



RAKENNUSTIETO >

Rakennusalan täyden palvelun tietotalo

Rakennustieto Oy edistää hyvää rakennustapaa ja tuottaa rakentamisesta luotettavaa tietoa. Puolueettoman ja asiakaslähtöisen Rakennustieto Oy:n tuotteet kattavat rakentamisen koko elinkaaren suunnittelusta ylläpitoon. Yhtiön omistaa Rakennustietosäätiö RTS.

Tutustu palveluihimme

> rakennustieto.fi/rk/palvelut

Rakentajain kalenterin artikkelit

Tämä artikkeli on julkaistu alun perin Rakentajain kalenterissa, jota ovat julkaisseet Rakennustietosäätiö RTS sr ja Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry.

Julkaisu oli rakennusalan ammattilaisten ja opiskelijoiden käsikirja, joka yhdisteli teoriaa ja käytäntöä sekä kannusti hyvään rakentamiseen. Artikkelin vasemmassa reunassa olevasta vesileimasta näkee ko. Rakentajain kalenterin vuosikerran.

> [Artikkeliarkisto, kokoelma vuosien 1997–2018 Rakentajain kalenterissa julkaistuista artikkeleista](#)

Puun lämpökäsittely

Petteri Torniainen

Mikkelin ammattikorkeakoulu ympäristötekniikan instituutti YTI
petteri.torniainen@mikkeliamk.fi

2

1 Yleistä

Puun käyttökelpoisuutta voidaan parantaa erilaisten modifiointien, esimerkiksi lämpökäsittelyn avulla. Kiinnostus lämpökäsittelyä puuta kohtaan alkoi 1990-luvun vaihteessa Mäntässä palopäällikkö *Osmo Savolaisen* johdolla tehdyistä lämpökäsittelykokeista. Mikkelissä lämpökäsittelyyn liittyvä projektimuotoinen tutkimus- ja tuotekehitystyö alkoi ammattikorkeakoulun alaisuuteen kuuluvassa Ympäristötekniikan instituutissa (myöhemmin YTI) syksyllä 1995. Tämän vajaan viiden vuoden aikana YTI:ssa on tehty voimakasta tutkimus- ja kehitystyötä yhteistyössä useiden yritysten, tutkimus- ja oppilaitosten kanssa. Tämän yhteistyön ansiosta lämpökäsittely on vuosi vuodelta nousut merkittävämmäksi puun modifiointimenetelmäksi Suomessa. Vuoden 2000 lopussa arvioidaan Suomessa olevan kymmenkunta lämpökäsittelylaitosta, joiden yhteenlaskettu vuosituotanto on noin 40–50 000 m³. Kasvun odotetaan jatkuvan varsin voimakkaana.

Puun lämpökäsittely vaikuttaa puun kemialliseen rakenteeseen ja sitä kautta puun eri ominaisuuksiin. Käsittelyn aikana puusta vapautuu useita aineyhdisteitä ja useiden vaaleiden kotimaisten puulajien väri muuttuu tummemmaksi, jalopuumaiseksi. Puun kosteuseläminen pienenee ja lahonkesto paranee. Kosteuselämisessä ja lahonkestossa saavutetut positiiviset ominaisuudet kuten myös värin tummuus ovat suoraan verrannollisia lämpökäsittelyssä käytettyyn lämpötilaan.

Voimakkaalla lämpökäsittelyllä on kuitenkin haittapuolensakin. Korkeissa lämpötiloissa useimmat puun lujuusominaisuudet heikkenevät. Selvimmin lujuusominaisuuksien heikkeneminen havaitaan puun halkaisu- ja taivutuslujuudessa. Lujuusominaisuuksien heikkeneminen ei kuitenkaan ole este puun käytölle. Eniten se rajoittaa puun käyttöä kantavissa rakenteissa. Lämpökäsittelyyn puun toivotaan olevan jatkossa yhä enemmän vaihtoehto painekyllästetylle puulle. Se voi olla myös materiaali, joka vähentää uhanalaisten, trooppisten jalopuiden käyttöä Suomessa ja Euroopassa.

2 Puun fysikaalisten ja biologisten ominaisuuksien muuttuminen lämpökäsittelyprosessissa

Lämpökäsittely eli käsittely korkeissa lämpötiloissa > 160°C voidaan tehdä kuivatulle puutavaraalle. Puun kosteus on tässä vaiheessa < 10 % (veden paino g absoluuttisen kuivan puun painosta g). Lämpökäsittely tehdään lievästi ylipaineisessa uunissa. Vesihöyryn avulla saavutettu ylipaine estää puun syttymisen. Hapen määrä vähenee. Puun itsesyttymislämpötila on noin 160 °C.

Kuivaus ja lämpökäsittely voidaan suorittaa samassa tilassa. Prosessin kulku on silloin seuraavanlainen:

1. kuivaus (kuumakuivaus 100–135 °C) – puu voidaan kuivata myös muualla eri menetelmällä
2. lämpökäsittely (190–230 °C) – puu on lähes absoluuttisen kuivaa
3. tasaannutus (kosteuden palauttaminen puuhun käyttökosteutta vastaavaksi) – lämpökäsittelyllä puulla noin 4–8 %
4. jäähdytys – ennen puun ulosottoa
5. laadunvalvonta.

Käsiteltäessä puutavaraa yli 200 °C:ssa, puuaineksessa tapahtuu useita fysikaalisia ja kemiallisia muutoksia. Muutoksia tapahtuu mm. puun kosteuselämisessä, lahonkestävyydessä, värissä, painossa, pH-arvossa, tasapainokosteudessa, lämmöneristyskyvyssä ja lujuusominaisuuksissa.

2.1 Lahonkesto

Sahatavaran kuivauksessa puun pinnalle siirtyä puun sisäosista ravinteita, jotka tekevät pinnan homehtumiselle alttiimmaksi. Tällaisia pintoja tulisi välttää kosteudelle alttiissa kohteissa (ulkorakenteet, julkisivut, peltikatteen ruodelaudotus), ja tämä tulisi ottaa huomioon valittaessa materiaaleja ja pinnan käsittely-yhdistelmiä säälle alttiina oleviin rakenteisiin. Kohteissa, joissa sade huuhtelee pintoja, voi pinnan ho-

mehtuminen olla vähäisempää kuin rakenneosissa, jotka altistuvat pelkästään korkealle ilman suhteelliselle kosteudelle. Rakenteiden kastuminen kuitenkin lisää rakenteen sisäosan kosteusrasitusta ja siitä johtuvaa home- ja lahonamistiriskiä.

Biologisella kestävyydellä tarkoitetaan lahonkestoja, joka on eräs tavoitelluimmista ominaisuuksista lämpökäsittelyllä puulla. Se on haluttu ominaisuus, koska Suomen ympäristökeskus antoi uudet puunsuoja-aineiden käyttöä koskevat ohjeet alan teollisuuden kanssa käymiensä neuvottelujen jälkeen. Vuoden 1998 alusta lähtien kromilla, kuparilla ja arseenilla kyllästettyä A-luokan kestopuuta voidaan käyttää puurakenteissa, jotka tulevat maa- ja vesikosketukseen tai rakenteisiin, joihin liittyy rakenneturvallisuuden vaatimuksia (Puumies 2000).

Vuodesta 1995 alkaneiden tutkimusten ja kehitystyön tuloksena on luotu menetelmiä ja rakennettu laitteistoja, joilla käsittelemättömästä puusta on voitu modifioida paremmin vaativia olosuhteita kestävää puutavaraa. Tähän päivään mennessä suoritetuissa standardin (EN 113 ja EN 252) mukaisissa testeissä on saatu tuloksia, joissa lämpökäsittelyllä puun lahonkesto on parantunut lähes painekyllästettyä puuta vastavaksi. Tosin niihin olosuhteisiin, joihin vaaditaan tällä hetkellä A-luokan painekyllästettyä puuta, lämpökäsittelyä puuta ei voida vielä suositella varauksetta.

