamkissa testattiin vuonna 2011 Puun modifiointiklus-
terihankkeen puitteissa mäntyöljykäsittelyn männyn taivu-
tuslujuutta, kimmokerrointa taivutuksessa ja leikkauslujuutta
pienillä virheettömillä koekappaleilla. Samassa hankkeessa
testattiin myös mäntyöljykäsittelyn männyn liimattavuutta.
Mäntyöljykäsittely tehtiin kyllästyssylinterissä mäntyöljy-
keittona noin 140 °C:n lämpötilassa.

Lujuustestien tulosten mukaan mäntyöljykäsittelyn män-
nyn taivutuslujuus heikkeni keskimäärin 10 - 17 % käsit-
telemättömään referenssimateriaaliin verrattuna käsittelystä
riippuen. Mäntyöljykäsittely heikensi myös hieman kimmo-
kerrointa taivutuksessa, mutta ei tilastollisesti merkitsevästi.
Mäntyöljykäsittelyn männyn leikkauslujuus syysuuntaan oli
15 - 20 % pienempi kuin käsittelemättömän referenssimate-
riaalin. (Väärä et al. 2012b, 32 - 33.)

Liimaustestissä verrattiin mäntyöljykyllästetyn männyn ja
käsittelemättömän referenssimateriaalin liimasauman leik-
kauslujuutta ja liimasauman delaminoitumista kosteusrasi-
tustestissä. Liimoina käytettiin huoneenlämmössä kovettuvia

liimoja (PUR, ME, MUF, PRF). Mäntyöljykäsittelyn män-
nyn liimasauman leikkauslujuus oli keskimäärin 20 % pie-
nempi kuin käsittelemättömän referenssimateriaalin. Eri
liimojen välillä ei ollut merkittävää eroa. Puustamurtuma-
prosentteissa ei ollut eroja mäntyöljykäsittelyn ja referenssi-
materiaalin välillä. Puustamurtuma-arvot olivat myös erit-
tään korkeat, keskimäärin 83 - 100 % liimasta riippuen,
joten mäntyöljykäsittely ei tässä testissä heikentänyt liiman
tartuntaa puuhun. Mäntyöljykäsittelyn puun referenssi-
materiaalia heikommalla leikkauslujuudella kuin heikom-
malla liimattavuudella. Liimasauman delaminoitumisaste
kosteusrasituksessa oli mäntyöljykäsitellyllä materiaalilla hie-
man suurempi kuin käsittelemättömällä referenssimateriaa-
lilla. Mäntyöljykäsittelyn materiaalin liimasauman keskimää-
räinen delaminoitumisaste oli kuitenkin kaikilla liimoilla alle
4 %, joten liimasauma kestää varsin hyvin kosteusvaihteluita.
(Väärä et al. 2012b, 36 - 42.)



Kuva: Ekopine Oy

LYHYESTI MÄNTYÖLJY- KÄSITELLYSTÄ PUUSTA

Puun mäntyöljykäsittely on mielenkiintoinen mutta vähän käytetty puun modifiointimenetelmä. Mäntyöljyä on runsaasti saatavilla, koska sitä saadaan selluteollisuuden sivutuotteena. Mäntyöljykäsittely vähentää puun vettymistä, ja siinä olevat kemikaalit parantavat puun lahonkestävyyttä. Suurilla mäntyöljymäärillä voidaan saavuttaa jopa painekylästetyn kestopuun lahonkesto. Suuria mäntyöljymääriä käytettäessä ongelmaksi tulee mäntyöljyn pysyminen tuotteessa. Sillä on etenkin auringonpaisteessa taipumus tihkua pintaan. Tutkimus- ja kehitystyötä tehdään, jotta mäntyöljy saataisiin paremmin kiinnittämään puuhun.

Taulukko 12. Asetyloidun männyn ja haavan tasapainokosteus 27 °C:n lämpötilassa (Rowell 2006, 6)

Puulaji	WPG (%)	Puun tasapainokosteus (%)		
		RH 30 %	RH 65 %	RH 90 %
Mänty	0	5,8	12,0	21,7
	6,0	4,1	9,2	17,5
	10,4	3,3	7,5	14,4
	14,8	2,8	6,0	11,6
	18,4	2,3	5,0	9,2
	20,4	2,4	4,3	8,4
Haapa	0	4,9	11,1	21,5
	7,3	3,2	7,8	15,0
	11,5	2,7	6,9	12,9
	14,7	2,3	5,9	11,4
	17,9	1,6	4,8	9,4

3.5 KEMIALISESTI MODIFIOITU PUU

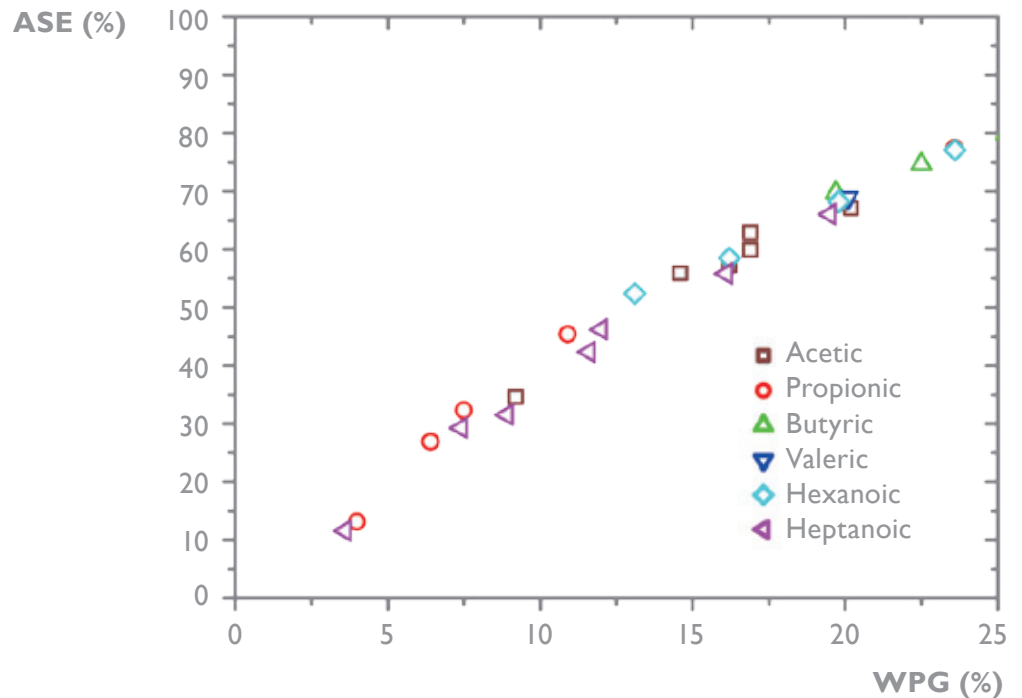
Puun kemiallisessa modifioinnissa puuhun lisätään kemikaaleja, jotka reagoivat puun polymeerien hydroksyyliyhmiensä kanssa. Kemiallisella modifioinnilla pyritään ensisijaisesti vähentämään puuhun sitoutuvan veden määrää ja näin ollen pienentämään puun kosteuselämistä ja parantamaan biologista kestävyyttä lahoa ja hyönteisiä vastaan. Joillakin kemikaaleilla voidaan parantaa myös puun kovuutta, kulutuskestävyyttä tai palonkestävyyttä. Puun kemiallisessa modifioinnissa on kokeiltu useita kemikaaleja, kuten mm. anhydridejä, furfuryylialkoholia, epoksia, isosyanaatteja, karboksyylihappoja, happoklorideja, formaldehydiä, fenoli- ja melamiinformaldehydihartseja. Useimpien kemikaalien kohdalla tutkimukset eivät ole johtaneet kaupalliseen tuotantoon joko sopivan tuotantotekniikan puuttumisen tai kemikaalin korkean hinnan takia. Puun asetylointi ja furfulointi on kuitenkin kehitetty kaupalliselle asteelle, joten niitä käsitellään seuraavaksi tarkemmin.

3.5.1 Asetyloitu puu

Puuta voidaan käsitellä etikkahappoanhydridillä, jolloin puuhutaan puun asetyloinnista. Etikkahappoanhydridi reagoi puun soluseinämän polymeerien hydroksyyliyhmiensä kanssa. Reaktiossa hydroksyyliyhmiä korvautuvat asetyyliyhmiillä ja sivutuotteena vapautuu etikkahappoa. Syntynyt etikkahappo pyritään poistamaan puusta, koska se heikentää puun lujuutta ja aiheuttaa hajuhaittoja. Puun asetylointia on tutkittu jo 1920-luvulta lähtien, ja se on edelleen yksi tutkituimmista puun modifiointimenetelmistä. Asetyloitua puuta on markkinoilla tuotenimillä Accoya® Titan Woodin valmistamana.

Asetyloinnin astetta kuvataan WPG-arvolla (Weight percentage gain), joka tarkoittaa puun painon nousua asetylointikäsitteystä johtuen. Käytännössä voidaan päästä enintään noin 25 % WPG:hen ilman, että puun lujuus alkaa kärsiä. Asetyloinnissa puun hydroksyyliyhmiin sitoutunut etikkahappoanhydridi vie sorptiopaikkoja vedeltä, jolloin puu jää ikään kuin turvonneeseen tilaan, eikä vedelle jää niin paljon sitoutumis-

Kaaviokuva 10. Kyllästysaineen (WPG) vaikutus turpoaman ASE-arvoon erilaisilla anhydrideilla käsiteltäessä (Hill 2006, 57)



paikkoja kuin käsittelemättömällä puulla. Tästä seuraa puun tasapainokosteuden aleneminen ja kosteuselämisen väheneminen normaaliin puuhun verrattuna.

Taulukossa 12 on esitetty asetyloinnin vaikutusta männyn ja haavan tasapainokosteuteen erilaisilla WPG-arvoilla (Rowell 2006, 6). Mitä suurempi on asetyylin määrä, sitä alhaisempi on puun tasapainokosteus, esimerkiksi WPG-arvolla 15 % sekä männyn että haavan tasapainokosteus on vain noin puolet käsittelemättömään puuhun verrattuna.

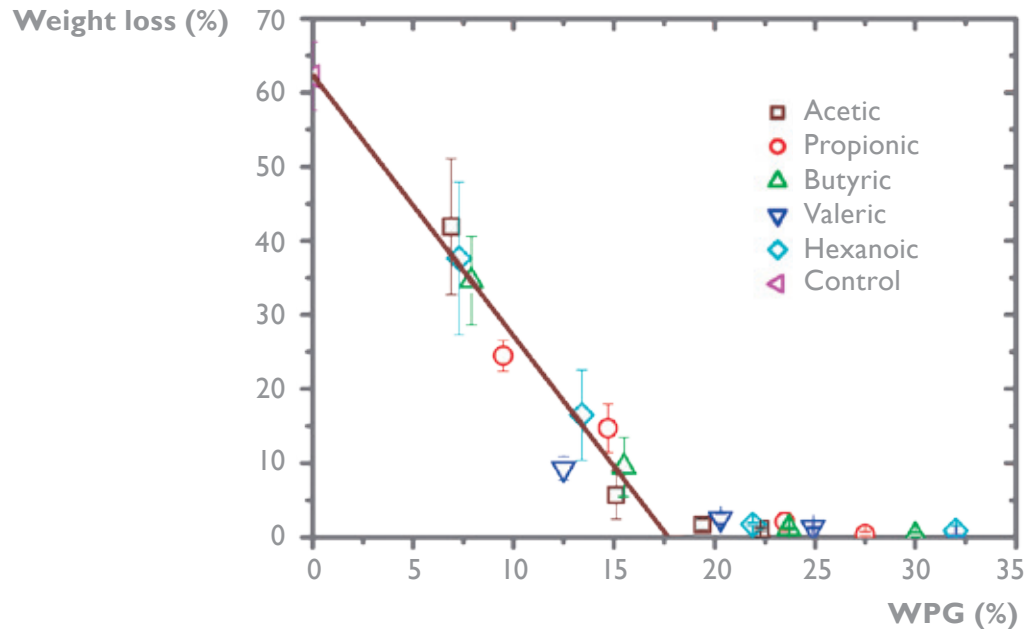
Asetyyliyhdykset kiinnittyvät puuhun varsin lujasti, eikä sannottavaa poishuhtoumista tapahdu syklisessä ilman suhteellisen kosteuden vaihtelussa (RH 30 % → RH 90 % → RH 30 %) pitkänkään ajan kuluessa (yli 20 vuotta) (Rowell 2006, 6).

Kaaviokuvassa 10 on esitetty WPG-prosentin vaikutus ASE-arvoon erilaisilla lineaarisen ketjun anhydrideilla (Acetic on etikkahappo). ASE-arvo kuvaa sitä, kuinka paljon turpoama pienenee käsittelemättömään puuhun verrattuna. Kuvasta

ilmenee, että etikkahappoanhydridin WPG-arvo 17 % vähentää puun turpoamaa noin 60 %. (Hill 2006, 57.)

