



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

LÄMPÖPUUN KÄYTTÖ IKKUNATEOLLISUUDESSA

Yritys X

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Materiaalitekniikka
Puutekniikka
Opinnäytetyö
28.4.2015
Tuomas Manninen

Lahden ammattikorkeakoulu
Materiaalitekniikka

MANNINEN, TUOMAS:

Lämpöpuun käyttö ikkunateollisuudessa
Yritys X

Puutekniikan opinnäytetyö, 29 sivua, 10 liitesivua

Kevät 2015

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä tarkasteltiin aikaisempia puun lämpökäsittelyyn keskittyneitä tutkimuksia sekä tutkittiin kokeellisesti lämpökäsitellyn Thermo-D -männyn (*Pinus sylvestris*) soveltuvuutta ikkunateollisuuden materiaaliksi.

Lämpökäsittelyllä puulle saadaan useita ominaisuuksia, joita myös ikkunateollisuus voisi hyödyntää. Lämpökäsitelty puu johtaa lämpöä jopa 30 % heikommin kuin käsittelemätön puu, mikä tekee siitä mielenkiintoisen energiatehokkaiden ikkunoiden materiaaliksi. Myös lahonkesto-ominaisuudet ovat erittäin hyvät verrattuna käsittelemättömään puuhun. Toisaalta lämpökäsittely heikentää puun lujuusominaisuuksia.

Asiasanat: lämpökäsitelty puu, ikkunateollisuus, säänkestävyys, kokeellinen tutkimus

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	4
2	PUUN LÄMPÖKÄSITTELY	5
2.1	Johdatus lämpökäsittelyyn	5
2.2	ThermoWood -prosessi	5
2.3	ThermoWood -tuoteluokitus	6
2.4	Lämpökäsittelyn vaikutus puun ominaisuuksiin	7
3	LÄMPÖKÄSITELTY PUU IKKUNAMATERIAALINA	9
3.1	Lämmönjohtavuus	9
3.2	Säänkestävyys ja pintakäsittely	9
3.3	Liimattavuus	10
3.4	Työstäminen	11
4	KOKEELLINEN TUTKIMUSMENETELMÄ	13
5	YHTEENVETO	15
	LÄHTEET	16

1 JOHDANTO

Puun lämpökäsittelyä on kokeiltu jo 1910-luvulla Yhdysvalloissa. Suomessa laajimmin puun lämpökäsittelyä on tutkinut Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1990-luvulla. ThermoWood-prosessi on VTT:n ja suomalaisen puutuoteteollisuuden yhdessä kehittämä teollisuusmittainen lämpökäsittelyprosessi. Suomi on tällä hetkellä lämpökäsitellyn puun kärkituottajamaita. Lämpöpuuta valmistetaan noin 110 000 m³ vuodessa, josta suuri osa menee vientiin (Työ- ja elinkeinoministeriö 2012).

Lämpökäsitellyn puun käyttämistä ikkunoissa ei ole juuri kokeiltu tähän mennessä. Kuitenkin lämpökäsitellyllä puulle saadaan useita ominaisuuksia, joita myös ikkunateollisuus voisi hyödyntää. Esimerkiksi parantuneet lahonkesto-ominaisuudet ja alhaisempi lämmönjohtavuus voisivat auttaa ikkunavalmistajia tekemään entistä energiatehokkaampia ja pitkäkestoisempia tuotteita.

2 PUUN LÄMPÖKÄSITTELY

2.1 Johdatus lämpökäsittelyyn

Puun erilaisilla modifiointimenetelmillä on pyritty parantamaan ominaisuuksia, kuten kosteuselämistä ja lahonkestävyyttä. (Kocaefe 2008, 88) Yksi tällainen menetelmä on puun lämpökäsittely, jota Yhdysvalloissa kokeiltiin jo 1910-luvulla. (Kärkkäinen 2007, 207) Lämpökäsittelyn perusideana on muokata puun kemiallista rakennetta 180–260 °C:n lämpötilassa. (Kocaefe 2008, 89)

Muutokset puun kemiallisessa rakenteessa lämpökäsittelyn aikana vähentävät puun hydroskooppisuutta ja kosteuselämistä ja parantavat lahonkestävyyttä (Kocaefe 2008, 89). Toisaalta käsittely heikentää puun lujuusominaisuuksia. Muutoksien suuruus riippuu siitä, kuinka korkeassa lämpötilassa lämpökäsittely on tehty ja kuinka pitkä käsittelyaika on ollut. Mitä korkeampi käsittelylämpötila ja mitä pidempi käsittelyaika, sitä suurempia ovat muutokset puun ominaisuuksissa. (Metsä-Kortelainen 2011, 21).