Lämpökäsittelyllä puun lahonkeston paranemisen on todettu johtuvan puuhun sitoutuneen veden määrän vähenemisestä, hydroksyyliyhdyntien määrän vähenemisestä ja puun ainesosien muuttumisesta vähemmän lahonaltaiksi (Viitaniemi ja Saily 1996). Lahonkeston paranemisen aiheuttaa puussa olevien sokerien hajoaminen sellaiseen muotoon lämpökäsittelyssä, etteivät lahottajasienet kykene käyttämään niitä ravinnokseen. Lämpökäsittelyllä saavutettavaa lahonkestoja voidaan arvioida käsittelyssä syntyvän painohäviön avulla. Painohäviötä aiheuttaa puun rakennekomponenttien hajoaminen ja hajoamistuotteiden sekä uuteaineiden haihtuminen kuumennuksessa (Kotilainen 1997). Esimerkiksi jos koivu halutaan standardiedhottua EN 350-1 mukaan vähän lahonkestäväksi, se pitää lämpökäsittellä niin, että sen painohäviö on 5 %. Painekyllästetylle puulle asetetun 3 %:n painohäviön pikalahotustestissä EN 113 saavutetaan männyllä lämpökäsittelyssä, jossa puun painohäviö on noin 10–11 %. Eli sitä suurempi painohäviö on saavutettava, mitä parempi lahonkesto halutaan. Painohäviössä mitataan puun paino absoluuttisen kuivana ennen lämpökäsittelyä ja lämpökäsittelyn jälkeen.

Lämpökäsittelymenetelmän kehittämiseksi kaupalliselle tasolle on välttämätöntä suorittaa myös laboratoriokokeita, joissa voidaan todeta erilaisten lämpökäsittelyohjelmien erot ja nii-

den aiheuttamat muutokset puun rakenteessa ja lahonkestävyydessä (Möller ja Otranen 1999). Kokeet suoritetaan laboratorio-olosuhteissa, joissa koekappaleet laitetaan erilaisilla sienillä altistettuihin viljelymaljoihin. Kokeen päätyttyä koekappaleet poistetaan maljoista ja määritetään niiden viljelyaikainen painonmenetykset. Sienten aiheuttama painonmenetykset kutsutaan myös painohäviöksi. Mitä suurempi on tutkittavan koekappaleen painohäviö, sitä enemmän lahottajasienet ovat syöneet puuta.

Ns. luontaisesti kestävien puulajien käytössä pitää käyttökohde ja sen rasitusasteet ottaa huomioon, ennen kuin tiettyä puulajia otetaan laajasti käyttöön biologisesti rasittavissa oloissa, kuten pylväät, aidat, ulkorakenteet. Mielenkiintoiseksi menetelmän tekee se, että lahonkeston parantamiseen ei tarvita myrkyllisiä aineita. Näin puutavaran käytöstä poistaminenkin on ekologisesti ongelmattonta.

2.2 Kosteuseläminen

Puun luontainen ominaisuus turvota ja kutistua ympäröivän ilman olosuhteiden muuttuessa asettaa puun käytölle rajoituksia ja aiheuttaa päänsaavaa puutuotteiden suunnittelijoille ja valmistajille. Tätä puun kutistumista ja turpamista kutsutaan kosteuselämiseksi. Eläminen tapahtuu joko säteensuuntaisesti, tangentin eli vuosirenkaan suuntaisesti tai pituussuuntaisesti. Käsittelemättömällä puulla vuosirenkaan suuntainen eläminen on 8–10 %, säteittäinen 4–5 % ja pituussuuntainen 0,4 %. Lämpökäsittelyllä puulla liikkuvuus on merkittävästi pienentynyt. Ominaisuuden muutoksen huomaa mm. lattialaudoissa.

Kun puun kosteus on yli 30 %, vesi on varastoitunut puu solujen väleihin ja sisälle soluihin. Puun kutistuminen alkaa, kun solujen sisällä oleva vesi alkaa poistua. Vastaavasti jos absoluuttisen kuiva puu tuodaan kosteudella kyllästettyyn ilmaan, jossa vesi ei kuitenkaan tiivisty, ottaa puu niin paljon vettä kuin soluseinät voivat imeä. Puun paino lisääntyy tällöin 25–30 %. On saavutettu puun syiden kyllästymispiste, jolloin puun turpominen päättyy. Kutistuminen on hyvin erilainen eri puulajeilla, mutta kutistumissuuruuden ja puun absoluuttisen kuivapainon välillä on olemassa selvä yhteys.

Kuumennuksen seurauksena puu kutistuu, kun puun solujen soluseinät luhistuvat (Kotilainen 1997). Tutkimuksen mukaan kutistuminen johtaa huokostilavuuden pienemiseen kevät-puussa ja suurenemiseen kesäpuussa. Soluseinien kutistuminen samoin kuin termokemiallisten hajoamistuotteiden haihtuminen kiihtyy lämpötilan noustessa. Kyseisten tuotteiden haihtuminen ja soluseinien kutistuminen on erilaista soluseinän eri kerroksissa. Soluseinien kerrosten erilainen kutistuminen saa aikaan halkeamia

ja murtumia sekundääriseinämien S1- ja S2-kerroksiin.

Tutkimuksien mukaan jo alhaisemmissa lämpötiloissa (lämpötila < 180 °C) tehdyissä lämpökäsittelyissä saadaan puun kosteuseläminen selvästi pienemään lujouden kuitenkaan sanottavasti heikentymättä. Korkeimmissa lämpötiloissa (lämpötila > 230 °C) tehdyissä lämpökäsittelyissä kosteuselämisen pieneminen voidaan saada jopa kymmenesosaan. Tällöin kuitenkin tietyt puun lujuusominaisuudet ovat heikentyneet selvästi käsittelemättömään puuhun verrattuna. Kosteuselämisen pienemisen ansiosta puumateriaalia voidaan hyödyntää tehokkaammin sellaisissa kohteissa, joissa se on ollut perinteisesti hankalaa. Tällaisia kohteita ovat mm. ikkunan ja oven karmit ja puulattiat.

Dimensiostabiliisuuden paranemisen on havaittu olevan seurausta puun hemiselluloosakomponenttien hajoamisesta (Viitaniemi ja Jämsä 1996). Puun ainesosista hemiselluloosat imevät vettä eniten ja ligniini vähiten. Hemiselluloosien hajotessa niiden sisältämät reaktiiviset vettä sitovat hydroksyyliyhdyt vähenevät. Veden sitoutumisen väheneminen eli tasapainokosteuden putoaminen parantaa dimensiostabiliisuutta. Mitä korkeampi käsittelylämpötila on, sitä nopeammin hemiselluloosat hajoavat. Dimensiostabiliisuuden paranemiseen vaikuttavia tekijöitä ovat sekä käytetty lämpötila että käsittelyaika.

2.3 Tasapainokosteus

Puun tasapainokosteuden pieneminen antaa merkittävän edun puusepänteollisuudelle. Kun käsittelemätön puu taseantuu 6–9 % kosteuteen asuinhuoneiston lämpötilasta ja ilman suhteellisesti kosteudesta riippuen, niin lämpökäsittelynä saman puun tasapainokosteus voi olla 3–5 % lämpökäsittelyasteesta riippuen (Möller ja Otranen 1999). Toisin sanoen puu on huonekalukuivaa 3–5 %:n kosteudessa. Koska lämpökäsittelyyn puun kosteuden muutokset ympäröivien ilmanolosuhteiden muuttuessa ovat käsittelemättömää puuta pienemmät ja hitaammat, puu ”elää” vähemmän. Tämä puun muuttunut ominaisuus voidaan hyödyntää puusepänteollisuuden tuotesuunnittelussa.

Ympäristötekniikan instituutissa tehdyissä tutkimuksissa on saatu tuloksia, joissa lämpökäsittelyyn puun tasapainokosteus on selvästi alhaisempi kuin käsittelemättömällä puulla. Puuhun imeytyy vettä sitä vähemmän, mitä suurempi on lämpökäsittelyn aiheuttama painohäviö. Tasapainokosteus on ollut kotimaisilla havu- ja lehti-puilla lämpökäsittelyasteesta riippuen 40–50 % pienempi käsittelemättömään puuhun verrattuna. Tämän seurauksena puun kosteuseläminen pienenee jopa 80–90 %. Tutkimukset antoivat viitteitä myös siitä, että koivun ja haavan tasa-

painokosteus alenee voimakkaammin matalammilla käsittelyasteilla verrattuna havupuihin. Havupuilla tasapainokosteuden muutos hidastuu korkeimmilla lämpökäsittelyasteilla.