Asetyloinnin vaikutus puun lujuuteen vaihtelee eri tutkimuksissa jännitystavoittain ja puulajeittain. Jotkut lujuusominaisuudet ja kovuus voivat parantua johtuen asetyloidun puun käsittelemätöntä puuta alhaisemmasta tasapainokosteudesta. Toisaalta asetyloinnin puuta turvottava vaikutus vähentää todellisen puuaineen määrää kuormitusten alaisten kappaleiden poikkileikkauksessa, mikä heikentää lujuusarvoja. Myös suuret WPG-arvot ja lämpökäsittely pilkkovat puun soluseinämän polymeerejä, mikä myös heikentää puun lujuutta. Erään tutkimuksen mukaan asetylointi pienensi männyn (*Pinus sylvestris*) taivutuslujuutta ja kimmokerrointa 6 %, mutta lisäsi kuusen (*Picea abies*) vastaavia arvoja 7 %, joten selkeää vaikutusta asetyloinnin vaikutuksesta puun lujuuteen ei voida havaita (Hill 2006, 58). Yleisesti ottaen voidaan todeta, että asetylointi ei oleellisesti muuta puun lujuus-

Kaaviokuva 11. Kyllästysaineen (WPG) vaikutus Korsikan männyn pintapuun painohäviöön lahotuskokeessa *Coniophora puteana* -sienellä erilaisilla anhyrideilla käsiteltäessä (Hill 2006, 60)



ominaisuuksia, jos asetylointiin liittyvä lämpökäsittelylämpötila ei nouse liian korkeaksi (120 – 140 °C) (Hill 2006, 76).

Asetylointi muuttaa puun akustisia ominaisuuksia. Sekä äänen nopeus että ääniabsorptio pienenevät asetyloidussa puussa. Asetyloitu puu soveltuu musiikki-instrumenttien valmistukseen. (Hill 2006, 60.)

Asetylointi parantaa merkittävästi puun biologista kestävyttä (lahonkesto, hyönteisten kesto). Paremman biologisen kestävyden katsotaan johtuvan osaltaan siitä, että etikkahappoanhydridi reagoi kemiallisesti puun vapaiden hydrdoksyyliiryhmien kanssa vähentäen veden sitoutumista puuhun ja alentaen puun tasapainokosteutta. Lahottajasienten toiminta edellyttää yleensä yli 20 %:n kosteutta puussa. Asetyloinnin oletetaan myös muuttavan puun kemiallista luonnetta niin, etteivät tietyt entsyymit pysty enää tunnistamaan puuainetta ja näin ollen hajottamaan soluseinämän polymeerejä. WPG-arvolla on vaikutusta lahonkestävyyteen. Kaaviokuvassa 11 on esitetty asetyloidun puun (Korsikan männyn pintapuun) painohäviön riippuvuus WPG-arvosta

erilaisilla lineaarisen ketjun anhyrideilla (acetic on etikkahappo) *Coniophora puteana* -sienellä (ruskolaho) altistuksessa. Käsittelemättömän puun (WPG 0 %) painohäviö on lahotuskokeessa ollut noin 65 %. Etikkahappoanhydridiä käytettäessä nollapainohäviöön on päästy alle 20 %:n WPG-arvolla. (Hill 2006, 64.)

Lukuisissa testeissä asetyloinnin on todettu parantavan puun kestoja termiittejä vastaan. Esimerkiksi Indonesiassa tehdyssä yhden vuoden mittaisessa termiittikokeessa 22 %:n WPG:hen asetyloitu männyn pintapuu menetti painostaan vain 2 %, kun samassa ajassa käsittelemätön referenssimateriaali menetti painostaan 93 %. Asetylointi antaa suojaa myös laivamotoja vastaan, mutta suoja ei ole CCA-kyllästeiden tai kreosootin veroinen. Eräissä testeissä altistettiin viisi asetyloitua mäntykappaletta (22 % WPG) ja viisi käsittelemätöntä mäntykappaletta laivamadolle (*Teredo navalis*). Asetyloiduista kappaleista neljä oli koskemattomia neljän vuoden altistuksen jälkeen, kun kaikki käsittelemättömät referenssikappaleet saivat tuhoja jo yhden vuoden altistuksen jälkeen. (Hill 2006, 70.)

Asetyloinnin vaikutusta puun liimattavuuteen on myös tutkittu. Asetylointi vähentää puun reaktiokykyisiä hydroksyyliiryhmiä, jotka ovat useilla puuliimoilla edellytyksenä sidoksen syntymiseen puun ja liiman välille (koheesio). Eräissä tutkimuksissa selvitettiin asetyloidun keltapoppelin liimattavuutta useilla eri liimoilla (polyuretaani, isosyanaatti, polyvinyyliasetaatti, neopreeni, kaseiini, epoksi, polyamidi, aminohartsit, fenolihartsit ja fenoli-resorsinoli-hartsit). Yleisesti ottaen liiman tartunta heikkeni asetyloidulla puulla WPG:n kasvaessa. Poikkeuksena oli neopreenikontaktiliima ja polyuretaaniliima, joita käytettäessä liiman tartunta parani. Kuumakovettuvilla liimoilla saatiin parhaat tulokset sekä kuivana että vesiliotuksen jälkeen. Märissä olosuhteissa resorsinoli-hartsilla, kylmäkovettuvalla polyvinyyliasetaattiliimalla, melamiinihartsilla sekä happokovettuvalla fenolihartsilla saatiin asetyloidulla puulla parempia liimasauman lujuusarvoja kuin käsittelemättömällä. (Hill 2006, 73 – 74.)

Asetyloitu puu on terveydelle ja ympäristölle vaaratonta. Asetyloitua puuta voidaan työstää normaalin puun tapaan. Asetyloidusta puusta tehtyihin rakenteisiin suositellaan ruostumattomasta teräksestä valmistettuja kiinnikkeitä, koska asetyloinnissa puuhun vapautuu korroosiota lisäävää etikkahappoa (Tullo 2012).

Asetyloidun puun valmistajat, esim. Accsys Technologies mainitsevat verkkoesitteessään (Accoya-esite) asetyloidulle puulle mm. seuraavia parantuneita ominaisuuksia käsittelemättömään puuhun verrattuna.

- parempi säänkestävyys
- parempi biologinen kestävyys (laho, hyönteiset)
- parempi dimensiostabiilisuus
- parempi kovuus
- parempi pintakäsiteltävyys ja maalatun pinnan pidempi huoltoväli
- parempi lämmöneristävyys

Accsys Technologies suosittelee verkkoesitteessään (Accoya) asetyloidulle puulle mm. seuraavia käyttökohteita:

- ulko-ovet, ikkunat, ikkunaluukut
- ulkoseinäverhoukset
- terassilaudoitukset
- puutarhakalusteet
- aidat, meluaidat
- veneiden kansirakenteet ja laiturit



Kuva: Accoya

3.5.2 Furfuloitu puu

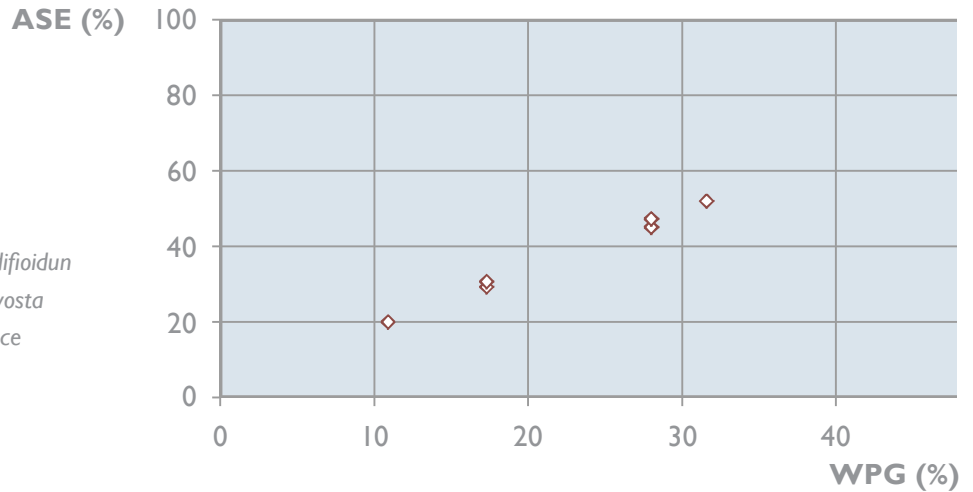
Eräs puun modifiointimenetelmä on furfulointi, jossa puu kyllästetään furfuryylialkoholilla. Furfuryylialkoholi valmistetaan furfuraalista. Furfuraalia saadaan pentoosipitoisista luonnonmateriaaleista, kuten sokeriruokomelassista, maissin tähkistä tai lehtipuuhakkeesta (esim. koivu) laimean rikkihapon avulla. Furfuryylialkoholi on ympäristöystävällinen, uusituista luonnonvaroista valmistettava kemikaali eikä kuluta fossiilisia tai muita uusiutumattomia luonnonvaroja.

Furfuloidun puun valmistus koostuu seuraavista vaiheista. Aluksi puu painekyllästetään furfuryylialkoholin ja katalyyttien vesiliuoksella riittävän tunkeuman aikaan saamiseksi. Seuraavassa vaiheessa furfuryylialkoholi polymeroidaan ja kovetetaan kuumen höyrykäsittelyn (80 - 140 °C) avulla. Tuloksena ovat voimakkaasti haaroittuneet ja verkkoutuneet furaanipolymeerit, jotka sitoutuvat puun soluseinämän polymeereihin.

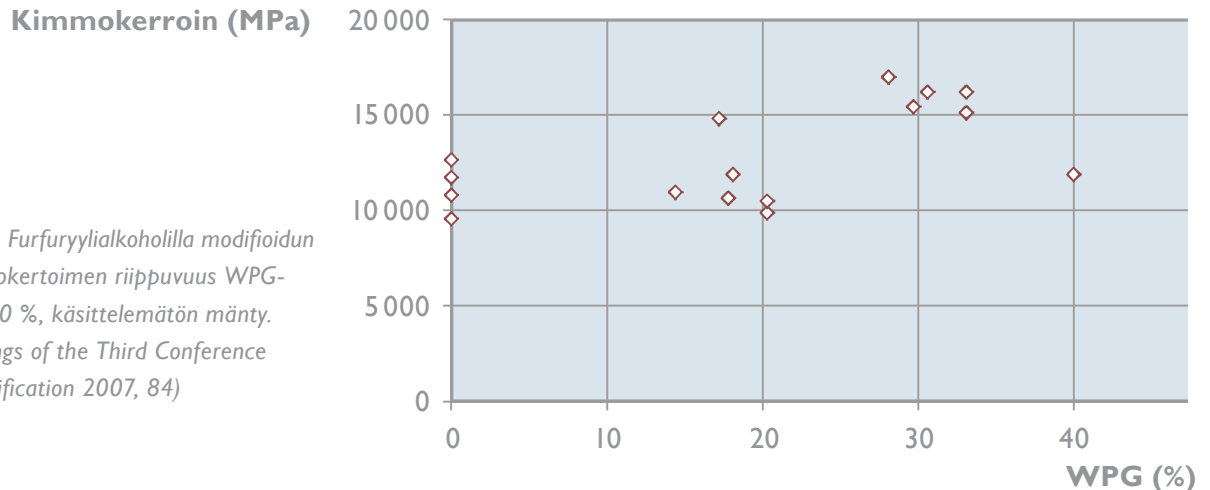
Viimeisessä vaiheessa puutavara kuivataan ja tasaannutetaan toimituskosteuteen. (Homan et al. 2004, 370.)

Puun modifiointia furfuryylialkoholilla on tutkittu jo 1950-luvulta alkaen, mutta menetelmä on kehitetty kaupalliselle asteelle vasta viime vuosikymmenellä. Kehitystyössä ovat voimakkaimmin olleet mukana kanadalaiset, norjalaiset ja ruotsalaiset tutkimuslaitokset ja yritykset (Hill 2006, 189). Tuloksena ovat syntyneet kaupalliset tuotteet VisorWood® ja Kebony®, joiden valmistus alkoi vuonna 2003. WisorWood® on furfuloitua pohjoismaisen männyn pintapuuta, jota voidaan käyttää vaativissa ulkokohteissa, kuten terasseissa ulkoverhouksissa ja katteissa. Kebony® on furfuloitua eri mäntylajien pintapuuta tai lehtipuuta, kuten pyökkiä tai saarnea, ja sitä voidaan käyttää vaihtoehtona trooppisille kova-puille esim. seinäpaneeleina ja lattian pinnoitteina kohteissa

Kaaviokuva 12. Furfuryylialkoholilla modifioidun männyn ASE-arvon riippuvuus WPG-arvosta (The Proceedings of the Third Conference on Wood Modification 2007, 83)



Kaaviokuva 13. Furfuryylialkoholilla modifioidun männyn kimmokerroimen riippuvuus WPG-arvosta. WPG 0 %, käsittelemätön mänty. (The Proceedings of the Third Conference on Wood Modification 2007, 84)



joissa trooppisen puun ulkonäkö, kovuus ja dimesiostabiilisuus ovat tärkeitä ominaisuuksia. (The Proceedings of the Third Conference on Wood Modification 2007, 11.)