Käsittelyvirheitä, kuten pinta- ja sisähalkeamia, kollapsoitumista eli luhistumista, kiertymistä ja taipumista voi esiintyä, jos lämpökäsittelyä ei ole toteutettu oikein (Kocaefe 2008, 89). Lämpökäsittelyyn vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi puun kosteuspitoisuus, pinta ja sydänpuun osuus, käsittelylämpötilan suuruus, sahatavaran dimensiot ja puulaji (Metsä-Kortelainen 2011, 21).

2.2 ThermoWood -prosessi

ThermoWood- prosessi on VTT:n kehittämä lämpökäsittelymenetelmä. Prosessissa puu kuumennetaan 185–215 °C lämpötilaan riippuen käsittelyluokasta. Puun halkeilu ja muut muodonmuutokset estetään vesihöyryn avulla. (Lämpöpuuyhdistys ry 2004.)

ThermoWood- prosessi on jaettu kolmeen vaiheeseen (KUVIO 2):

1. Kuivaus

Lämpötila nostetaan nopeasti 100 °C lämpötilaan, josta rauhallisemmin 130 °C:seen, jolloin kuumakuivaus tapahtuu. Vesihöyry toimii puutavaran suojakaasuna estäen puun ei toivotut muodonmuutokset. Kuivausvaihe on lämpökäsittelyvaiheista pitkäkestoisin ja sen kesto riippuu puun alkukosteudesta (Lämpöpuuyhdistys ry 2004)

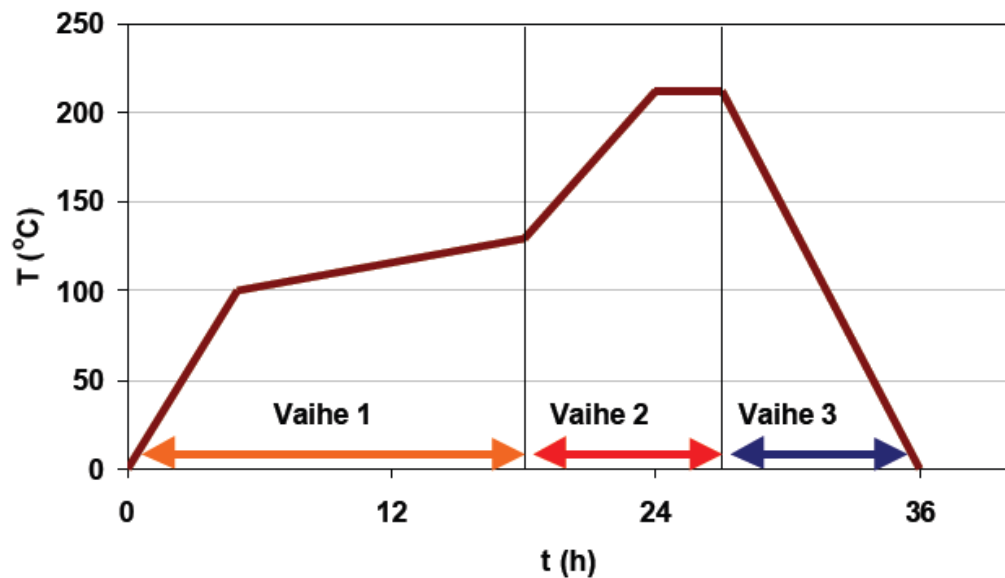
2. Lämpökäsittely

Kuumakuivauksen jälkeen lämpötila nostetaan 185–215 °C, jossa varsinainen lämpökäsittely tapahtuu. Vesihöyryllä estetään puun syttyminen. Lämpötila riippuu halutun lämpöpuun käyttöluokasta. Tavoitelämpötila pidetään vakiona 2-3 tuntia. (Lämpöpuuyhdistys ry 2004.)