Tasapainokosteuden pieneminen johtune hemiselluloosien hajoamisesta. Hajotessa niiden sisältämät reaktiiviset vettä sitovat hydroksyyliyhdyt vähenevät (Kotilainen 1997). Näin veden sitoutuminen vähenee. Käsittelyajalla on myös merkitystä tasapainokosteuden alenemiseen, muttei niin paljon kuin lämpötilalla.

2.4 Väri

Puun väri vaihtelee lähes valkoisesta liki tummanmustaan. Sillä on merkitystä sekä tunto-merkkinä että arvioitaessa puun teknillistä käyttökelpoisuutta. Sydänpuu on jokseenkin aina tummempaa kuin pintapu, jopa niin paljon tummempaa, että niitä on joskus vaikea ymmärtää samaan puuhun kuuluviksi.

Lämpökäsittelyssä puun väri tummuu. Sydän- ja pintapuun välinen väriero pienenee ja joillakin puulajeilla katoaa lähes kokonaan. Väriin tummuminen on sitä voimakkaampaa, mitä korkeampi on lämpötila ja mitä pitempi on käsittelyaika. Väri alkaa muuttua, kun puun lämpötila saavuttaa 150 °C (Viitaniemi ja Jämsä 1996). Väriin syntymiseen vaikuttaa myös käsittelyn aikana käytetyn höyryn määrä. Lämpökäsittelyssä puun väri muuttuu tummemmaksi kauttaaltaan toisin sanoen läpi koko paksuutensa. Sen vuoksi puun työstäminen ei aiheuta muutoksia värisävyyssä.

Koivun ja haavan luontaisia ja keinokuivauksen aiheuttamia väriavioita voidaan tiettyyn raajaan asti peittää lämpökäsittelyn avulla (Möller ja Otranen 1999). Esimerkiksi puun punertavaa väriä pidetään lämminilmakuivauksesta aiheutuneena kuivausvikana, joka voidaan helposti poistaa lämpökäsittelyn avulla. Tällöin punertavuuden aiheuttama arvonalennus (esimerkiksi huonekaluteollisuudessa) onkin muuttunut koivusahatavaran arvonousuksi. Samalla tavalla voidaan peittää myös sinistymän aiheuttamia ulkonäköhaittoja, ellei sinistymä ole liian voimakasta.

Lämpökäsittely antaa puulle kauniin, jalopuumaisten värisävyn. Vaikka puu tummuu kauttaaltaan, se voi myös alkaa menettämään väriään. Nyt voidaan jo olla vakuutuneita siitä, että ulkokäytössä pintakäsittelemättömän lämpökäsittelyyn puun tumma väri haalistuu varsin nopeasti ja myöhemmin harmaantuu. Haalistuminen tapahtuu pääasiassa auringonvalon vaikutuksesta. Haalistuneen pinnan harmaantumiseen vaikuttaa oleellisesti kosteus. Muutokset tapahtuvat jo muutamissa viikoissa. Ne näkyvät ohuena kerroksena puuaineksen pinnassa. Värimuutosten todennäköisin aiheuttaja on UV-säteily. Sen vuoksi lämpökäsittely puu, etenkin ul-

kokäytössä, vaatii pintakäsittelyn. Pintakäsittelyaineen on sisällettävä UV-säteilyä suojaavia pigmenttejä. Sisäkäytössä muutokset eivät ole niin rajuja, mutta jonkinasteista värin vaaleenemista on voitu havaita. Lämpökäsittely puun pintakäsittelyyn soveltuvia aineita on ollut saatavilla jo pari vuotta ja ne ovat osoittautuneet tähän mennessä varsin toimiviksi. Tosin on muistettava, ettei pitkäaikaisia kokemuksia ole vielä saatu tällä saralla pintakäsittelystykään.

Värin tai vaaleuden määrittäminen silmämääräisesti on varsin epätarkkaa. Tulokseen vaikuttavat useat tekijät, kuten valaistus, tarkastelukulma ja tarkastelijan harjaantuneisuus. Tästä syystä värin määrittäminen tehdään spektrometrisesti. Sillä saadut arvot ovat tarkkoja ja vertailukelpoisia keskenään. Värin mittaaminen perustuu valon reflektanssin mittaamiseen näkyvän valon alueella. Mitattavat kohteet absorboivat osan valosta ja heijastavat osan takaisin. Heijastuneen valon intensiteetistä ja aallonpituudesta voidaan kohteen väri tai vaaleus määrittää tasaisesti (Kotilainen 1997).

2.5 Lämmönjohto- ja lämmöneristyskyky

Puu, kuten muutkin selluloosapitoiset materiaalit, on varsin huono lämmönjohtaja. Huonoon lämmönjohtamiskykyyn on syynä puun huokoisuus. Lämmönjohtavuuteen vaikuttavat puun kosteus ja tiheys. Puun lämmönjohtokyky kasvaa 2,7 %, kun kosteus lisääntyy 1 % (Siikanen 1998). Erityisen hyvä lämmöneriste puu ei kuitenkaan ole, sillä puun lämmönjohtavuus kohtisuoraan syitä vastaan on noin kolminkertainen lasivillaeristeeseen verrattuna.

Lämpökäsittely puun lämmönjohtokyky on huonontunut ja vastaavasti lämmöneristyskyky parantunut käsittelemättömään puuhun verrattuna. Tämä johtuu puun solurakenteessa tapahtuneista muutoksista. Muutosten johdosta lämpökäsittelyn puun kyky imeä vettä ympäröivästä ilmasta on vähentynyt. Lämpökäsittely puun tasapainokosteus on alhaisempi, jolloin puussa olevan veden määrä on pienempi. Näin puu eristää paremmin ja toimii huonommin lämpöä johtavana kappaleena.

2.6 Paino

Lämpökäsittelyssä puun paino vähenee. Puun painon väheneminen johtuu sen pääkomponenttien, selluloosan, hemiselluloosan ja ligniinin kemiallisista muutoksista sekä uuteaineiden häviämisestä. Kemialliset yhdisteet pilkkoutuvat pienemmiksi yhdisteiksi ja osa aineista haihtuu pois. Puussa tapahtuvan hajoamisen voimakkuutta voidaan kuvata painohäviön avulla. Puun painohäviö riippuu käsittelylämpötilasta ja

-ajasta (Woodworking Puuntyöstö 1996). Lisäksi painohäviön suuruuteen vaikuttavat ympäröivät olosuhteet ja koekappaleiden koko.

Tässä on kuitenkin syytä huomauttaa, ettei lämpökäsittelyssä puun kuivumisesta tapahtuva painon väheneminen kuulu edellä esitetyn painohäviön piiriin.

2.7 pH-arvo

Lämpökäsittely muuttaa puun pH-arvoa happamammaksi. Tätä todistavat Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristötekniikan laboratoriossa ja Jyväskylän Yliopistossa tehdyt tutkimukset. Kotilaisen (1997) tekemissä tutkimuksissa lämpökäsittelylle puulle on saatu pH-arvoja 2,7–3,5. Arvot ovat selvästi pienempiä kuin ympäristötekniikan laboratorion omissa tutkimuksissaan (3,9–4,2) saamat arvot. Vaikka Kotilaisen ja ympäristötekniikan tekemissä pH-mittauksissa onkin selkeä ero, voidaan silti huomata pH-arvon laskeneen käsittelemättömään puuhun verrattuna. Se, millaiset vaikutukset puuaineksen happamuudella on esimerkiksi puuhun asennettuihin kiinnittimiin, on vielä selvittämättä.

2.8 Lujuus

Puu on anisotrooppista ainetta, jonka lujuusominaisuudet riippuvat siihen kohdistuneen kuorman suunnasta. Puun lujuusominaisuuksien tarkka määrittely on vaikeaa. Puulajien ominaisuudet ovat erilaisia niiden rakenteen erilaisuuden takia. Myös samoilla puulajeilla ominaisuudet vaihtelevat paljon. Puun lujuusominaisuuksiin vaikuttavat tiheyden kautta mm. kasvupaikka, ilmasto, ravinteet ja kasvuolot. Myös puun iällä on merkitystä, samoin sillä, mistä osasta runkoa puokappale on otettu. Erityisesti on huomattava lujuuden nopea lisääntyminen kuivuuden lisääntyessä, niin että lujuus on 5 %:n kosteudessa jokseenkin kaksinkertainen 25 % vettä sisältävään puuhun verrattuna. Tietyt puun viallisuudet heikentävät sen lujuutta (Siikanen 1998).