Furfulointi parantaa lähinnä seuraavia puun ominaisuuksia: dimensiostabiilisuus, lahon ja hyönteisten kestävyys sekä kovuus. Furfulointi vaikuttaa myös puun väriin tehden siitä tummemman. Furfuloinnin vaikutus puun ominaisuuksiin riippuu suuresti furuaanin määrästä puussa eli WPG-arvosta (kuinka paljon puun massa on suhteellisesti noussut furfulointikäsitelyssä). VisorWood®-tuotteiden WPG on välillä 20 - 40 % ja Kebony®-tuotteiden WPG voi olla jopa 100 % (Hill 2006, 189). Eräässä tutkimuksessa (The Proceedings of the Third Conference on Wood Modification 2007, 81) mänty furfuloitiin 20 - 40 %:n WPG:arvoon ja hartsi kovetettiin 130 °C:n lämpötilassa. Materiaalista testattiin ASE-arvo,

kimmokerroin ja lahonkesto *Coniphora puteana* ruskolahotusajantä vastaan 6 viikon lahotuskokeessa.

Dimensiostabiilisuus (ASE-arvo) parani kaaviokuvan 12 mukaisesti kyllästysasteen (WPG) funktiona jotakuinkin suoraviivaisesti WPG:n noustessa 10 %:sta hieman yli 30 %:iin. 30 %:n WPG-arvolla kosteuseläminen väheni noin puoleen käsittelemättömään materiaaliin verrattuna.

WPG:n vaikutus furfuloidun männyn kimmokerroimeen on esitetty kaaviokuvassa 13 (The Proceedings of the Third Conference on Wood Modification 2007, 84). Furfulointi näyttää parantavan männyn kimmokerrointa sitä enemmän, mitä suurempi kyllästysaste on. Tosin tulosten hajonta on varsin suuri. Suuri kimmokerroin taivutuksessa edellyttää hyvää pintakerroksen lujuutta, millä on varmasti vaikutusta myös pinnan kovuuteen.

Taulukko 13. Furfuryylialkoholilla modifioidun männyn massahäviö EN 113 -lahotuskokeessa eri WPG-arvoilla (The Proceedings of the Third Conference on Wood Modification 2007, 84)

Männyn pintapuu	WPG (%)	Massahäviö (%) 6 viikon jälkeen
Käsittelemätön	0	40
Furfuloitu	29	0,2
Furfuloitu	45	0

Taulukossa 13 on esitetty furfuloidun männyn massahäviö 6 viikon lahotuskokeessa (EN 113) *Coniophora puteana* -sienitalistuksessa (The Proceedings of the Third Conference on Wood Modification 2007, 84). Taulukosta nähdään, että massahäviö on olematon yli 30 %:n WPG-arvoilla.

Kebony 40 %:n ja 70 %:n WPG:hen furfuloidun pyökin, vaahteran ja Southern Yellow Pinen (SYP) liimattavuutta on tutkittu EPI-liimalla ja MUF-liimalla. Yleisesti ottaen furfuloidun puun liimattavuus heikkeni käsittelemättömään referenssimateriaaliin verrattuna. Ero oli selvempi 70 %:n WPG-arvolla kuin 40 %:n WPG-arvolla. SYP:llä ero ei ollut niin suuri kuin pyökillä tai vaahteralla. Suurimmat erot näkyivät liimasauman puustamurtuman arvoissa keittotestin jälkeen. Kuivana testattaessa erot olivat huomattavasti pienemmät. Vaikka furfuloidun puun liimasauman leikkauslujuusarvot ja

puustamurtuma-arvot olivat pienemmät kuin käsittelemättömän vertailumateriaalin, ne kuitenkin täyttivät standardin EN 204 vaatimukset. (The Proceedings of the Third Conference on Wood Modification 2007, 231 - 234.)

Samassa tutkimuksessa testattiin myös Kebony 40 % WPG-tuotteiden maalattavuutta, lähinnä maalin tartuntaa ja mahdollista rakkuloitumista kuivissa ja märissä olosuhteissa. Referenssimateriaaleina olivat normaali kuusi ja meranti. Kuivissa olosuhteissa maalien tartunta kaikkiin materiaaleihin oli täydellinen. Myös märissä olosuhteissa alkydi- ja akryylimaalin tartunta oli täydellinen furfuloidussa puussa testin jälkeen. Korkeakuiva-aineisen (high solid) maalin tartunta hieman heikkeni märissä olosuhteissa, mutta se ei poikennut oleellisesti referenssimateriaalin maalin tarunnasta. (The Proceedings of the Third Conference on Wood Modification 2007, 234.)



Kuva: Petri Heino

NINA, toimistorakennus, Trondheim, Norja.

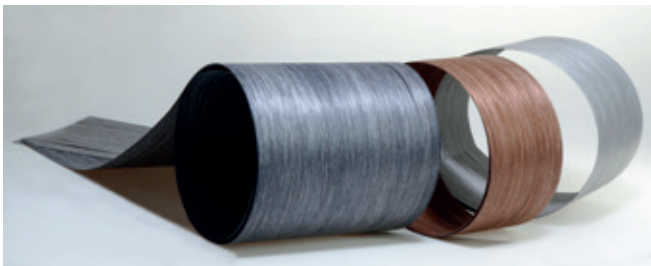
Furfuloitua puuta (VisorWood®) on käytetty yhtenä vertailumateriaalina Kymenlaakson AMK:n Palvaanjärven koerakennuksessa ulkoverhouksessa ja terassilautana. Furfulointi pienensi selvästi ulkoverhouksen kosteuselämistä ollen samaa luokkaa lämpökäsitellyn männyn (Thermo-D) kanssa. Myös VisorWood®:n maalipinta (Tikkurilan Vinha) oli kahden vuoden sääaltistuksen jälkeen virheetön (kuten oli myös normaalin mänty ja kuusilaudankin). Furfulointi pienensi terassilautojen vesiabsorptiota. Vertailumateriaaleista ainoastaan mäntyöljykäsitellyn materiaalin vesiabsorptio oli pienempi. Furfulointi ei kuitenkaan estänyt terassilautojen pinnan halkeilua. Halkeamia oli lukumääräisesti jopa enemmän kuin käsittelemättömällä puulla, mutta ne olivat kooltaan pienempiä. (Väärä et al. 2012a, 37 ja 39 - 42.)

LYHYESTI KEMIAALLISESTI MODIFIOIDUSTA PUUSTA

Puun kemiallisella modifioinnilla puuhun lisätään kemikaaleja, jotka reagoivat puun polymeerien kanssa. Tarkoituksena on viedä vedeltä sitoutumispaikkoja, jolloin puun tasapainokosteus ja kosteuseläminen pienenevät ja lahonkesto paranee. Puun kovuus voi myös parantua. Puuta voidaan myös plastisoida kemiaalisesti. Asetylointi ja furfulointi ovat menetelmiä, joilla on myös kaupallista merkitystä. Kemiallisesti modifioidun puun ominaisuudet vaihtelevat laajoissa rajoissa kemikaaleista ja menetelmistä riippuen.



CWP-laminoituja, läpivärjättyjä koivuainehioita työstettynä aseperiksi, puukonperiksi ja jousiaseen kahvoiksi



*Kuvat: CWP Coloured Wood Products Oy
CWP-läpivärjättyjä, teknisiä koivuviiluja, 0,6 mm. Värit: LEBC musta, LBW ruskea ja LSG hopeanharmaa*



CWP-läpivärjättyjä koivuviiluja, 1,5 mm.

3.5.3 Läpivärjätty puutuotteet – Coloured Wood Products (CWP)

Coloured Wood Products valmistaa ja myy läpivärjättyjä puutuotteita. Yrityksen pääasialliset tuotteet ovat läpivärjätty koivuviilut, tekniset viilut ja laminoitua aihioita. Koivu ja muut vaaleat puulajit kuten pyökki, saarni ja vaahtera toistavat hyvin CWP:n käyttämiä värisävyjä. Tuotteissa käytettyjen koivuviilujen paksuus on 1,5 mm. Värjäysmenetelmällä on mahdollista värjätä läpi jopa 45 mm paksuista puuta. Läpivärjätty tuotteet ovat käyttäjille ekologinen vaihtoehto. Värjättyjen viilujen etuna on, että lopullista tuotetta voidaan hioa pintavärjättyihin tuotteisiin verrattuna – näin elinkaari on pidempi. Värjättyillä viiluilla voidaan myös jäljitellä sademetsän puulajeja ja korvata niiden käyttöä. CWP-tekniset viilut valmistetaan leikkaamalla värjättyistä viiluista liimatuista lankuista, käyttötarkoituksen mukaisia, 0,35 - 1,0 mm paksuisia viiluja. Esimerkiksi 0,6 mm tekninen viilu soveltuu paksumpia teknisiä viiluja paremmin muotopuristeeksi. CWP-tekniset viilut täyttävät puutuotteiden formaldehydipäästöt EN 717-1 -standardin. Laminoitua aihioita valmistetaan liimaamalla yhteen värjättyjä viiluja. Vakiokokoisien aihion mitat ovat 805 mm x 270 mm x 60 mm, mutta niitä valmistetaan myös asiakkaiden toiveiden mukaan. Yrityksen toiminta keskittyy huonekalu-, kaluste- ja sisustusmarkkinoiden puupintamateriaaleihin. (CWP.)

3.6 MEKAANISESTI MODIFIOITU PUU

Puun muovailtavuutta ja kokoon puristuvuutta saadaan parannettua, jos sen lämpötilaa ja kosteutta nostetaan. Puun soluseinämän amorfiset komponentit – amorfinen selluloosa, hemiselluloosat ja ligniini – pehmenevät eri lämpötiloissa (polymeerit muuttuvat lasimaisesta kumimaiseksi). Pehmenemislämpötila riippuu puun kosteudesta. Absoluuttisen kuivana amorfinen selluloosa pehmenee noin 220 °C:n lämpötilassa ja hemiselluloosat ja ligniini noin 200 °C:n lämpötilassa. Puun kosteuden lisääntyminen alentaa eri komponenttien pehmenemislämpötilaa. Kosteus vaikuttaa eniten hemiselluloosan pehmenemiseen; sen pehmenemislämpötila saavuttaa 0 °C jo 30 %:n kosteudessa. Amorfinen selluloosa pehmenee 0 °C:ssa 60 %:n kosteudessa. Ligniinin pehmenemislämpötila laskee nopeasti kosteuden muuttuessa 0 %:sta noin 15 %:iin. Tätä suuremmassa kosteudessa ligniinin pehmenemislämpötila on noin 80 °C kosteudesta riippumatta. Havupuiden ligniinipitoisuus on noin 28 %, joten puun pehmenemisen kannalta juuri ligniinin pehmeneminen on kriittisin tekijä. (Rautkari 2012, 5 – 6.)

Sopivalla lämpö- ja kosteusyhdistelmällä voidaan puu saada riittävän muovailtavaksi ja siten helposti taivutettavaksi tai puristettavaksi ilman, että puun solurakenteessa tapahtuu rikkoontumista. Tämä mahdollistaa massiivipuun taivuttamisen eri muotoihin tai koko puun tai puun pinnan tiivistämisen puristamalla. Taivutus tai puristus tehdään kostealle lämpimälle puulle, ja tuote jäädytetään taivutus- tai puristusjännityksen alaisena, jolloin muovailtu muoto jää tuotteen. Ajan mittaan muovailtu tuote voi jonkin verran palautua

alkuperäiseen muotoon tai mittaan, etenkin kosteuden vaikutuksesta. Palautumista voidaan vähentää esim. puun lämpökäsittelyllä.

Perinteisesti puuta on taivutettu ensin plastisoimalla puu höyryttämällä, minkä jälkeen puu on helpommin taivutettavissa haluttuun muotoon. Kun puu kuivataan taivutettuna, se jää kyseiseen muotoon pientä palautumaa lukuun ottamatta. Tällaisen taivutusmenetelmän kehitti Michael Thonet jo 1800-luvulla. Thonetin menetelmää on menestyksekkäästi käytetty kalusteteollisuudessa esim. tuolin kaarevien osien valmistuksessa. Puun taipuisuutta voidaan parantaa laminointitekniikalla, jossa ohuita lamelleja tai viiluja liimataan yhteen muotissa.

Puuta on mahdollista taivuttaa myös kylmänä, kun se on ensin esikäsitelty tyssäämällä eli puristamalla pituussuuntaan. Menetelmä on keksitty Englannissa 1930-luvulla ja tanskalainen Compwood AS on kehittänyt menetelmää ja laitteistoa 1980-luvulta alkaen (Puutuoteprosessit). Tuotetta valmistaa mm. Yhdysvalloissa Pure Timber LLC -nimellä Cold-Bend™ Hardwood (Compwood®). Tuotteen taivutuksen kylmänä mahdollistaa se, että puu on höyryplastoiminnan jälkeen esipuristettu eli tussattu syysuunnassa noin 80 %:iin alkuperäisestä pituudestaan. Tällöin puun kuidut poimuttuvat pituussuunnassa, ja jatkossa puuta taivutettaessa kaaren ulkopuoli on helposti venyvää, eikä kuitujen rikkoutumista tapahdu taivutuksen veto- tai puristuspuolella yhtä helposti kuin käsittelemättömällä puulla. Puun kuidut muisuttavat taivutettavan juomapillin taipuisaa, poimutettua osaa.