3. Tasaannutus

Lämpökäsittelyn jälkeen kamarin lämpötila lasketaan 80–90 °C:een, jolloin tehdään uudelleenkostutus, jonka tarkoituksena on nostaa puun kosteus 4-7 % tasolle. (Lämpöpuuyhdistys ry 2004)

ThermoWood® -prosessi



KUVIO 1. Thermowood – lämpökäsittelyprosessin päävaiheet (Lämpöpuuyhdistys ry 2004)

2.3 ThermoWood -tuoteluokitus

ThermoWood- tuoteluokituksessa on kaksi luokkaa: Thermo-S ja Thermo-D (TAULUKKO 1). Tämä johtuu siitä, että useamman luokan käytöllä eri luokkien

ominaisuudet sekoittuisivat eri luokkien välillä. Thermo-S käsitellään 190 °C lämpötilassa ja Thermo-D 212 °C lämpötilassa. Thermo-D:llä on korkeammasta käsittelylämpötilasta johtuen paremmat säänkesto-ominaisuudet, pienempi kosteuseläminen, ja se on väriltään tummempaa kuin Thermo-S, joka on vastaavasti lujuusominaisuuksiltaan kestävämpää kuin Thermo-D. (Lämpöpuuyhdistys ry 2004) Näiden ominaisuuksien vaihtelun takia Thermo –S ja –D käsiteltyä puuta voidaan hyödyntää eri käyttökohteissa (KUVIO 3).

TAULUKKO 1. ThermoWood- lämpökäsittelyn vaikutus puun ominaisuuksiin tuoteluokittain (Lämpöpuuyhdistys ry 2004)

Havupuut (mänty ja kuusi)

	Thermo-S	Thermo- D
Käsittelylämpötila	190 °C	212 °C
Säänkestävyys	+	++
Dimensiostabiliisuus	+	++
Taivutuslujuus	ei muutosta	-
Väriin tummuus	+	++

Thermo-S	Thermo-D
- rakennekomponentit	- ulkoverhous
- sisustukset, kuivat tilat	- ulko-ovet
- kiintokalusteet, kuivat tilat	- ikkunaluukut
- huonekalut	- ympäristörakenteet
- puutarhakalusteet	- sauna- ja kylpyhuonesisustukset
- saunan lauteet	- lattiat
- ikkuna- ja ovirakenteet	- puutarhakalusteet

KUVIO 3. ThermoWood- tuoteluokitukset ja niiden käyttökohteet (Lämpöpuuyhdistys ry 2004)

2.4 Lämpökäsittelyn vaikutus puun ominaisuuksiin

Puun lämpökäsittely aiheuttaa muutoksia puun kemiallisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin. Kemiaaliset muutokset tapahtuvat puun selluloosassa, hemiselluloosassa ja ligniinissä. (Viitaniemi & Jämsä 1996, 9) Nämä kemialliset

muutokset aiheuttavat puulle (Viitaniemi & Jämsä 1996, 53–54) mukaan seuraavanlaisia muutoksia:

- *värimuutos ruskeasta tummanruskeaan*
- *kosteuselämisen pieneneminen 50 – 90%*
- *biologisen kestävyuden paraneminen*
- *puun tasapainokosteuden aleneminen noin puoleen normaalista*
- *lämmönjohtavuuden pieneneminen 0 – 30%*
- *pihkan poistuminen puusta*
- *puun keveneminen*
- *taivutuslujuuden pieneneminen 0 – 30%*
- *syttymisherkkyden lisääntyminen*
- *kuivien oksien irtoaminen*