Lämpökäsittelyllä on vaikutusta puun lujuusominaisuuksiin. Muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta lujuudet heikkenevät lämpökäsittelyssä. Eniten lämpökäsittely heikentää puun halkaisu- ja vetolujuutta.

Halkeiluun vaikuttaa ensisijaisesti kuivaus. Jos kuivauksen aikana puuhun syntyy halkeamia (ei välttämättä silmin havaittavia), lämpökäsittely suurentaa halkeamia. Halkeiluriski kasvaa merkittävästi silloin kun puun paksuus kasvaa yli 50 mm:n. Lämpökäsittely tehdään useimmiten valmiille sahapintaiselle sahatavalle. Käsiteltävä sahatavara vaihtelee yleensä paksuudeltaan 22–75 mm:n ja leveydeltään 75–200 mm:n välillä.

Vetolujuus on hyvin suuri puun pituussuunnassa, mutta laskee todella nopeasti voiman vaikuttaessa vinosti syiden suuntaa vastaan. Vuosienkaan suunnassa se on hyvin pieni. Halkaisulujuus riippuu syiden suunnasta. Mitä suorasyisempää puu on, sitä helpompaa se on halkaista. Möllerin ja Otrasen (1999) tekemissä kokeissa halkaisu- ja vetolujuuden heikkeneminen on vaihdellut 20–50 %:n välillä. Suurinta heikkeneminen on ollut havupuilla. Lujuuksien heikkeneminen kasvaa lämpötilan lisääntyessä ja johtuu puun rakenneosien muutoksista. Halkaisulujuuden heikkeneminen johtuu puun oman liima-aineen, ligniinin muutoksista lämpökäsittelyssä. Ensimmäiset muutokset ligniinissä tapahtuvat noin 150 °C:ssa ja haljominen 280–500 °C:ssa. Loppukäyttäjän kannalta on halkaisulujuuden heikkenemisestä johtuva suurin haitta kiinnitettäessä puutavaraa esimerkiksi naulaamalla ja ruuvaamalla. Ongelmaa voidaan vähentää esiporaamisella.

Lämpökäsittely heikentää myös puun taivutuslujuutta. Heikkeneminen ei ole niin voimakasta kuin halkaisu- ja vetolujuudessa. Viitanemi ja Jämsä (1996) havaitsivat taivutuslujuuden muuttuvan kuusella ja männyllä suoraviivaisesti lämpökäsittelyasteen suuruuden mukaisesti. Taivutuslujuuden heikkeneminen johtuu puun lujudesta vastaavan selluloosan hajoamisesta. Yli 200 °C:n lämpötilassa puuhun muodostuu lämmön ja kosteuden yhteisvaikutuksesta etikkahappoa, joka hydrolysoi glukoosiyksiköiden välisiä glykosidisia sidoksia pilkkoen selluloosaa pienemmiksi ketjuiksi. Möllerin ja Otrasen (1999) tekemät kokeet puolestaan osoittavat taivutuslujuuden heikkenemisen kiihtyvän lämpökäsittelyn ylittäessä 210 °C. Taivutuslujuuden heikkeneminen vaihteli 0–20 %:n välillä riippuen puulajista ja käsittelyasteesta. Lehtipuilla heikkeneminen oli vähäisintä.

Lujuusominaisuus johon lämpökäsittelyllä on lisäävä vaikutus on puristuslujuus. Puristuslujuus on havupuilla yleensä suurempi kuin lehtipuilla (samanpainoisilla), suurin poikittaisleikkausta, pienin tangentialileikkausta vastaan. Möllerin ja Otrasen (1999) tekemissä syiden suuntaisissa koetuksissa puristuslujuus kasvoi 10–40 %. Kuusella kasvu on ollut lineaarista aina kovimpiin käsittelyihinkin asti. Kivulla puristuslujuutta on mitattu vain alhaisimmilla käsittelyasteilla, mutta lujuden kasvua voidaan pitää merkittävänä.

Puristuslujuuden ja kovuuden yhteneväisyyttä on syytä tarkastella paremmin. Siihen antaa aihetta Valtion Teknillisen Tutkimuslaitoksen (VTT) ja Ympäristötekniikan instituutin (YTI) tekemät kovuskokeet lämpökäsittelylle puulle. Näiden tutkimustulosten perusteella voidaan jo tehdä selkeitä johtopäätöksiä siitä, ettei lämpökäsittely välttämättä lisää puun kovuutta. Møl-

lerin ja Otrasen (1999) tekemissä kovuskokeissa havaittiin, että puun syitä vastaan kohtisuora kovuus ei lämpötila-alueella 190–230 °C kasva, vaan havupuilla jopa vähenee. Männylle ja kuuselle saaduista kovuusarvoista voi helposti tehdä havainnon siitä, että kovuus laskee lämpötilan noustessa. Myös kovuuden puu- ja kuitteiden heikkenevän YTI:ssa tehtyjen, laajojen koestuksien perusteella. Heikkeneminen ei kuitenkaan ole kovin voimakasta, joten lämpökäsittely koivu soveltuu hyvin nykyisiin käyttökohteisiinsa. Tutkimus tehtiin parketin valmistukseen käytetystä koivusta. Mielenkiintoista on havaita syiden suuntaisen kovuuden kasvu lämpökäsittelyssä. Ilmeisesti solujen lasittumisen ja kiteytymisen takia niiden kasaan painuminen on vähäisempää. Tässä on yhtymäkohta myös puristuslujuuteen: eri lämpökäsittelyasteilla ja kaikilla koestetuilla puulajeilla se kasvoi.

Mitatulla kovuudella ei välttämättä ole riittävä tarkkuutta arvioimaan koekappaleiden pinnan kulutus- tai pintapainekestävyyttä muutoin kuin ettei sen avulla voidaan puulajit panna jonkinasteiseen, varsin summittaiseen paremmuusjärjestykseen.

Käsittelymättömän puun kovuus on poikkeuksellisen suurempi kuin tangentiali- tai radiaalipinnalla. Viimeksi mainituilla pinoilla kovuudet ovat suunnilleen yhtä suuret, joten niiden keskiarvoa on kutsuttu sivukovuudeksi.

Kosteuden vaikutus kovuuteen on vähintään yhtä jyrkkä kuin sen vaikutus puristuslujuuteen. Kosteuden pieneminen yli puunsyiden kylästympisteeseen olevalta alueelta vedettömään tilaan nostaa pääkovuuden noin kolminkertaiseksi ja vastaavasti sivukovuuden noin kaksinkertaiseksi.

3 Työstäminen

Työstöistä saadut kokemukset perustuvat pääosin YTI:n tekemiin, lämpökäsittelyä puuta käyttäneiden tahojen haastatteluihin.

3.1 Höylättävyys

Lämpökäsittelyn puun höylättävyyttä pidettiin hyvänä. Eroa lämpökäsittelyn ja käsittelymättömän puun höyläyksessä ei haastatellun mukaan ilmennyt paljoakaan. Erään haastatellun mukaan ”höyläyssuunnilla on kuitenkin enemmän merkitystä käsittelymättömään puuhun verrattuna”.

Joissakin tapauksissa, esimerkiksi haapaa höylätessä, lämpökäsittelyn puun höylättävyys koettiin jopa paremmaksi kuin käsittelymättömän puun. Tämä johtunee siitä, että ilmakeiuvan haavan (kosteuspitoisuus 15–20 %) höyläyksessä tapahtuu ns. nukkaantumista ja repeilyä, samoin alle 10 % kosteuspitoisuuksissa. Käsittely-

mättömän haavan höylyäys onnistuu parhaiten noin 12 % kosteuspuiteisuudessa. Ilmeisesti tämä rajoitus poistuu lämpökäsittelyn haavan osalta. Muutenkin lämpökäsittelyjen lehtipuiden höylyttävyyttä pidettiin parempana kuin havupuiden.