Kuva: Pure Timber LLC.
Design: Gulla Jonsdottir

Cold-Bend™ Hardwood -tuotteiden yleisimmät puulajit ovat saarni, tammi, kirsikka ja vaahtera. Muita ovat mm. pyökki ja pähkinäpuu. Puuraaka-aineen täytyy olla erittäin hyvälaatuista, suorasyistä ja oksatonta. Tuote voidaan maksimissaan valmistaa kokoon 3,5” x 6” x 100” (89 mm x 152 mm x 2540 mm), mutta tyyppillinen koko on 2” x 6” x 8’ (51 mm x 152 mm x 2438 mm). (Pure Timber LLC 2013.)

Cold-Bend™ Hardwood toimitetaan asiakkaalle muoviin pakattuna, jotta sen kosteus säilyy. Ennen taivutusta tuote voidaan sahata haluttuun dimensioon ja hioa, mutta kostean puun höyläystä ei suositella. Tuotteen käyttäjä taivuttaa materiaalin kylmänä haluttuun muotoon ja antaa sen kuivua taivutusjännityksen alaisena. Valmistaja ilmoittaa minimi-taivutussäteeksi viisi kertaa tuotteen paksuuden, esimerkiksi 25 mm paksu materiaali voitaisiin taivuttaa jopa 125 mm:n taivutussäteelle. Saarni ja tammi ovat helpoimmin taivutettavissa. Taivutus heikentää tuotteen lujuutta 5 - 10 %. Tyyppillisiä käyttökohteita Cold-Bend™ Hardwoodille ovat taivutetut huonekalujen osat, soittimien osat, koriste-esineet ja sisustuskäyttö. Tuotetta voidaan käyttää myös rakenteellisesti mm. pylväissä ja palkeissa. (Pure Timber LLC 2013.)

Puun tiheyden nostoa (tiivistämistä), ensin plastisoimalla puu ja sitten mekaanisesti puristamalla, on tutkittu varsin paljon. Puristetun puun ominaisuudet riippuvat paljon tiivistämisen asteesta (kokoon puristumasta). Puristetun puun ominaisuudet eivät ole vertailukelpoisia edes samaan tiheyteen puristetulla puulla, sillä raaka-aineet ja valmistustekniikat vaihtelevat paljon eri prosesseissa.



Kuva: Pure Timber LLC.
Design: Daniel Schuster

Yleisesti ottaen tiheyden nosto puristamalla vaikuttaa seuraavasti puun ominaisuuksiin tiheyden lisäksi (Rautkari 2012, 8):

- Pinnan kovuus kasvaa, koska se korreloi tiheyden kanssa.
- Taivutuslujuus ja kimmokerroin taivutuksessa kasvavat.
- Leikkauslujuus kasvaa.
- Lahonkesto paranee.
- Pinnan kostuminen pienenee.

Puristetun puun kosteuseläminen kosteusvaihteluissa lisääntyy, koska kosteusvaihtelut lisäävät jonkin verran puristetun muodon palautumista.

Korkeamman tiheyden keskittyminen puun pintaosaan on puun käytön kannalta tärkeämpää, kuin koko puun tiivistäminen. Puun pintaosan tiheys vaikuttaa puun kovuuteen ja kulutuskestävyyteen. Vaikka puun tiheyden nosto puristamalla lisää puun taivutuslujuutta ja kimmokerrointa, materiaalin kokonaistaivutuskapasiteetti voi pienentyä, kun materiaalin tilavuus pienenee purituksessa (Rautkari 2012, 8).

Lauri Rautkari on tutkimuksessaan (2012) selvittänyt nimenomaan puun pinnan tiivistämistekniikoita ja niiden vaikutusta puun ominaisuuksiin. Käytetyt menetelmät olivat pinnan laminointi ohuella, puristamalla tiivistetyllä laminaatilla, puun pinnan tiivistäminen kuumapuristimella ja puun pinnan tiivistäminen kitkalämmitteisellä puristimella (Rautkari 2012, 12 - 13).

Seuraavassa käsitellään tarkemmin laminointimenetelmällä saatuja tuloksia. Laminaatit puristettiin 1,5 mm:n paksuuteen Viscoelastic Thermal Compression prosessilla (VTC). Käytetyt puulajit olivat hybridihaapa, joka puristettiin 1220 kg/m³:n tiheyteen 236 %:n kokoon puristumalla, ja Douglas-fir, joka puristettiin 1140 kg/m³:n tiheyteen 148 %:n kokoon puristumalla (Rautkari 2012, 17). Laminaatit liimattiin joko yksi tai kaksi päällekkäin normaalin, tiivistämättömän puun pintaan. Kovuusmittauksissa kahdella laminaatilla laminoidun hybridihaavan Brinell-kovuus kasvoi

jopa 380 % käsittelemättömään puuhun verrattuna (Rautkari 2012, 20). Kovuustestin painauman elastinen palautuma oli laminoiduilla kappaleilla jopa 80 %, kun se käsittelemättömällä puulla oli vain 25 - 35 % (Rautkari 2012, 22).

Pinnan vettymisominaisuuksia voidaan mitata vesipisaran ja pinnan välisellä kontaktikulmalla. Jos kontaktikulma on suuri, pisara jää pallomaiseen muotoon ja pinta on vettä hylkivä (hydrofobinen). Pinnasta tiivistetyn puun vettyminen oli hitaampaa kuin käsittelemättömän puun ja vastasi jotakuinkin vahatun puun pinnan vettymisnopeutta (Rautkari 2012, 26).

Puristepuulla on kosteissa olosuhteissa pyrkimys turvota takaisin alkuperäiseen mittaansa tai ainakin lähelle sitä ilman jälkikäsitelyä. Puristuksen jälkeisellä lämpökäsittelyllä 180 - 200 °C:n lämpötilassa voidaan lähes täysin poistaa edellä mainittu mittapalautuma. Mittapalautumaa voidaan vähentää myös kemiallisella käsittelyllä kuten kyllästämällä puu fenoliformaldehydihartsilla. (Rautkari 2012, 34 - 35.)

Puristepuulle voi löytyä käyttöä kohteissa, joissa vaaditaan hyvää pinnan kovuutta ja kulutuskestävyyttä. Tällaisia kohteita ovat mm. lattiapinnat, portaat, huonekalut ja pöytien pinnat. Pinnan vettähylkivistä ominaisuuksista on hyötyä esim. keittiön työpöytätaasoissa. Vaikka puun puristaminen parantaa puun lujuusominaisuuksia, hyöty voi rakenteellisessa käytössä osoittautua kyseenalaiseksi, koska myös puun dimensiot pienentyvät.



Kuva: Matti Karjanoja

Ravintola Linnanmäellä

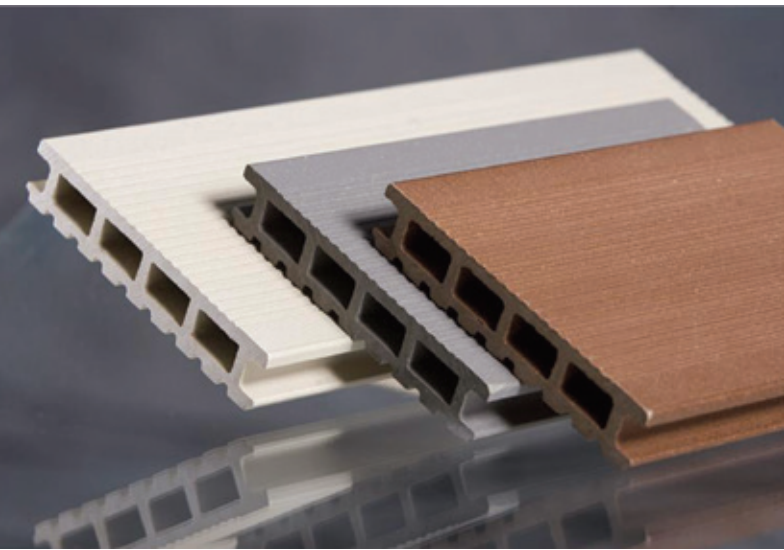
LYHYESTI MEKAANISESTI MODIFIOIDUSTA PUUSTA

Puun mekaanisella modifioinnilla tarkoitetaan yleensä joko puun taivuttamista tai tiheyden lisäämistä puristamalla. Yksi mielenkiintoisista menetelmistä on puun tyssääminen eli puristaminen pituussuunnassa. Tämä mahdollistaa puun taivuttamisen kylmänä. Puristustekniikoilla saadaan lisättyä puun pintaosien tiheyttä, mikä parantaa pinnan kovuutta, kulutuskestävyyttä ja lisää pinnan hydrofobisuutta. Puristustekniikkaa käyttäen voidaan ehkä tulevaisuudessa korvata kovia trooppisia lehtipuita pehmeillä lehti- tai havupuilla esim. lattiapinnoitteissa.

3.7 PUU-MUOVIKOMPOSIITIT

Laajasti ottaen puu-muovikomposiiteilla tarkoitetaan materiaaleja, joissa puu (missä tahansa muodossa) ja muovi (kertamuovi tai kestumuovi) on yhdistetty. Tämän määritelmän mukaan esimerkiksi vaneri tai lastulevy on luokiteltavissa puu-muovikomposiitiksi. Nykyisin termi puu-muovikomposiitti (WPC) on vakiintunut käytettäväksi tuotteille, joissa puu on jauhomaisessa tai kuitumaisessa muodossa ja muovina käytetään kestumuoveja, kuten esim. polyeteeniä (PE), polypropeenaa (PP), polystyreeniä (PS) tai polyvinyylikloridia (PVC). Edellä mainittujen pääkomponenttien lisäksi tuotteeseen lisätään yleensä prosessin helpottamiseksi ja tuoteominaisuuksien parantamiseksi lisäaineita kuten kytKentäaineita, stabilointiaineita, pigmenttejä, liukuaineita ja mahdollisesti lahonsuoja-aineita. Muovin (ei polaarinen aine) tartuntaa puuhun (polaarinen aine) voidaan parantaa ns. kytKentäaineilla, jotka mahdollistavat kemiallisesti erityyppisten aineiden väliset sidokset. Puu-muovikomposiiteissa yleisesti käytetty kytKentäaine on maleiinihapon anhydridilla oksastettu polypropeeni (MaPP). (Caulfield 2010, 141 - 145.)

Puu-muovikomposiiteissa voidaan käyttää kierrätyskuitua (myös paperikuitua) ja kierrätysmuoveja, jolloin tuotetta voidaan pitää suhteellisen ekologisena. Puun osuus on



Kuva: UPM

*Suulakepuristuksella valmistettuja
UPM ProFi Deck -terassilautoja*

puumuovikomposiitissa tavallisesti 30 - 60 %, mutta sitä voi olla enemmänkin (Puu-muovikomposiitit, 2). PVC-muovin käyttö on ongelmallista sen sisältämän kloorin vuoksi. PVC-muovin hävitys polttamalla täytyy tehdä siihen suunnitelluissa polttolaitoksissa.

Puu-muovikomposiittien yleisin valmistustapa on sulatetun puumuovimassan suulakepuristus haluttuun profiiliin suuttimen läpi. Menetelmä soveltuu hyvin pitkien profiloitujen tuotteiden kuten terassilautojen, listojen tai verhouspaneeleiden valmistukseen. Tällä menetelmällä tuotteeseen on mahdollista saada onteloita, jolloin voidaan vähentää materiaalin kulutusta ja alentaa tuotteen tiheyttä. Toinen yleisesti käytetty menetelmä on ruiskuvalu, jossa sula materiaali ruiskutetaan muottiin ja tuotteen jäähtyttyä muotti avataan. Tämä menetelmä soveltuu käytettäväksi, kun tehdään suuria sarjoja muodoltaan monimutkaisia tuotteita. Ruiskuvalun merkitys tulee tulevaisuudessa lisääntymään. Ruiskuvalussa puuaineen osuus seoksessa voi olla korkeintaan 40 %, kun se suulakepuristuksessa voi olla jopa 80 - 90 %. (Puu-muovikomposiitit, 4 - 6.)

Puumuovikomposiittien ominaisuudet ja suorituskyky käyttökohteissaan vaihtelevat laajoissa rajoissa riippuen siitä, millaisista materiaaleista tuotteet on tehty, miten ne on suunniteltu ja valmistettu ja millaisessa käyttöympäristössä niitä käytetään.

Taulukoissa 14 ja 15 on esitetty joitakin tutkimustuloksia haapakuidusta ja polypropeenimuovista valmistetun komposiitin mekaanisista ja hygroskooppisista ominaisuuksista.

Testimateriaalit on valmistettu ruiskuvalulla erilaisilla puukuidun ja muovin määrillä sekä myös MaPP:n (kytkentäaine) lisäyksillä. (Caulfield 2010, 150 - 151.)