Tärkein lähtötekijä haavan ja muidenkin puulajien höylyäyksessä hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi oli raaka-aine. Lämpökäsittely ei paranna huonolaatuisen sahatavaran työstettyvyyttä ja höylyäyslaatu onkin verrattavissa lähtöpuun laatuun. Erityisesti kierous ja oksaisuus heikensivät höylyttävyyttä ja hyvän höylyäysjäljen saavuttamista.

Männyn ja kuusen höylyttävyyttä pidettiin varsin hyvänä. Niiden hyvää höylyäysjälkeä arvoistettiin. Voimakkaimmissa käsittelyissä saattoi ilmetä vikoja höylyäksen jälkeen. Esimerkiksi telapaine tulee huomioida yli 200 °C:een käsittelyeriä höylyttäessä. Tällöin puuaines rikkoutuu helposti jo normaaliapuun telapaineilla. Eräs haasteltava totesi, että ”*ohuilla kappaleilla (8 mm) mäntypuuaines irtosi vuosilustoista paksuushöylyäyksessä*”. Toinen haasteltava kertoi, että ”*käsihöylyäyksessä esiintyy ehkä hieman enemmän tikkuuntumista*”. Myös sydänpuun ja pintapuun välinen raja on saattanut ”pettää” ja sen seurauksena sydänpuu on irronnut pinta-puusta.

Lustot kihartuivat joissakin erissä höylyäksen yhteydessä. Lustot kihartuivat välittömästi terän ja telojen aiheuttaman paineen hellittäessä. Kihartumisen todennäköisyys oli suurempi puilla, joissa kevätpuun osuus oli suuri verrattuna kesäpuuhun. Myös oksien irtoaminen oli runsasta etenkin sekalaatuisella kuusella ohuempia dimensioita höylytessä. Toisaalta kuivien oksien irtoaminen on yleistä ohutta lautaa höylytessä, mutta silti oksien irtoilu oli selvästi runsaampaa lämpökäsittelyllä puulla.

Haastattelujen mukaan höyläterien kulumisnopeudella tai tylsytymisellä ei ole eroja lämpökäsittelyyn puun ja käsittelemättömän puun välillä. Eräs haasteltava totesi, että ”*terien tulee olla terävät ja paremmissa kunnossa kuin käsittelemättömää puuta työstettäessä*”. Huonoilla terillä työstettäessä havaittiin puun tikkuilevan ja aiheuttavan ”savun hajua”.

Suurena höylyästä haittaavana tekijänä pidettiin lämpökäsittelystä puusta lähtevää voimakasta hajua. Hajuilla ei ollut eroa puulajeittain, mutta eri käsittelyasteilla kylläkin. Mitä korkeampi käsittelyaste, sitä voimakkaampana ja haittaavampana haju aistittiin. Hajun todettiin vähenevän merkittävästi höylyäksen jälkeen jo muutaman päivän kuluessa. Lisäksi pölyävyys työstön yhteydessä koettiin ongelmaksi monessa tapauksessa. Lämpökäsittelyyn puun työstöissä ei synny normaaleja lastuja. Lämpökäsittelystä puusta tulevan hienojakoisen pölyn arvel-

tiin vaativan parempia suojaustoimenpiteitä, etenkin purunpoistoa ja kasvusoijausta.

Lämpökäsittelyyn puun höylyäyksessä on tärkeää huomioida puun mittamuutokset lämpökäsittelyn jälkeen. Koska lämpökäsittelyyn puun kosteuspuiteisuus on käsittelyn jälkeen 3–8 % ja lisäksi siitä poistuu erilaisia aineyhdisteitä, se aiheuttaa normaaleilla märkämittasahaauksilla alimittaa puun kutistuessa enemmän. Alimitan suuruuteen vaikuttaa luonnollisesti sahatavaran dimensio ja käsittelyasteen voimakkuus. Normaalisti alimittaisuus vaihteli 0,5–3 mm välillä. Puun suuremman kutistuvuuden vuoksi höylyäys tulisi suorittaa vasta lämpökäsittelyn jälkeen, jotta haluttu loppumitta saavutettaisiin. Lisäksi lämpökäsittelyn jälkeisellä höylyäyksellä saadaan poistettua mahdolliset pihkan poistumisesta aiheutuneet epäpuhtaudet puun pinnalta.

Lämpökäsittelyssä puun muodonmuutokset, esimerkiksi kieroutuminen ja kupertuminen ovat suuremmat kuin lämminilma- ja kuuma-kuivauksessa. Tämä tulee huomioida suurempina työstövaroina, myös höylyäyksessä. Työstökappaleissa saattaa esiintyä voimakkaita muodonmuutoksia höylyäksen jälkeen tapauksissa, joissa lämpökäsittely puu on toimitettu liian nopeasti käsittelystä höylyäykseen. Lämpökäsittelyprosessin luonteen takia laitteistolla tehty lopputasaannutus ei aina riitä, vaan puuta pitää tasaannuttaa varastossa ennen höylyästä erityisesti paksulla sahatavaralla. Aina tähän ei kuitenkaan ole mahdollisuutta.

3.2 Sahattavuus

Lämpökäsittelyyn puun sahaamista pidettiin helppona. Sekä katkaisu- että halkaisusaahaamisessa hyvä leikkuujälki syntyy nopeasti. Sahattavuuden helppous johtuu osittain pihkan poistumisesta, mikä vähentää puun ja sahanterän välisiä kitkaa. Korkeampi käsittelyaste ($t > 200\text{ °C}$) aiheuttaa puulle halkaisulujuuden alenemista, mistä saattaa aiheutua katkaisupinnan lohkeamista. Lohkeamista voidaan kuitenkin ehkäistä käyttämällä tasaista katkaisualustaa, terävää katkaisuterää sekä mahdollisuuksien mukaan piirtoterää. Sahaamisessa syntyvä puru on pienijakoista ja pölyävää. Tämän vuoksi suurempia määriä sahatessa onkin suositeltavaa suojautua pölyä vastaan.

3.3 Kiinnittimien käyttö

Halkaisulujuuden heikkeneminen vaikeutti erityisesti kappaleiden kiinnittämistä päistä. Tärkein tekijä, jolla halkeamista voitiin vähentää, oli kappaleiden päiden esiporaaminen. Myös oikean ruuvi- ja naulakoon valinnalla vähennettiin oleellisesti päiden halkeilua. Lämpökäsittelystä puusta tehdyissä rakenteissa tulee käyttää karkeakierteisiä ruuveja, koska käsittelyn aiheutta-

masta haurastumisesta johtuva pitokyky on heikentynyt. Tiheä- ja matalakierteinen ruuvi jauhaa puuainesta, jolloin ruuvi ”korkkaa”. Lämpökäsittely haavan ruuvauksessa tulee joissakin tapauksissa käyttää leveämpää kantakokoa, sillä ruuvit uppoavat puuhun erittäin helposti. Kiertimien oikea vääntömomentti korostuu lämpökäsittelyyn puuhun ruuvattaessa.

Kyllästetystä ja todennäköisesti myös lämpökäsittelystä puusta tehdyt rakenteet kestävät ulkona jopa vuosikymmeniä, mikä asettaa suuret vaatimukset käytettävälle kiinnikkeille. Suola-kyllästetyn puun kiinnityksessä suositellaan käytettäväksi kuumasinkittyjä tai ruostumattomasta teräksestä tehtyjä nauvoja ja ruuveja, jotka kestävät ulko-olosuhteissa pitkän käyttöajan mukanaan tuomat rasitukset. Kun käytetään sinkitettyjä ruuveja lämpökäsittelyyn puuhun ulkorakenteissa ja kosteissa saunoissa, on niiden havaittu ruostuvan varsin nopeasti.

Myös galvanoiduilla ruuveilla ja naujoilla esiintyy korroosio-ongelmia. Tämä johtuu siitä, että lämpökäsittelystä puuhun syntyvät etikka- ja muurahaishappojäämät laskevat puun pH-arvoja 10–15 %, jolloin puusta tulee happamampi. Kun happojäämät reagoivat kosteuden kanssa, syntyy nopea korroosiovaikutus. Sinänsä pelkäästään pH:n aleneminen ei aiheuta korroosiota vaan tarvitaan myös selvä kosteusvaikutus reaktion käynnistämiseen. Esimerkiksi hyvin tuuletuvassa saunassa riittävät kuumasinkityt ruuvit RST- ja haponkestävät ruuvit toimivat moitteetta, mutta niiden hinta on korkeampi.

Korroosio vaatii riittävän kosteuden. Olosuhteissa, joissa puun tasapainokosteus on alle 20 % ja tiloissa, joissa puu pääsee kuivahtamaan, korroosion esiintyminen kiinnikkeissä on epätodennäköistä.

3.4 Liimaaminen

Lämpökäsittelyyn puun liimaaminen koettiin varsin hankalaksi tavallisilla puuliimoilla. Liima-aineina käytetyimmät olivat yksikomponenttiset, vedenkestovaatimukset täyttävät PVAc-dispersioliimat D3 ja B3. Normaaleja puristusajoja (8–10 min) käytettäessä liimausomien kuivuminen ei tapahtunut odotetulla nopeudella, jolloin saumat saattoivat jäädä hieman auki tai pettää kokonaan. Kun puristusajoja pidennettiin 3–6-kertaisiksi, liimasaumat kestivät normaaliin tapaan. Esimerkiksi erässä puusepäntehtaassa luokkaan 2 lämpökäsittelyyn määnny liimakassa puristusajat olivat noin neljä tuntia, kun käsittelemättömän puun kylmäpuristus aika samassa yrityksessä oli normaalisti noin puoli tuntia.

Puristusajan pituus näyttääkin riippuvan käsittelyasteen voimakkuudesta eli voimakkaampi käsittely vaatii pitemmän kuivumisajan. Jos liimataan lämpökäsittelyä puuta käsittelemättö-

mään puuhun, puristus aika puolittuu. Huonot liimaolosuhteet kuten kosteus ja alhainen lämpötila pidensivät osaltaan liimasauman kuivumisaikaa. Myös lämpökäsittelyyn puun pH-arvon aleneminen hidastaa osaltaan liimojen kovettumista.

Lämpökäsittely puu sitoo puuainekseen normaalisti ilmaa vesihöyryä vähemmän ja hitaammin kuin käsittelemätön puu. Tästä sinänsä hyvästä ominaisuudesta seuraa vesiohenteisten liimojen ja pintakäsittelyaineiden pidempi kuivumisaika. Ilmiö ei vaikuta varsinaisen liimasauman lujuteen, mutta koska puu on lämpökäsittelyyn ansiosta haurastunut, sen murtuminen puuaineksestä tapahtuu helpommin. Tämä selittää lämpökäsittelyyn puun liimasauojen testauksessa saadut korkeat puustamurtumaprosentit.

Veden imeytymiseen perustuvien PVAc-liimojen liimausominaisuudet muuttuvat heikommiksi, koska puuhun imeytyneen veden määrä vähenee lämpökäsittely seurauksena. PVAc-liimojen puristusajoja voidaan lyhentää avaamalla solukkoa joko hiomalla tai harjaamalla puun pintaa, jolloin puun liimattavuus paranee. Kyseeseen voisi tulla myös liiman imeytymistä parantavien aineiden lisäksi liiman sekaan kuitenkin siten, että se ei vaikuta liiman viskositeettiin. Esimerkiksi 3–5 % veden lisäys PVAc-liimaan puolittaa viskositeetin.

Lämpökäsittelyyn puun pinta kiillottuu helposti höyläyksessä etenkin, jos terät eivät ole hyvässä kunnossa. Tällaisesta raaka-aineesta liimatun pinnan liimasauman leikkauslujuus on samaa luokkaa kuin puulla, jonka liimasaumat ovat hiotusta pinnasta. Koska yli 200 °C:een käsitellyillä halkaisulujuus puolittuu ja todennäköisesti myös puun leikkauslujuus on voimakkaasti pienentynyt, liimasauman heikkeneminen esimerkiksi hionnan takia ei ole niin suurta, että murtuminen tapahtuisi siitä. Jos hiotulla pinnalla halutaan nopeuttaa liimasauman kovettumista, voidaan sitä myös käyttää. Tosin tällöin tuotantoon tulee yksi työvaihe lisää, ellei hiomakone ole samassa linjassa.

Liimausominaisuudet heikkenevät liimattavien pintojen vanhetessa, esimerkiksi varastotaessa liimattavat lamellit auringonvalossa. Puupinnan vanhetessa kappaleen pinnalle muodostuu ei-polaarinen kerros, jota polaariset liimat kuten PVAc eivät pysty kunnolla kostuttamaan. Varastoinnin heikentävää vaikutusta lämpökäsittelylle puulle ei tunneta, mutta joka tapauksessa liimattavien lamellien varastointiaika kannattaa minimoida liimausongelmien vähentämiseksi.

Uretaanipohjaisia liimoja käytettiin muutamissa kohteissa ja niiden todettiin toimivan paremmin kuin PVAc-liimojen. Ennen uretaaniliimausta tehty liimauspintojen kostuttaminen kiihdytti liimausprosessia ja nopeutti kuivumista.

Liimasauman lämmittäminen parantaa PVAc-liimalla liimattujen saumojen ominaisuuksia. Tämä korostuu lämpökäsiteltyä puuta liimattaessa. Lisäksi lämpö lyhentää merkittävästi puristusaikaa. Hyviä tuloksia on saatu liimasauman kuumentamiseen perustuvasta suurtaajuusliimauksesta, joka saattaaakin olla ratkaisu suurteollisuuden liimausongelmiin. Suurtaajuusteekniikan hankkiminen on kuitenkin liian kallista ja tarpeetonta pienissä puusepän verssaissa. Nyt kun vaikeudet on tiedostettu, ratkaisuja liimausongelmiin voidaan tulevaisuudessa odottaa liimatehtailta.

3.5 Pintakäsittely

Lämpökäsittelyn puun pintakäsittelyssä ei esiinny suuria ongelmia, mutta lämpökäsittelyn puun hauraudesta johtuen esimerkiksi viimeistelyhionnoissa erityisesti särmistä, irtoaa herkästi säle, kun hiomapaperi kiilautuu heikosta kohdasta puuainekseen.

Muutokset lämpökäsittelyn puun permeabiliteetissa eli läpäisevyydessä aiheuttavat sen, että pintakäsittelyaineen imeytyminen on erilaista eri kohdissa. Toisin sanoen esimerkiksi saman lattialaudan eri kohdat imevät pintakäsittelyainetta eri tavoin, jolloin enemmän pintakäsittelyainetta imeeneet kohdat näyttävät tummemmilta. Ilmiö esiintyy jossain määrin käsittelemättömmälläkin puulla, mutta lämpökäsittelyn tummentama puuaines korostaa sitä.

Näyttäisi siltä, että lämpökäsittely puu imee pintakäsittelyainetta enemmän kuin käsittelemätön puu (esimerkiksi pohjamaali tai pinnan ensimmäinen lakkakerros). Toisaalta tässä on ristiriitä verrattaessa tilannetta esimerkiksi lämpökäsittelyn puun liimaukseen PVAc-liimoilla. Liimauksessa ongelmana on liiman heikko imeytyminen puuainekseen. Suurempi imeytymismäärä pintakäsittelyssä saattaa johtua juuri alueittaisesta permeabiliteetin kasvusta.

Haastattelussa lämpökäsittelyn puun pintakäsittelyä pidettiin hyvänä. Hiontajälki oli erinomainen ja sileä jälki syntyi nopeasti. Haittapuolena oli hiontapölyn hienojakoisuus. Lakkauksien, vahaamisen ja öljyminen eivät aiheuttaneet mitään erikoistoimenpiteitä. Maalit ja petsit tartuivat pintaan hyvin. Pintakäsittelyaineiden imeytymistä höylätyihin pintoihin voidaan parantaa harjaamalla. Harjaamisen johdosta puun pinta avautuu ja aineiden läpäisevyys helpottuu. Myös peruskäytön käyttö pohjusteena avaa sulkkoa.

Periaatteessa lämpökäsittely puu on parempi pohja pintakäsittelyaineelle kuin tavallinen puu. Koska lämpökäsittelyn puun eläminen on selvästi vähäisempää, voivat pintakäsittelyaineilla aikaansaadut pinnat olla kovempia.