Taulukossa 14 on esitetty puu-muovikomposiittien lujuusominaisuuksia erilaisilla puu-muovikoostumuksilla. Veto testi on tehty standardin ASTM 638-90 mukaan, taivutustesti standardin ASTM 790-90 mukaan ja iskulujuustesti standardin ASTM D256-90 mukaan. Taulukon merkinnät ovat seuraavat: H on haapa, PP on polypropeeni ja M on maleiinihapon anhydridilla oksastettu polypropeeni (MaPP). Merkinnän edessä oleva lukuarvo ilmoittaa kyseisen komponentin prosentuaalisen osuuden komposiitissa, esim. 60H/38PP/2M tarkoittaa, että haapakuidun osuus on 60 %, polypropeenin 38 % ja MaPP:n 2 %. (Caulfield 2010, 151.)

Taulukko 14. Haapakuitu-polypropeenikomposiitin mekaanisia ominaisuuksia
(Caulfield 2010, 151)

Materiaali	Taivutus- lujuus MPa	Kimmo- kerroin, taivutus MPa	Veto- lujuus MPa	Kimmo- kerroin, veto MPa	Isku- lujuus, lovettu J/m	Isku- lujuus, loveton J/m
100PP	27,9	1380	26,2	1690	22,4	713,5
30H/70PP	49,3	4120	29,3	4520	24,8	101,7
30H/68PP/2M	60,2	3820	44,9	4100	21,1	128,3
50H/50PP	50,2	5480	28,4	5810	26,4	67,1
50H/48PP/2M	75,7	5880	53,1	6680	21,9	98,5
60H/40PP	45,9	6090	25,6	6950	23,9	55,2
60H/38PP/2M	75,8	6730	48,1	7190	21,3	81,1

Taulukon 14 tulokset osoittavat, että puukuidun määrän lisäys pääsääntöisesti parantaa taivutuslujuutta ja vetolujuutta sekä kimmokerrointa. Puu-muovikomposiittien lujuus ja erityisesti kimmokerroin jäivät kuitenkin alemmalle tasolle kuin pelkällä puuaineella pituussuunnassa. Tämä tulee ottaa huomioon käytettäessä puu-muovikomposiitteja terassilautoina. Iskulujuutta (Izoz, loveamaton) puukuidun määrän lisäys näyttää alentavan. Lovi-iskulujuuteen puukuidun määrällä ei ole merkittävää vaikutusta. Kahden prosentin MaPP:n lisäys pääsääntöisesti parantaa sekä staattisia että iskulujuusarvoja (lovi-iskulujuutta lukuun ottamatta).

Edellä mainittujen puukomposiittimateriaalien hygroskooppisuutta testattiin tasaannuttamalla niitä 200 päivää 90 % ilman suhteellisessa kosteudessa. Lähtötilanne oli kappaleiden tasaannutus 20 % ilman suhteellisessa kosteudessa. Koekappaleiden massan lisäys testin aikana on esitetty taulukossa 15 (Caulfield 2010, 152). Materiaalimerkinnot ovat samat kuin taulukossa 14.

Taulukosta 15 nähdään, että kaikkien komposiittien massa jatkoi nousuaan vielä 200 päivän tasaannutuksen jälkeen. Tasapainokosteuden saavuttaminen kestää siis varsin pitkän ajan. Mitä suurempi puukuidun määrä komposiitissa on, sitä

Taulukko 15. Haapakuitu-polypropeenikompositin massan nousu kosteassa ilmassa (RH 90 %) 25 - 200 päivän aikana (Caulfield 2010, 151)

Materiaali	Massan nousu (%)					
	25 d	50 d	75 d	100 d	150 d	200 d
100PP	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4
30H/70PP	0,7	1,4	1,7	2,1	2,4	2,8
30H/68PP/2M	0,7	0,7	1,1	1,5	1,5	2,2
50H/50PP	1,3	2,0	2,6	3,5	4,3	5,3
50H/48PP/2M	1,5	1,8	2,2	2,9	4,0	5,1
60H/40PP	3,7	4,5	5,6	6,0	6,3	6,7
60H/38PP/2M	1,6	2,2	3,5	4,4	5,1	6,0

suurempi on vesiabsorptio, mutta se jää kuitenkin huomattavasti pienemmäksi kuin pelkän puun.

Samassa tutkimuksessa (Caulfield 2010, 152) tutkittiin puu-muovikomposiittien vesiabsorptiota syklisessä testissä, jossa ilman suhteellinen kosteus vaihteli 60 päivän jaksoissa 30 %:n ja 90 %:n välillä. Tulokset osoittivat, että vesiabsorptio nousee hieman jokaisen kostutusjakson jälkeen, mutta hitaammin kuin pelkässä kostutuksessa.

Puu-muovikomposiitit jatkoivat koko ajan vetymistä 200 päivän vesiliotustestissä, eikä kosteustasapainoa saavutettu testi-ajassa. Veden imeytyminen oli kuitenkin vain noin 11 % kom-

posiitilla, jossa haapakuidun määrä oli 60 %, ja muilla komposiiteilla tätä vähemmän. Veden imeytyminen puu-muovikomposiitteihin on siis huomattavasti vähäisempää kuin pelkkään puuhun. (Caulfield 2010, 152.)

Pienestä vesiabsorptiosta johtuen puu-muovikomposiittien kosteuseläminen on selvästi pienempää kuin normaallilla puulla syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa. Esimerkiksi UPM ilmoittaa ProFi Deck -puu-muovikomposiittituotteen vesiabsorptioksi 24 tunnin vesiliotuksessa (standardi EN 317) alle 2,5 % ja paksuusturpoamaksi alle 1 % (UPM ProFi® Deck Tekniset Tiedot 2012).

Vaikka puu-muovikomposiittien vettäminen ja kosteus-eläminen on varsin pientä, niiden lämpölaajeneminen on huomattavasti suurempaa kuin normaalilla puulla. Esimerkiksi UPM ilmoittaa ProFi Deck -tuotteen lämpötilaker-toimeksi $4,0 \times 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$, kun se massiivipuulla on pituus-suunnassa keskimäärin $3,4 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ (UPM ProFi® Deck Tekniset Tiedot 2012; Kärkkäinen 2007, 242). Puu-muovi-komposiitin lämpölaajeneminen on siis jopa yli 10-kertainen massiivipuun pituuden suuntaiseen lämpölaajenemiseen verrattuna. Tämä tulee ottaa huomioon esim. terasseja rakennettaessa jättämällä puu-muovikomposiittilautoille riittävä vara lämpölaajenemista varten.

Koska puu-muovikomposiitit absorboivat vettä vähemmän ja hitaammin kuin normaali puu, ne ovat myös kestävämpiä lahoa vastaan. Jos komposiitin puupitoisuus on suuri, jotkin valmistajat käyttävät lisäaineita, kuten sinkkiboraattia parantaakseen komposiitin lahon kestävyyttä. (Caulfield 2010, 153.)

Puu-muovikomposiittien hyvä ominaisuus ulkokäytössä massiivipuutuotteisiin verrattuna on myös pieni huoltotarve. Pinta ei halkeile ja on muutenkin kestävä. Useimmat puu-muovikomposiitit kuitenkin vaalenevät ajan mittaan UV-säteilyn vaikutuksesta. Vaalenemista voidaan hidastaa lisäämällä pigmenttejä komposiitteihin tai käyttämällä vähä-ligniinistä kuitua. Harmaa pigmentti tekee värin muutokset

vähemmän havaittavaksi. Puu-muovikomposiitit ovat palavaa materiaalia, ja ne voivat myös sulaa tulipalossa. (Caulfield 2010, 154, 157.)

Puu-muovikomposiittien hyvät ominaisuudet tulevat parhaiten esille ulkokäytössä kohteissa, joissa vaaditaan hyvää sään, lahon- ja kulutuksenkestävyyttä ja helppoa huollettavuutta, mutta ei välttämättä erinomaisia lujuusominaisuuksia. Käyttökohteita ovat mm. (Caulfield 2010, 156 - 157.)

- terassilaudoitukset (yleisin käyttökohde),
- seinien ulkoverhoukset,
- aidat,
- kaiteet,
- ulkokalusteet,
- katteet,
- ikkuna- ja oviprofiilit,
- autoteollisuus,
- lattiat ja
- huonekalut.

Puu-muovikomposiitit ovat olleet voimakkaasti kasvava tuoteryhmä viimeisen vuosikymmenen aikana. Kasvun ennustetaan jatkuvan edelleen. Esimerkiksi Plasteurope.com:n mukaan Euroopan puu-muovikomposiittien vuosituotannon ennustetaan kasvavan 193 000 tonnista (vuonna 2010) lähes 360 000 tonniin (vuonna 2015). Euroopan tuotanto on kuitenkin pieni verrattuna koko maailman tuotantoon. Yhdysvallat on tällä hetkellä suurin puu-muovikomposiittien tuottaja, mutta tuotanto on Kiinassa voimakkaimmassa kasvussa.

LYHYESTI PUU-MUOVIKOMPOSIITEISTA

Puu-muovikomposiitit tarjoavat vaihtoehdon terassi-, ulkoverhous- ja ulkokalustemateriaaleihin. Puu-muovikomposiittien hyviä ominaisuuksia ovat lähes olematon kosteuseläminen, pinnan halkeilemattomuus ja hyvä lahonkesto. Rakentamisessa tulee kuitenkin ottaa huomioon puu-muovikomposiittien suuri lämpölaajeneminen ja massiivipuuta pienempi taivutuslujuus ja -jäykkyys.

TW

4–Tulevaisuuden modifioidut puutuotteet

TULEVAISUUDEN MODIFIOIDUT PUUTUOTTEET

Hannu Turunen, puutekniikan ins. materiaalitekniikan DI., Mikkelin ammattikorkeakoulu

Puun modifioinnilla tarkoitetaan puun ominaisuuksien muuttamista kemiallisin tai fysikaalisin menetelmin. Usein tavoitteena on tuotteen käyttöiän parantaminen tai uusien käyttökohteiden löytäminen. Lainmuutosten, tiedon lisääntymisen ja paremman ympäristötietouden ansiosta puun modifioinnin ympäristökuormituksen vähentämiseen kiinnitetään entistä enemmän huomiota. Uusia kyllästysaineita ja modifiointimenetelmiä kehittäessä on toiminnan painopiste siirtynyt ympäristöä vähemmän kuormittavien menetelmien suuntaan. Käytettävä puutavara on useimmiten peräisin sertifioiduista (FSC ja PEFC) metsistä. Sertifikaattien avulla pyritään takaamaan metsien kestävä kehityksen mukainen hoito. Kyllästys ja suoja-aineiden ympäristövaikutuksia on pyritty minimoimaan vähentämällä tai lopettamalla haitallisimpien aineiden käyttöä. Uusia kyllästys- ja käsittelyaineita kehi-

tettäessä niiden ympäristövaikutukset osataan ottaa aikaisempaa paremmin huomioon.

Uusien modifiointimenetelmien ja käsittelyaineiden kehittäminen vaatii pitkäjänteistä työtä sekä laaja-alaista osaamista muun muassa erilaisten teknologioiden, kemian ja biologian aloilta. Puumateriaalin epähomogeenisuus, puulajien valtava määrä, huomattavasti toisistaan poikkeavat loppukäyttökohteet ja erilaiset alueelliset lainsäädännöt tuovat kaikki omat haasteensa kehittämistoimintaan. Uudet Euroopan unionin direktiiveihin perustuvat säännökset johtavat siihen, että useille karsinogeenisille, mutageenisille ja reprotoksisille (tuotteet, joilla on toksisia ominaisuuksia uudelleen käytettynä) aineille ja aineyhdistelmille on löydettävä korvaavia tuotteita. Jotkin näistä myrkyllisiksi ja haitallisiksi luokitelluista tuotteista, kuten formaldehydi, ovat olennaisia osia puutuote- ja muoviteollisuuden laajalti käyttämissä hartseissa ja liimoissa.

4.1 BIPOHJAISET LIIMAT, KYLLÄSTYS- JA PUUNSUOJA-AINEET

Paun Yliopistossa Ranskassa Coralie Motillonin tutkimusryhmä on paneutunut ympäristöystävällisten liimojen kehittämiseen. Tutkimusten tarkoituksena on ollut kehittää teollisuuden puutuotteiden liimaamiseen korvaavia tuotteita yleisesti käytössä olevien formaldehydipohjaisten liimojen tilalle. Lähtökohtana liimojen kehittämässä on ollut tuotteiden ympäristöystävällisyyden lisääminen ja myrkyllisyyden vähentäminen.

Nykyään puutuoteteollisuudessa yleisimmin käytössä olevien liima-aineiden (hartsien ja liimojen) toiminta perustuu formaldehydin ja fenolin, resorsinolin, urean, melamiinin tai näiden seoksien reaktioihin. Liima-aineet ovat synteettisiä polymeerejä, jotka ristosilloittuvat lämpötilan vaikutuksesta. Tuotteet ovat teollisuuden käytössä hyvien ominaisuuksiensa takia. Niillä saavutetaan korkea lujuus, hyvät hydrofobiset ominaisuudet ja hyvä lämmönkestävyys. Tuotteiden tapahtuva korkea ristosilloittumisaste takaa hyvän kemiallisen- ja biologisen kestävyuden. Hyvistä ominaisuuksista huolimatta useat tuotteet on luokiteltu haittaa aiheuttaviksi, myrkyllisiksi tai jopa karsinogeenisiksi. (Motillon 2013.)

Ensimmäiset puuliimat tehtiin luonnontuotteita kuten jauhoja, munia, kalaa jne. hyödyntäen. Paun yliopiston tutkijaryhmän tarkoituksena oli kehittää uusi ympäristöystävällinen

ja lämpökovettava liima hyödyntäen uusiutuvia raaka-aineita ja vanhaa perimätietoa. Nykyisiä liimoja paremman käyttäjä- ja ympäristöystävällisyyden lisäksi ryhmä halusi käyttää sellaisia raaka-aineita joilla ei ole muuta merkittävää teollista käyttöä. Valintaa tehdessään ryhmä rajasi ulkopuolelle esimerkiksi elintarviketeollisuuden käytössä olevat raaka-aineet. (Motillon 2013.)

Tutkimusryhmä päätti selvittää mahdollisuuksia hyödyntää maa- ja metsätaloudesta syntyviä tuotteita ja jätteitä liiman valmistuksessa. Lopullisessa valinnassa liiman raaka-aineiksi valikoituivat rannikkomännyn (*Pinus pinaster*) kaarnan tanniini, maisitärkkelyksestä saatava keltadekstriini ja natriumhydroksidi. Tärkkelysjohdannaisista ryhmä valitsi keltadekstriinin, koska sitä tuotetaan jo teollisessa mittakaavassa ja tuotteen partikkelikoko oli valmiiksi testiin soveltuva. (Motillon 2013.) Rannikkomännyn kuoren valintaa puolsi lajin luontainen levinneisyys ja puumateriaalin käyttö alueen teollisuudessa. Levinneisyyden ja teollisen puunkäytön takia raaka-ainetta on alueella helposti saatavilla.

Tärkkelys on yksi tärkeimmistä biopolymeereistä, jota kasvit käyttävät hiilihydraattivarastona. Tärkkelys koostuu kahdesta glukoosipohjaisesta polymeeristä, amylaasista ja amylopektiinistä. Aikoinaan tärkkelystä käytettiin paperin

liimaamiseen, mutta myöhemmin kehitetyt epäorgaaniset liimat korvasivat sen käytön lähes täysin. Nykyään tärkkelystä käytetään esimerkiksi synteettisten hartsien lisäaineena, mutta tutkimusten mukaan sen adheesiivisiä ominaisuuksia ei hyödynnetä täysin. (Motillon 2013.)

Ryhmä valmisti tutkimusta varten liimaa kolmella erilaisella keltadekstriini- ja tanniiniseossuhteella. Liimat valmistettiin lisäämällä tanniineja vesipohjaiseen natriumhydroksidiliuokseen. Tanniinien liuettua liuokseen lisättiin dekstriinit. Tutkimuksessa mitattiin valmistettujen liimojen reologisia ja tartuntaominaisuuksia sekä kovettuneen liimasauman lujuutta. Reologisilta ominaisuuksiltaan valmistetut liimat olivat vanerin valmistuksessa käytettäviä liimoja vastaavia. Liimasauman lujuutta testattaessa yhden seoksen kohdalla murtuminen tapahtui puumateriaalissa 80 % tapauksissa. Kahta muuta seosta testattaessa murtuminen tapahtui puumateriaalista 100 % tapauksissa. (Motillon 2013.)

Liiman reologisten ja liimasauman lujuusominaisuuksien lisäksi ryhmä tutkiepikloorihydriinin avulla kovettettujen liimakappaleiden lahonkestoa. Lahotuskoe tehtiin standardin EN113 mukaan. Vertailukappaleina kokeessa käytettiin männystä ja pyökistä valmistettuja kappaleita. Tulosten perusteella home ei kasvanut tai sitä kasvoi erittäin vähän koe-

kappaleiden pinnoilla. Tutkimustulosten perusteella voidaan todeta, että keltadekstriinistä ja tanniineista on mahdollista valmistaa ympäristöystävällisiä, lämpölujittuvia liimoja puutuoteteollisuuden esim. vaneriteollisuuden käyttöön. (Motillon 2013.)

Biopohjaisen liiman lisäksi kasvipäristen aineiden hyödyntämistä tutkitaan myös puun suojaamisen näkökulmasta. Tutkimuksen alla olevia kohteita ovat muun muassa kasvipäristen aineiden homeen-, lahon- ja hyönteissuojaominaisuudet. Kasvien sisältämien ainesosien entistä parempi tuntemus ja erottelumenetelmien kehittyminen mahdollistavat uusientistä ympäristöystävällisempien suoja-aineiden kehittämisen. Suoja-aineita voidaan valmistaa esimerkiksi liottamalla, uuttamalla, tislamalla tai kuivatamalla puuta. Esimerkiksi tervaa valmistetaan kuivatamalla puuta. Seuraavissa tutkimusesimerkeissä käydään läpi biopohjaisten termiitin- ja lahonsuoja-aineiden valmistusmenetelmiä ja aineiden tarjoamia mahdollisuuksia.

IPEN SEKUNDAARISTEN AINEENVAIHDUNTATUOTTEIDEN 4.2 LAHONSUOJAUSOMINAISUUDET

Ipeä kasvaa luonnonvaraisena kaikkialla pohjoisessa Etelä-Amerikassa. Puuainees on kovaa ja tiheää, sen työstämistä pidetään haastavana. Puuta käytetään esimerkiksi sisä- ja ulkorakennuskohteissa, joissa puumateriaalilta vaaditaan suurta lujuutta. Ipen sydänpuussa syntyy biosynteesin avulla sekundaarisia aineenvaihduntatuotteita, jotka toimivat luontaisina myrkkyyinä muun muassa lahottajaisieniä vastaan. (Iida 2013.) Sekundaaristen aineenvaihduntatuotteidensa ansiosta ipe on luontaisesti sään ja termiittien kestävä.

Japanilainen tutkijaryhmä tutki mahdollisuutta käyttää ipestä erotettuja sekundaarisia aineenvaihduntatuotteita puunsuojaamiseen valmistamalla niistä kyllästysainetta. Kylästysaineliuosta valmistettiin ipe sydänpuusta tehdystä hakkeesta. Haketta liotettiin asetonissa kahdeksan tuntia, minkä jälkeen liuosta väkevöitettiin haihduttamalla. Väkevöidyllä 10-prosenttisella liuoksella kyllästettiin japaninseetristä ja pyökistä valmistettuja koekappaleita. Japaninseetrin ja pyökin soluseinämän erilaisuudella verrattuna ipeen ei vaikuttanut olevan vaikutusta, kun arvioitiin sekundaaristen aineenvaihduntatuotteiden käyttäytymistä. Sekundaarisilla aineenvaihduntatuotteilla saavutettiin hyvä soluseinämätunkeuma sekä pyökin että japaninseetrin kyllästyksessä. Lahotuskokeessa kappaleet altistettiin rusko- ja valkolahottajille. Tutkimustulosten perusteella voidaan sanoa, että ipestä erotetut sekundaariset aineenvaihduntatuotteet tarjosivat japaninseetrin kappaleille hyvän lahonsuojan eivätkä juuri liuenneet kyllästetyistä koekappaleista. Pyökkikoekappaleiden tapauksessa kyllästysaineliukenema oli huomattavasti suurempi kuin japaninseetrin kohdalla. Pyökkikoekappaleisiin jäänyt vähäisempi ainemäärä ei tarjonnut juurikaan lahonsuojaa, ja kappaleet lahosivat huomattavasti japaninseetrin kappaleita enemmän. (Iida 2013.)

Kuten edellinen tutkimusesimerkki osoittaa, tietyt aineet ja menetelmät soveltuvat vain joillekin puulajeille. Puutuoteollisuudessa ja tuotteiden suunnittelussa on tärkeää ymmärtää erilaisten puumateriaalien ominaisuuksia. Puulajeja on maailmassa noin 45 000. Näistä Suomessa luontaisesti esiintyy noin 30. (Teollisesti hyödynnettyjen lajien määrä on huomattavasti vähäisempi.) Raaka-aineiden ymmärtämisen lisäksi on tietysti tärkeää tuntea myös käsittelyaineet ja menetelmät, jotta niiden käytöstä saadaan paras mahdollinen hyöty.

4.3 LUONTAISET TERMIITIN SUOJA-AINEET

Cirad, ranskalainen tutkimuskeskus on kehittänyt Alba Zaremskin johdolla termiittikarkotteita *Aniba parviflora*- (ruusu-puu) ja *Sextonia rubra* -puulajeista. (Zaremski 2013.) Puulajeja kasvaa luontaisesti Etelä-Amerikassa, muun muassa Ranskan Guayanassa. Puulajien sekundaariset aineenvaihduntatuotteet toimivat toisiaan täydentävinä tekijöinä. Tutkijoiden mukaan jopa puulajeista valmistettu hake (käytettäessä molempia hakkeita sekaisin) toimii termiittikarkotteena. *Aniba p.* ja *Sextonia r.* -lajeista (kuten myös ipestä) on mahdollista erottaa liuottamalla sekundaarisia aineenvaihduntatuotteita ympäristöstävällisiksi termiittikarkotteiksi ja myrkyiksi. Tutkimuksessa valmistetun karkotteen tehokkuus riippuu tihennettyjen liuosten seossuhteesta. Kun *Aniba p.* tihenteen osuus kasvaa, seoksen tehokkuus termiittejä vastaan lisääntyy. Seossuhteita muuttamalla on mahdollista valmistaa käyttötarkoitukseen soveltuvaa suoja-ainetta. Tutkimuksissa testatuilla seossuhteilla *Aniba p.* ja *Sextonia r.* -lajien puumateriaalista liottamalla erotetut ja tihennetyt sekundaariset aineenvaihduntatuotteet toimivat tehokkaina, termiittejä tappavina tuholaismyrkkynä tai niitä karkottavina suoja-aineina. (Zaremski 2013.)

ETEERISEN EUKALYPTUSÖLJYN VAIKUTUS MICROCEROTERMES DIVERSUS -TERMIITTEIHIN

Iranissa termiitit aiheuttavat rakenteille suuria tuhoja etenkin Khuzestanin provinssissa. Nykyään käytössä olevilla klooripohjaisilla termiittisuoja-aineilla on haitallisia ympäristövaikutuksia, ne vaarantavat ihmisten terveyden ja ovat haitallisia myös muulle ympäristölle. (Habibpour 2013.) Eukalyptus puuden (*Eucalyptus* spp. -lajeja on noin 700) eteerisillä öljyillä tiedetään aikaisempien tutkimusten perusteella olevan hyönteisiä karkottavia ja tappavia ominaisuuksia. Aikaisemmassa tutkimuksessa termiittejä (*Coptotermes formosanus*) altistettiin *Eucalyptus camaldulensis* -lajin lehdistä valmistetulle öljylle. Öljy vaikutti termiittien (*Coptotermes f.*) hermostojärjestelmässä asetyylikoliiniesteraasientsyymin toimintaan. Tutkimuksessa öljy toimi hyönteismyrkkynä tappaen termiitit.

Uudemmassa, Iranissa tehdyssä tutkimuksessa arvioitiin *Eucalyptus camaldulensis* -lajin eteeristen öljyjen myrkyllisyyttä *Microcerotermes diversus* -termiiteille. (Habibpour 2013.) Eukalyptuksen eteeriset öljyt koostuvat useista aineosista. Aineosista tärkeimpänä hyönteisiä tappavana komponenttina pidetään 1,8-cineolia (eucalyptol). Tutkimuksessa tehtiin kolme erilaista koetta. Ensimmäisessä kokeessa termiiteille

tarjottiin ainoastaan eteerisillä öljyillä käsiteltyä ravintoa. Kokeen tarkoituksena oli selvittää öljyjen myrkyllisyyttä. Toisessa kokeessa arvioitiin öljyn karkotusominaisuuksia. Kokeen aikana termiittien oli mahdollista valita, oleilevatko ne lähellä vai kaukana öljykäsittelystä tuotteesta. Kolmannessa kokeessa termiittien oli mahdollista valita joko eteerisellä öljyllä tai referenssiaineella käsiteltyä ravintoa. Tutkimustulosten perusteella eukalyptuksen lehdistä saatavat eteeriset öljyt soveltuvat hyönteismyrkyiksi termiittejä (*M. diversus*) vastaan.