Lakaton tai vahaton lämpökäsittelyn koivun värisävy on oleellisesti tummempi kuin pintakä-

sittelemättömän lämpökäsittelyn koivun. Pintakäsittelyn aiheuttamat värimuutokset tapahtuvat kaikilla puulajeilla. Näin ollen oikean lämpökäsittelyasteen valinnan merkitys värisävyyn kannalta korostuu. Toisaalta on olemassa pintakäsittelyaineita, jotka eivät tummenna lämpökäsittelyn puun värisävyä.

Sisäkäyttö

Sisäkäytössä lämpökäsittelyn puun suojaaminen ei ole välttämätöntä. Esimerkiksi saunoissa on käytetty pintakäsittelemätöntä haapaa lauteisiin ja paneeleihin hyvin kokemuksin. Huolimatta suurista lämpötila- ja kosteusvaihteluista, puu on säilyttänyt lähes alkuperäisen lämpökäsittelyssä saamansa värin. Vaikka pintakäsittely lämpökäsittelylle haavalle ei saunatiloihin olisi välttämätöntä, voidaan pintakäsittely toki halutessa suorittaa. Sen voi suorittaa kuitenkin selvästi laimeammilla suoja-aineilla.

Vahan levittäminen lämpökäsittelyyn koivulattiaan on työlästä, mutta hyvänä puolena pidetään lattian helppoitoisuutta vahausten jälkeen. Vahausten kulutuksenkestävyydessä on toivomisen varaa, sillä esimerkiksi kenkien mukana tuleva hiekka ja siitä aiheutuvat naarmut näkyvät vahatussa lattiassa selvästi. Toisaalta lattiatinnan paikkaaminen hoivalla on mahdollista ilman, että paikkaus näkyy.

Kun naarmuuntunutta lattiaa halutaan esimerkiksi muuton yhteydessä kunnostaa, täytyy kunnostajan tietää, miten lattia on aiemmin pintakäsittely. Vahaton lattia lakkaaminen on ongelmallista, sillä lakat eivät kiivu vahan päällä. Vaha on ensin poistettava puun pinnalta. Kuuvavahaton lämpökäsittelyn lattian hiominen voi kuitenkin olla työlästä, sillä vahakerroksen paksuus saattaa olla noin 1–2 mm.

Ulkokäyttö

Lämpökäsittely puu vaatii pintakäsittelyn etenkin ulkokäytössä. Lahonkeston kannalta pintakäsittely ei välttämättä ole tarpeellista, mutta ulkonäköseikat pakottavat pintakäsittelymään myös lämpökäsittelyn puun. Jos sitä ei pintakäsittellä, lämpökäsittely puu vaalenee. Täytyy muistaa, että värisävy muuttuu ilman puunsuojausta muillakin puulajeilla kuin lämpökäsittelyllä puulla. Esimerkiksi käsittelemätön, mäntyinen hirsiseinä vaalenee voimakkaasti etelän puoleisella sivulla. Värisävyn vaaleneminen johtuu auringon UV-säteilystä ja ilmankosteudesta.

Sade puolestaan harmaannuttaa vaalentunutta, pintakäsittelemätöntä puun pintaa. Harmaantunutta puun ulkonäköä pidettiin monessa tapauksessa jopa epämiellyttävänä. Raaputtamalla pintaa noin yhden millimetrin syvyydeltä, lämpökäsittelyn puun alkuperäinen väri tuli esiin.

Puun värisävyn muuttumista voidaan vähentää käyttämällä pintakäsittelyaineita, joissa on puuta suojaavaa pigmenttiä. Aineen suojaava vaikutus on riippuvainen pigmenttikerroksen paksuudesta. Laihoilla puunsuoja-aineilla UV-säteilyltä suojaava vaikutus on melko vähäinen.

Riittävän pigmenttisuojan saamiseksi lämpökäsittely puu tulisi ensin pintakäsittellä peruskylästeellä. Peruskylästeen kuivumisen jälkeen puu käsitellään ei-peittävällä öljymaalilla. Tällaisella pintakäsittelyllä saadaan lämpökäsittelyn puun alkuperäinen värisävy säilymään selvästi kauemmin. Pintakäsittely tulisi uusina noin viiden vuoden välein. Kun puulle suoritetaan uusintakäsittelyjä, on puun kestävyys kannalta ehdottoman tärkeää, että puun pinnalta poistetaan entinen suoja-aine. Poistaminen on vaivantonta esimerkiksi painepesurilla.

Koska lämpökäsittely puu imee vettä syiden suunnassa enemmän kuin käsittelemätön puu, tulee se huomioida pintakäsittelyissä ja rakenteissa yleensäkin. Lisäksi on hyvä tietää, että lämpökäsittely puu ”imee” ympäröivästä ilmastosta vähemmän vesihöyryä kuin käsittelemätön puu eli sen kosteustasapaino on alhaisempi, mutta vesiuotuksessa ja jatkuvassa vesikosketuksessa veden imeytyminen on jopa suurempaa kuin käsittelemättömällä puulla.

4 Lämpökäsittelyn puun käyttö erilaisissa kohteissa

Lämpökäsittelyä puuta on käytetty 1990-luvun aikana useissa erilaisissa kohteissa. Aikaisempia kokemuksia lämpökäsittelyn puun soveltuvuudesta näihin käyttökohteisiin ei ole ollut. Alkuvaiheessa oikea käsittelyaste löydettiin kokeilemalla. Näiden kokeilujen pohjalta pystyttiin valitsemaan oikea puulaji ja käsittelyaste haluttuun käyttökohteeseen. Tutkimustoiminnan lisääntyessä alettiin valinnoille saada myös tieteellisiä perusteita.

Ulkokäyttöön tarkoitettulta lämpökäsittelyltä puulta vaaditaan säänkestävyyttä ja lahonkestoa. Jotta nämä toivotut ominaisuudet saavutetaan, joudutaan käyttämään korkeampia, yli 200 °C käsittelylämpötiloja. Sisätiloissa tärkein tavoiteltu ominaisuus on saada puusta esiin sen jalojuomainen värisävy. Muemman värisävyn saaminen esimerkiksi koivulle tapahtuu alle 200 °C:een lämpötiloissa.

Värisävyn lisäksi parhaimpia lämpökäsittelyn puun ominaisuuksia on kosteuselämisen väheneminen. Lievemmillä käsittelyillä puun lujuusominaisuudet eivät merkittävästi muutu, joten sitä suositellaankin käytettäväksi käsittelemättömän puun tavoin. Tärkeää olisikin ennen lämpökäsittelyä selvittää, millaisia ominaisuuksia puulta vaaditaan käyttökohteessaan. Liian

voimakkaalla käsittelyllä haurastutetaan puun solukkorakennetta, jolloin samalla olennaisesti heikennetään puun työstettävyyttä ja käyttöä.

5 Lämpökäsittelyn puun luokitus

5.1 Luokituksen tarve ja nykytilanne

Lämpökäsittelyn puun ominaisuuksiin vaikuttaa käsittelyssä käytetty huippulämpötila ja sen kesto aika. Erilaisia lämpökäsittelyvaihtoehtoja on periaatteessa lukematon määrä. Ympäristötekniikan instituutissa suoritettujen lämpökäsittelyn puun ominaisuuskokeiden perusteella havaittiin tarpeelliseksi kehittää lämpökäsittelylle puulle luokitusjärjestelmä. Luokituksen tähtävä työ aloitettiin kesällä 1997. Tavoitteena oli saada aikaan järjestelmä, jonka avulla lämpökäsittelyn puun käyttäjä voi helposti valita tarvitsemansa käsittelyasteen.

Vuoden 1997 lopulla Lahontorjuntayhdistys ry. käynnisti kansallisen tutkimushankkeen ”*Lämpökäsittelyn puun ominaisuudet ja luokitus*”, jonka tarkoituksena on kehittää lämpökäsittelylle puutavaralle tuoteluokitus- ja laadunvalvontaohjeisto. Hankkeen aikana tarkastellaan eri tuotantoprosesseilla lämpökäsittelyn puutavaran lujuusominaisuuksia ja kosteuskäyttäytymistä. Lämpökäsittelyn vaikutus puun pitkäaikaiskestävyyteen tutkitaan laboratoriotutkimuksiin ja ne pyritään varmentamaan kenttäkokeilla. Tutkimukset suoritetaan VTT rakennustekniikassa ja Tampereen teknillisessä korkeakoulussa. Mikkelin Ympäristötekniikan instituutti on myös käynnistyneessä hankkeessa mukana. Hankkeen I-vaihe päättyi kesällä 1999.