Kasveista saatavia aineita voidaan eristää rungosta, kuoresta, lehdistä, siemenistä ja juurista. Kasvipohjaisia aineita voidaan pitää varsin potentiaalisina kilpailijoina synteettisesti valmistetuille aineille. Biopohjaisilla aineilla on mahdollista saada aikaan myös monisuoja vaikutuksia. Esimerkiksi nutkansypressistä (*Chamaecyparis nootkatensis*) erotetuilla aineosilla on tutkimusten mukaan termiittinsuojaominaisuuksien lisäksi homeensuoja ominaisuuksia *Postia placenta*a vastaan. (Habibpour B. 2013)

Kasvipohjaisten suoja-ainetuotteiden lisääntyminen mahdollistaisi puuraaka-aineen jalostusasteen lisäämisen. Tällöin alueet, joilla trooppisia puita hakataan, saisivat tuotteistaan

paremman taloudellisen hyödyn. Alueet, joilla tropiikin puita tuotetaan, ovat usein myös alueita joilla termiittitorjunta-aineille on tarvetta. (Zaremski 2013.) Myös suomessa tutkitaan kasvipöytäisten aineiden mahdollisuuksia entistä syvämmiin. Suomessa tehtävä tutkimus painottuu muun muassa erotettujen aineosien terveysvaikutusten selvittämiseen. Tulevaisuudessa puista erotetut aineosat ja muut kasvipöytäiset materiaalit ja aineet ovat entistä tärkeämpiä jatkojalostuksen kohteita. Esimerkiksi komposiittiteollisuudessa käytetään luonnonkuituja kuituvahvikkeina. Onko teollisuudessa tapahtumassa biopohjaisten aineiden renessanssi? Se jää nähtäväksi, mutta todennäköistä on, että biopohjaisten materiaalien ja aineiden käyttö tulee tulevaisuudessa edelleen lisääntymään sekä puu että muilla teollisuuden aloilla.

Puun modifiointimenetelmät kehittyvät jatkuvasti. Uusia menetelmiä kehitetään ja muilla teollisuuden aloilla käytössä olevia menetelmiä ja tuotteita muokataan puuteollisuuden tarpeisiin soveltuviksi. Muiden teollisuudenalojen tekniikoiden muokkaaminen puun modifiointiin soveltuvaksi tuo lisäarvoa puutuoteollisuudelle mutta myös modifioituille tekniikoille.

MUILLA TEOLLISUUDENALOILLA KÄYTÖSSÄ OLEVIENT MATERIAALIEN JA MENETELMIEN HYÖDYNTÄMINEN

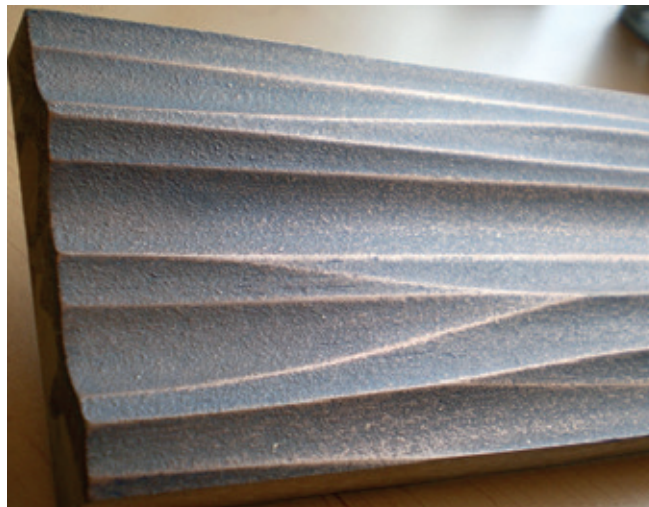
4.5 PUUTUOTETEOLLISUUDESSA

4.5.1 Siloksaanit puunkyllästämisessä

Siloksaaneja käytetään yleisesti kivi ja betonipintojen kyllästämiseen. Viimeaikoina Tankassa on tutkittu siloksaanien käyttöä puun suojauksessa. (Kjellow 2013.) Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää siloksaaneilla kyllästettyjen puukappaleiden vedenhylkimisominaisuuksia verrattuna kyllästämättömiin koekappaleisiin. Tutkimuksessa siloksaaneilla kyllästettiin männyn pintapuuta. Kyllästyksessä siloksaanien kantoaineena käytettiin superkriittistä hiilidioksidia. Superkriittinen hiilidioksidi sopii matalan viskositeettinsa ja korkean tiheytensä ansiosta hyvin puunkyllästyksen kantoaineeksi. Superkriittinen siloksaanikyllästys on hydrofobinen käsittely eli käsittely, jonka avulla pyritään parantamaan puun vedenhylkimisominaisuuksia. Käsittely hidastaa nestemäisen veden imeytymistä puuhun, jolloin myös soluseinämään imeytyvän veden määrä vähenee. Tästä johtuen käsittely vähentää puun nestemäisestä vedestä johtuvaa kosteuselämistä. Käsittely ei muokkaa puun soluseinämää, joten kappaleiden fysikaaliset ominaisuudet pysyvät ennallaan. Käsittely ei myöskään estä ilmankosteuden siirtymistä kappaleisiin ja niistä pois. (Kjellow 2013.)

Kyllästyksen jälkeen kyllästetyille koekappaleille tehtiin kenttäkoe, jossa referenssikappaleina käytettiin samoista sahatavarakappaleista valmistettuja koekappaleita sekä männynsydänpuusta valmistettuja referenssikappaleita. Koe- ja referenssikappaleet valmistettiin niin, että samasta lankusta valmistettiin yhteensä neljä kappaletta. Ensiksi koetta varten valittiin 16 kappaletta 1210 mm pitkiä virheettömiä sahatavarakappaleita. Valitut kappaleet numeroitiin ja sahattiin kahteen yhtä pitkään osaan. Toinen näistä kappaleista kyllästettiin ja toinen jätettiin referenssikappaleeksi. Koekappaleet valmistettiin höyläämällä kyllästetyt koekappaleet 95 mm x 18 mm mittoihin. Koe- ja referenssikappaleita pintakäsiteltiin kahdella erilaisella tavalla. Ensimmäisessä menetelmässä pintakäsittely tehtiin vesipohjaisella pohjamaalilla ja vesiohenteisella akryylipintamaalilla. Toinen menetelmä oli muuten sama, mutta kappaleet käsiteltiin ennen maalausta vesipohjaisella puunsuoja-aineella. Maalaamisen jälkeen kappaleiden pinnoille tehtiin 3 mm pitkät ja 3 mm syvät urat. Urien tarkoituksena oli nopeuttaa testausaikaa. Koekappaleiden pintaa arvioitiin silmämääräisesti ja kosteuspitoisuutta punnitsemalla. (Kjellow 2013.)

Kuparipinnoitettu
MDF-kappale



Kuva: Nejad

Kymmenen kuukautta kestäneen kenttätutkimuksen tulosten perusteella siloksaanikyllästys vähensi huomattavasti veden kapilaarista kulkeutumista puun solukossa. Käsiteltyjen koekappaleiden kosteuspitoisuus (24 %) oli huomattavasti käsittelemättömiä referenssikappaleita (60 %) matalampi. Käsittelemättömien vertailukappaleiden kosteuspitoisuuksissa oli huomattavasti enemmän hajontaa kuin käsitellyissä koekappaleissa. Siloksaanikäsiteltyjen koekappaleiden kosteuspitoisuus oli kuitenkin hieman korkeampi kuin männyn sydänpuusta valmistettujen vertailukappaleiden. Kenttäkokeen päätteeksi kappaleista sahattiin pienempiä koekappaleita, joita pidettiin 23 °C:ssa muovipusseihin suljettuina kuuden vuorokauden ajan. Kappaleita tarkasteltaessa käsittelemättömien koekappaleiden sahuupinnoille oli kasvanut homeita ja sinistäjäsieniä. Kyllästettyjen kappaleiden sahuupinnoilla ei havaittu homeita tai sinistäjää. Siloksaanit eivät heikentäneet tutkimuksessa käytettyjen maalien adheesiota. (Kjellow 2013.) Tutkimuksesta saatujen tulosten perusteella männyn pintapuukappaleiden käyttöä nykyistä vaativammassa olosuhteissa olisi mahdollista lisätä siloksaanikyllästyksellä.

4.5.2 Puun ja puupohjaisten materiaalien pinnoittaminen kuparilla

Puun ja puupohjaisten materiaalien pinnoittamista kuparilla on tutkinut tohtori Mojgan Nejad Toronton yliopistosta. Toronton yliopistossa tehdyssä tutkimuksessa tutkittiin mahdollisuutta pinnoittaa puuta ja puupohjaisia materiaaleja termisellä ruiskutuksella. Pinnoitusmenetelmänä käytettiin valokaaritekniikkaa. Menetelmä on jo pitkään ollut muiden teollisuudenalojen käytössä. Tutkimustyön tuloksena valokaarimenetelmän parametrit saatiin muokattua sellaisiksi, että sulan metallin ruiskutus onnistui lämpöherkille materiaaleille, kuten puulle ja biokomposiiteille. Menetelmän etuna on pinnoitteen hyvä peitto myös epätasaisia materiaaleja pinnoitettaessa. Kun tutkijat olivat saaneet pinnoittamisen onnistumaan, he altistivat pinnoitettuja koekappaleita homeille ja testasivat pinnoitteen ja pohjamateriaalin välistä adheesiota vetokokeella. Lisäksi ryhmä tutki pinnoitettujen kappaleiden lahonkestoja ja veden imeytymistä kappaleisiin. (Nejad 2013.)

Tutkimustulosten mukaankuparipinnoitteen adheesio oli erittäin hyvä sekä havu- että lehtipuulajeilla tehdyissä testeissä. MDF:n ja pinnoitteen välinen adheesio oli suurempi kuin MDF:n koheesio. Homealtistuksessa kuparipinnoitettujen koekappaleiden pinnalla ei huomattu merkkejä kasvustosta.



Kuva: Nejad

*Kuparipinnoitettu
puinen pyörölista.*

Lahotuskokeen jälkeen kuparipinnoitetuissa kappaleissa ei havaittu juurikaan painohäviötä, eli kappaleet eivät lahonneet. Pinnoitteen ollessa täysin peittävä, eivät home- ja lahottajasierot pääse kosketuksiin puumateriaalin kanssa. Hyvät laihonsuojaominaisuudet perustuvat kuparin luontaiseen antimikrobisuuteen. Tutkimustulosten mukaan pinnoitus soveltuu hyvin sekä havu- että lehtipuulajeille sekä puupohjaisille materiaaleille, kuten MDF-levyille. (Nejad 2013.)

Kuparipinnoitus tarjoaa mahdollisuuden puutuotteiden esteettisten ominaisuuksien, lämmön- ja sähkönjohto-ominaisuuksien sekä antimikrobisten ominaisuuksien muokkamiseen. Kuparipinnoituksen avulla on esimerkiksi mahdollista tehdä magneettista suojausta. Tutkimuksessa testatuissa kappaleissa pinnoitteen paksuus oli noin 100 mikrometriä. Pinnoitteen paksuutta on kuitenkin mahdollista muokata asiakkaan tarpeiden ja loppukäyttökohteen asettamien vaatimusten mukaan. Kuparipinnoitteen hinta riippuu paljon pinnoituspaksuudesta ja kuparin hinnasta. Keväällä 2013 noin 100 mikronin vahvuisen kuparipinnoitteen hinta oli verrattavissa kahteen kerrokseen polyuretaanimaalia. (Nejad 2013.)

4.5.3 Biopohjaisten tuotteiden modifioinnin tulevaisuus

Biopohjaisten materiaalien tuotekehitykseen panostetaan jatkuvasti myös Suomessa. Yksi tuotekehityksen hedelmistä, nanosellu on ollut esillä jo useamman vuoden. Materiaalin laajamittainen teollinen hyödyntäminen on antanut kuitenkin vielä odottaa. Nanosellun koostuu selluloosakuidusta saatavista nanofibrilleistä. Kaupallisia sovelluskohteita nanosellulle odotetaan löytyvän muun muassa paperi-, muovi- ja komposiittiteollisuudesta. Nanosellua voidaan esimerkiksi käyttää komposiiteissa lujitteena, maalien ja lakkojen kestävyuden parantamisessa, ja siitä on mahdollista valmistaa läpinäkyvää, muovinkaltaista kalvoa. (Nanosellu VTT.)

Puupohjaiset materiaalit ja niiden valmistusmenetelmät kehittyvät nopeasti. Nyt pinnalla on 3D-tulostaminen. Suomessa puupohjaisten tuotteiden 3D-tulostamista on tutkittu esim. VTT:ssä. Puupohjaisten tuotteiden tulostaminen onnistuu käyttämällä samoja tulostinlaitteita, joilla tulostetaan muovituotteita, sillä puupohjaiset tulostusmateriaalinauhut (filamentit) sisältävät muovia. Näitä tai vastaavanlaisia materiaaleja käyttävien koneiden tapauksessa puhutaankin siis puu-muovikomposiittien tulostamisesta. Esimerkiksi saksalainen Laywood-tulostuslanka sisältää 40 % kierrätettyä puumateriaalia ja loput 60 % polymeerejä. (Geek ja Hackaday.)

Perinteisten, öljypohjaisten muovien lisäksi myös useat biopolymeerit soveltuvat tulostinmateriaaleiksi, esimerkiksi täkkelyspohjaiset biomuovit ja PLA. Puupohjaisten materiaalin tulostamisen saaminen teolliseksi toisi lisäarvoa puutuoteteollisuudelle. Esimerkkinä tästä mainittakoon puumuovikomposiiteista suulakepuristamalla valmistetut tuotteet. 3D-tulostaminen mahdollistaa sellaisten puupohjaisten tuotteiden valmistamisen, joiden valmistaminen puusta olisi hankalaa, kallista tai jopa mahdotonta.

Puu-muovikomposiittien lisäksi markkinoilla on tuotteita, joiden valmistamiseen käytetään ligniiniä ja luonnonkuituja. Esimerkiksi Saksalaisen Tecnaron yrityksen Arboform koostuu täysin luonnonmateriaaleista. Tuotteiden valmistaminen Arboformista onnistuu samoilla menetelmillä ja koneilla kuin perinteisimpien öljypohjaisten muovituotteiden. Arboformissa käytetty ligniini on peräisin selluteollisuudesta, jossa se normaalisti käytetään energian tuotantoon. Ligniinin sekaan voidaan sekoittaa haluttuja luonnonkuituja, jotka voivat olla peräisin puusta, pellavasta, hampusta,

sisalista jne. Käyttöikänsä lopun jälkeen tuotteet voidaan polttaa, tai ne häviävät luonnossa puumateriaalin tapaan maatumalla. (Tecnaro.)

Tecnaro mainostaa itseänsä ekologisesti kestävien, termoplastisten materiaalien kehittäjänä ja myyjänä. Tecnaron tuotteet ovat biopohjaisia ja raaka-aineet peräisin selluteollisuudesta (matriisi) ja kuidut ainakin osittain muilta teollisuudenaloilta. (Tecnaro.) Tulevaisuudessa biopohjaiset materiaalit linkittävät puutuoteteollisuutta yhä tiukemmin yhteen muiden teollisuudenalojen kanssa. Valmistusmenetelmien ja materiaalien kehittyessä eri teollisuudenhaarojen toiminnot limittyvät toisiinsa entistä tiukemmin, kuten Tecnaron tapauksessa sellu- ja muoviteollisuus. Tecnaron olisi kai luokiteltavissa ainakin biomateriaali-, muovi- tai komposiitteollisuuden yritykseksi. Voidaanko Tecnaron tai vastaavantapaisia biopohjaisia tuotteita valmistavien yritysten tapauksissa puhua puutuoteteollisuudesta, jos käytettävän seoksen ligniinin ja selluloosan seossuhde ovat verrattavissa luonnossa esiintyvään puumateriaaliin, tai uudesta metsäteollisuuden

haarasta, raaka-aineiden ollessa peräisin mekaanisen ja kemiallisen metsäteollisuuden aloilta? Ehkä ei kuitenkaan, mutta kovin kaukana puutuoteteollisuuden tuotteista ei taideta silti olla.

Puun, kuten muidenkin uusiutuvien luonnonmateriaalien, käyttö lisääntyy uusiutumattomien luonnonvarojen vähetessä sekä taloudellisten, poliittisten ja sosiaalisten paineiden vaikutuksesta. Tulevaisuuden modifioidut puutuotteet ovat entistä ympäristöystävällisempiä ja asiakaslähtöisesti kehitettyjä. Käytössä olevat modifioidut materiaalit ja modifiointimenetelmät pitävät pintansa tietyn aikaa ja väistyvät kehittyneempien edestä. Materiaaliteknologian jatkuva kehittyminen tarjoaa tuotteita ja materiaaleja valmistaville yrityksille mahdollisuuden kehittää omaa toimintaansa ja palveluitaan. Muuttuvat säädökset ja asiakkaiden kiinnostus entistä ympäristöystävällisempiä tuotteita kohtaan johtaa siihen, että puutuotealalla toimivien yritysten kannattaa siirtyä kohti entistä vihreämpää tuotantoa, niin käytettävien raaka-aineiden kuin menetelmienkin suhteen.

LÄHTEET

- Accoya esite. Saatavissa: <http://www.accoya.com/> [viitattu 7.3.2013].
- BOREN, H. 2008. *Loppuraportti: Moderni painekyllästys ja uusien puutuotteiden testaus aidossa, rakenmetussa ympäristössä*. Hankenumero 2007077/ Fimos 114355/ liite 11. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.
- BOREN, H. 2010. *Tulevaisuuden sähköpölväs*. Energiateollisuus ry/ Sähkötkutkimuspooli. Saatavissa: http://energia.fi/sites/default/files/tulevaisuuden_sahkopylvaat_loppuraportti.pdf [viitattu 1.2.2013].
- CAULFIELD D. F., CLEMONS C. & ROWELL R. M. 2010. *Wood Thermoplastic Composites*. Saatavissa: http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2010/fpl_2010_caulfield001.pdf [viitattu 21.5.2013].
- CWP. *Coloured Wood Products – Designing Wood*. Saatavissa: http://cwp.fi/sites/default/files/CWP_Designing_Wood.pdf [viitattu 28.10.2013].
- Ekopine esite. Saatavissa: <http://www.ekopine.fi/puutuotteet%281%29.htm> [viitattu 20.2.2013].
- E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten paloturvallisuus. Määräykset ja ohjeet. 2011. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37126-E1_2011-fi.pdf [viitattu 24.4.2013].
- Geek.com. Laywood filament lets you 3D print with wood. Saatavissa: <http://www.geek.com/news/laywood-filaments-lets-you-3d-print-with-wood-1517745/> [viitattu 24.10.2013].
- HABIBPOUR, B., ALAVIJEH, E. S. & RASEKH, A. 2013. *Bioactivity of Eucalyptus camaldulensis essential oil against Microcerotermes diversus (Isoptera: Termitidae)*. Research paper. The International Research Group on Wood Protection (IRGWP).
- Hachaday.com. 3D printer filament made of wood. Saatavissa: <http://hackaday.com/2012/09/21/3d-printer-filament-made-of-wood/> [viitattu 24.10.2013].
- HILL, C.A.S. 2006. *Wood Modification, Chemical, Thermal and Other Processes*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- HOMAN, W. J. & JORISSEN, A. J. M. 2004. *Wood modification developments*. Heron, Vol. 49 No. 4. 2004. Saatavissa: <http://heronjournal.nl/49-4/5.pdf> [viitattu 12.3.2013].
- IIDA, T., KONUMA, R. & KAWARADA, K. 2013. *The effects of impregnation with secondary metabolite extracted from Ipe on durability of Japanese cedar and beech wood*. Research paper. The International Research Group on Wood Protection (IRGWP).
- KJELLOW, A., IMSGARD, F., FERNANDES, J., WAGNER, R. & DELIS, J. 2013. *Field performance of wood impregnated with siloxanes using supercritical carbon dioxide*. Research paper. The International Research Group on Wood Protection (IRGWP).
- KOSKI, A. 2008. *Applicability of crude tall oil for wood protection*. Oulu: Oulu University Press.
- KÄRKKÄINEN, M. 2007. *Puun rakenne ja ominaisuudet*. Metsäkustannus Oy.

- LIEKKINEN, H. 2010. *Standardien EN84 ja EN113 mukaan testatun vesilasikyllästetyn männyn painohäviö ja puristuslujuus*. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.
- METSÄ-KORTELAINEINEN, S. 2011. *Differences between sapwood and heartwood of thermally modified Norway spruce (Picea abies) and Scots pine (Pinus sylvestris) under water and decay exposure*. VTT Publications 771.
- METSÄ-KORTELAINEINEN, S. & VIITANEN, H. 2009. *Decay resistance of sapwood and heartwood of untreated and thermally modified Scots pine and Norway spruce compared with some other wood species*. Wood Material Science and Engineering, 2009; 3-4: 105 – 114.
- MOTILLON, C., ALLAL, A., VISSE, A., BALDÉ A., CHARRIER, F. & CHARRIER, B. 2013. *Bio-based thermoset resins for bonding and eco-friendly preservation in the wood industry*. Research paper. The International Research Group on Wood Protection (IRGWP).
- NEJAD, M., SHAFAGHI, R., PERSHIN, L., MOSTAGHIMI, J. & COOPER, P. 2013. *Copper Coating on Wood: a New Way of Protecting Wood*. Research paper. The International Research Group on Wood Protection (IRGWP).
- OJALA, J. 2010. *Modifioidun puun kosteuseläminen ja mekaanisen kiinnikkeen tartuntalujuus*. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.
- Painekyllästetty puu, Opas ammattilaiselle*. 2012. Kestopuu-teollisuus ry.
- Painekyllästetyn kestopuun käyttö- ja turvallisuusohje*. 2012. Kestopuuteollisuus ry.
- Pitkäikäinen puujulkisivu*. Tekninen tiedote 3.4.2012. Puuinfo. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/pitkaikainenpuujulkisivu/pitkaikainen-puujulkisivu.pdf> [viitattu 24.4.2013].
- Plasteurope.com. European WPC Market. 2012. Saatavissa: <http://www.plasteurope.com/news/detail.asp?id=221719> [viitattu 22.5.2013].
- Pure Timber LLC. The Extreme Wood Bending Company*. 2013. Saatavissa: <http://www.puretimber.com/discover-extreme-wood-bending/> [viitattu 16.5.2013].
- Puu-muovikomposiitit*. LUT. Saatavissa: <http://www.telwood.eu/Puumuovikomposiitit.pdf> [viitattu 14.5.2013].
- Puutuoteprosessit. Taivutusmenetelmiä*. Saatavissa: http://www.w03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/kasityovaltainen_pienteollisuus/taivutetut_muodot/index.html [viitattu 16.5.2013].
- Puu-ulkoverhous. Tee itse puusta*. 2010. Puuinfo. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/tee-seitse/.ohjeet/ulkoverhous/ulkoverhous/puu-ulko-verhous-web.pdf> [viitattu 15.5.2013].
- RAUTKARI, L. 2012. *Surface modification of solid wood using different techniques*. Aalto University publication series, Doctoral Dissertations 4/2012. Saatavissa: <http://lib.tkk.fi/Diss/2012/isbn9789526044651/isbn9789526044651.pdf> [viitattu 22.3.2013 ja 26.3.2013].

- ROWELL, R. M. 2006. *Acetylation of Wood – Journey from Analytical Technique to Commercial Reality*. Forest Products Journal, Vol. 56, No. 9, September 2006.
- RT 21-10880. 2006. *Kyllästetty puutavara*. Rakennustietosäätiö RTS.
- RT 38263. 2012. *Painekyllästetty puutavara*. Kestopuuteollisuus ry. Rakennustietosäätiö RTS.
- Stora Enson Q-Treat esite. Saatavissa: <http://www.storaenso.com/Products/Woodproducts/Products/Q-Treat/Pages/Default.aspx> [viitattu 14.2.2013].
- Tecnaro.com. Ecological and technical principles of ARBOFORM®. Saatavissa: <http://www.tecnaro.de/english/grundsaeetze.htm?section=arboform> [viitattu 24.10.2013].
- Terassi. *Tee itse puusta*. 2010. Puuinfo. Saatavissa: http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/terassi_web.pdf [viitattu 15.5.2013].
- The Proceedings of the Third Conference on Wood Modification*. 2007. Saatavissa: http://s3.amazonaws.com/zanran_storage/www.tmu.ir/ContentPages/43562498.pdf [viitattu 15.3.2013 ja 18.3.2013]
- ThermoWood® käsikirja*. 2003. Helsinki: Lämpöpuuyhdistys ry. Saatavissa: http://files.kotisivukone.com/thermowood.kotisivukone.com/tiedostot/914711200401161255_t_wkasikirja.pdf [viitattu joulukuussa 2012 ja tammikuussa 2013].
- TimberSIL® GlassWood Fusion Products -esite. Saatavissa: http://www.maine.greenbuilding.com/wp-content/uploads/2011/04/TimberSil-Comprehensive-Brochure-1_08.pdf [viitattu 13.2.2013].
- TULLO, A. H. 2012. *Making Wood Last Forever With Acetylation*, *Chemical & Engineering News*, August 6, 2012. Saatavissa: <http://cen.acs.org/articles/90/i32/Making-Wood-Last-Forever-Acetylation.html> [viitattu 7.3.2013].
- UPM. Kuvia medially. 2011. Saatavissa: http://www.upmprofi.com/SiteCollectionImages/Images_for_media/UPM_ProFi_Deck_all_colours_print.jpg [viitattu 21.5.2013].
- UPM ProFi® Deck Tekniset Tiedot. 2012. Saatavissa: http://www.upmprofi.com/SiteCollectionDocuments/Brochures_FI/UPMProFi_Deck_Technical_FI.pdf [viitattu 22.5.2013].
- VIITANIEMI, P. & JÄMSÄ, S. 1996. Puun modifiointi lämpökäsittelyllä. VTT julkaisuja 814.
- VÄÄRÄ, T., STÖD R. & BOREN, H. 2012a. *Moderni painekyllästys ja uusien puutuotteiden testaus aidossa rakennetussa ympäristössä*. Jatkohankkeen loppuraportti. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, Tutkimuksia ja raportteja, B-sarja, Nro: 75.
- VÄÄRÄ, T. & BOREN, H. 2012b. *Puun modifiointiklusteri*. Loppuraportti. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, Tutkimuksia ja raportteja, B-sarja, Nro: 84.
- WAGNER, D. 2010. *A Structural Comparison of the Glasswood Fusion Product TimberSIL and Regular Lumber*. FDOT Structures Research Center. Saatavissa: <http://www.dot.state.fl.us/structures/structuresresearchcenter/Final%20Reports/2011-02%20Glasswood%20Fusion%20Product%20%28Timbersil%29.pdf> [viitattu 13.2.2013].



Kouvola®



Euroopan unioni
Euroopan sosiaalirahasto

Vipuvoimaa
EU:lta
2007–2013