Tutkimushankkeen tarkoituksena on luokitella lämpökäsittely puu käyttöolosuhteiden mukaisiin luokkiin. Pohjana käytetään Euroopanormia EN 335-1, joka määrittää puutavaralle käyttöolosuhteluokat. Normi on viisiportainen, taulukko 1.

5.2 Lämpökäsittelyluokat

Luokka 1

Luokkaan 1 lämpökäsittely puut ovat saaneet kaikkein voimakkaimman lämpökäsittelyn ($t \geq 230$ °C), joten myös niiden ominaisuudet ovat muuttuneet eniten. Käsittelyn ensisijainen tarkoitus on ollut parantaa lahonkestoa, mikä onkin parantunut selvästi verrattuna käsittelemättömään puuhun. Eurooppa-normin EN113 mukaisissa pikalahotuskokeissa on kuusella ja männällä saavutettu alle 3 % painohäviö, joka vastaa standardin 350-1 (luonnollisten puulajien lahonkestävyys) mukaisesti luokkaa 1 eli ”hyvin

Taulukko 1. EN335-1 mukaiset käyttöolosuhdeluokat.

Käyttöolosuhdeluokka	Puun kosteus	Kosteuden kesto	Olosuhde
1	pysyvästi < 20 %	Pysyvästi kuiva	Maan yläpuolella, katetussa tilassa
2	satunnaisesti > 20%	Alttius tilapäiseen kastumiseen	Maan yläpuolella, kastumisvaara
3	toistuvasti > 20%	Toistuva kastuminen	Maan yläpuolella, kattamattomissa rakenteissa
4	jatkuvasti > 20 %	Jatkuva kosteus	Maa- tai vesikosketuksissa
5	jatkuvasti > 20 %	Jatkuva suolainen kosteus	Merivesirakenteissa

lahoa kestävä”. Käytetyn käsittelyasteen voimakkuuden johdosta luokan lujuusominaisuudet, erityisesti halkaisulujuus, ovat heikentyneet. Heikentynyt lujuus vaikeuttaa puumateriaalin työstöä, joten luokan 1 lämpökäsiteltä puuta ei suositella käytettävän tuotteissa, joissa materiaalilta vaaditaan hyviä työstöominaisuuksia.

Luokan 1 puumateriaalia tulisi käyttää kohteissa, joissa materiaalilta vaaditaan lahonkestoja ja pientä kosteuselämistä. Laboratoriokokeiden perusteella lahonkeston on todettu olevan moninkertainen käsittelemättömään puuhun verrattuna. Pitkäaikaisista kentäkokeista ei kuitenkaan ole vielä tuloksia. Kuitenkin luokan 1 lämpökäsiteltä puuta ei suositella käytettäväksi maa- ja vesikosketuksissa oleviin käyttökohteisiin. Käsitteilyluokan 1 käyttökohteita ovat pihakalusteet, ikkunan pokat ja -karmit sekä aitarakenteet.

Luokan 1 käsittelylämpötila on tyyppillisesti 230 °C.

Luokka 2

Käsitteilyn tarkoituksena on tuottaa puuta, jonka lahonkesto on kohtalaisen hyvä, mutta puumateriaali on silti hyvin työstettävissä. Lahonkesto on EN 350-1 mukaisessa luokituksessa mäännyn ja kuusen osalta luokkaa 3–4 eli välillä ”kohtalaisesti lahoa kestävä” – ”jonkin verran lahoa kestävä”. Jatkossa luokkaa on tarkoitus kehittää siten, että saavutetaan lahonkesto, joka vastaa EN355-1 luokituksessa luokkaa 2 eli ”lahoa kestävä” (tilapäisesti kastumiselle altistettu rakenne). Tehtyjen pikalahotustestien perusteella tämä näyttäisi olevan saavutettavissa.

Käsitteilyluokan 2 puutavaraa suositellaan olosuhteisiin, joissa puu joutuu lahonkesto-vaataviin rakenteisiin kuten pihakalusteet, piha-

ja puistorakentaminen, ikkunat ja ovet, laiturit sekä puusepäntuotteet. Taivutus-, veto- ja halkaisulujuudet ovat heikentyneet ja puristuslujuus on kasvanut. Luokassa 2 puuaineksen kosteuseläminen on pienentynyt verrattuna käsittelemättömään puuhun. Tämä antaa luokan puumateriaalille uusia käyttökohteita.

Luokassa 2 käsittelylämpötila on 210–229 °C.

Luokka 3

Luokassa 3 on ollut tavoitteena saada hyvin työstettävissä oleva puumateriaali, jonka lujuus- ja kosteuselämisominaisuudet ovat, lämpökäsittely huomioiden, mahdollisimman hyviä. Käyttökohteiksi suositellaan olosuhteita, joissa puulta vaaditaan erityisen hyvää mittapysyvyyttä, jolloin vedenimeytymisen ja kutistumisen väheneminen on tärkeää. Käsitteilyluokan 3 puutavaran suositeltavia käyttökohteita ovat esimerkiksi huonekalut, lattiat, kantavat rakenteet (mitoitus huomioiden), saunanlauteet ja muut puusepäntuotteet. Lahonkesto on vähintään kaksinkertainen käsittelemättömään puuhun verrattuna.

Luokassa 3 käsittelylämpötila on 190–209 °C.

Luokka 4

Luokan 4 puumateriaali ei muutu kovinkaan paljon lämpökäsittelyssä. Näkyvin muutos on väri, joka on selvästi tummempi kuin lämpökäsittelemättömässä puussa. Värimuutokset ovatkin tämän luokan käsittelyissä pääasiallinen tavoite. Luokan 4 puutavaraa suositellaan käytettäväksi käsittelemättömän puun tavoin. Käyttökohteita ovat saunanlauteet, puusepäntyöt ja vastaavat kohteet.

Luokassa 4 käsittelylämpötilat ovat alle 190 °C.

Taulukko 2. Ominaisuuden muutoksen arviointi käsittelyluokittain.

Ominaisuus	Luokka 4	Luokka 3	Luokka 2	Luokka 1
Lahonkesto			+	++
Kosteuselämisen pieneneminen		+	++	+++
Lujuusarvot		- / +	-	--
Värin tummuus	+	++	+++	++++

5.3 Luokkien soveltuvuus ja ominaispiirteet eri puulajeille lämpökäsittelyssä

Taulukoon on koottu käsitellyt puulajit ja niiden soveltuvuus erilaisiin käyttökohteisiin.

Taulukko 3. Käsitellyt puulajit ja niiden soveltuvuus erilaisiin käyttökohteisiin.

Puulaji	Luokka 4	Luokka 3	Luokka 2	Luokka 1
MÄNTY	Listat Keittiökaapistot Seinäpaneelit Lattialaudat Huonekalut	Listat Keittiökaapistot Pystypuulattiat Seinäpaneelit Huonekalut	Keittiökaapistot Katetut terassilattiat Saunan seinäpaneelit	Ikkunat Ulkoseinäverhoukset Kattamatomat terassilattiat Meluaidat Piha-aidat
KUUSI	Ulkoseinäverhoukset	Ulkoseinäverhoukset Seinäelementit	Meluaidat Piha-aidat	Meluaidat Piha-aidat
KOIVU	Listat Keittiökaapistot Seinäpaneelit Huonekalut Sisälattiat	Leikkuulaudat Huonekalut Sisäseinä-paneelit Keittiökaapistot Veistotyöt Sisälattiat	Pihakalusteet Huonekalut Sisäseinä-paneelit Keittiökaapistot Veistotyöt Tiskipöydän kannet	
HAAPA	Saunan lauteet Saunan paneelit Veistotyöt Sorvaustyöt Huonekalut	Saunan lauteet Saunan paneelit Veistotyöt Sorvaustyöt Huonekalut		