3 LÄMPÖKÄSITELTY PUU IKKUNAMATERIAALINA

3.1 Lämmönjohtavuus

Nykyaikaisissa energiatehokkaissa ikkunoissa ikkunan kehä, eli karmi- ja puiterakenne johtaa lämpöä paremmin kuin ikkunan aukko-osan (Rakennusteollisuus 2004, 91; Motiva 2015). Tästä syystä kehärakenteen suunnitteluun täytyy kiinnittää huomiota pyrittäessä kehittämään entistä energiatehokkaampia ikkunoita. Lämpökäsitelty puu johtaa riippuen käsittelylämpötilasta jopa 30 % vähemmän lämpöä verrattuna käsittelemättömään puuhun (Viitaniemi & Saila 1996, 53–54). Tämä johtuu siitä, että käsitellyn puun tasapainokosteus on alhaisempi, eli puussa on vähemmän vettä, ja näin ollen se eristää paremmin lämpöä (Torniainen 2015). Lämpökäsitellyn puun hyödyntäminen voisi olla yksi ratkaisu ikkunan puisen kehärakenteen lämmönjohtavuuden alentamiselle.

3.2 Säänkestävyys ja pintakäsittely

Ikkunarakenteisiin kohdistuu monenlaisia rasituksia. Näitä ovat muun muassa veden aiheuttamat rasitukset, kuten sadevesi, ulkoilman kosteusvaihtelut, lumi ja jää. Muita rasituksia ovat UV- säteily, lämpövaihtelut ja ilman sisältämät epäpuhtaudet. (Ahonen, Järvinen, Laeslehto 1987, 104) Näiden rasitusten takia puuikkunan sääälle alttiit puuosat eli ulkopuitteet ja peitelistat vaativat kestäväen pintakäsittelyn ja säännöllistä huoltoa. Puualumiini- ikkunalla saadaan ikkunan huoltoa vähennettyä huomattavasti (Heimonen, Hemmilä 1999, 37–38). Lämpökäsitellyn puun käyttö on yksi ratkaisu puisten ulkopuitteiden ja peitelistöjen kestävyuden parantamiseksi. Lämpökäsitelty puu täytyy kuitenkin pintakäsitellä oikein.

Pintakäsittelemättömän lämpökäsitellyn puun suora altistuminen auringon ultraviolettisäteilylle johtaa puun värin harmaantumiseen. UV- säteily aiheuttaa myös pintahalkeamia. Puun suojaaminen UV- säteilyn vaikutuksilta edellyttää pigmenttiä sisältävän pintakäsittelyaineen käyttöä. (Lämpöpuuyhdistys ry 2004.)

Viitaniemen (1996) tekemä tutkimus lämpökäsitellyn puun pintakäsittelystä antoi vaihtelevia tuloksia. Tutkimuksessa tarkasteltiin pintakäsittelyaineiden adheesiota lämpökäsitelyyn ja käsittelemättömään puuhun. Osa pintakäsittelyaineista tarttui lämpökäsitelyyn puuhun yhtä hyvin kuin käsittelemättömään, ja osalla aineista saatiin 20 % heikommät adheesioarvot lämpökäsitellylle puulle. Tutkimuksessa ei tosin tarkennettu mitkä pintakäsittelyaineet toimivat parhaiten lämpökäsitellyn puun kanssa.

VTT tutki viiden vuoden kenttätutkimuksella pintakäsitellyn lämpökäsitellyn puun säänkestoa ja vertasi tuloksia käsittelemättömään puuhun. Tutkimuksessa selvisi, että ohuet petsit ja öljyt, jotka eivät sisältäneet pigmenttiä, eivät suojanneet lämpökäsitelyä tai käsittelemättömää puuta. Nämä pintakäsittelyaineet kuuluivat pois, ja koekappaleet altistuivat säälle samalla tavalla kuin pintakäsittelemättömät kappaleet. Toisaalta vulkanisoidut ja vesiohenteiset akryylimaalit toimivat paremmin lämpökäsitellyllä puulla kuin käsittelemättömällä. Lämpökäsitelyssä koekappaleissa ei havaittu ollenkaan hilseilyä. Yksi syy tähän voi olla lämpökäsitellyn puun alentunut kosteuseläminen. (Lämpöpuuyhdistys ry 2004)

3.3 Liimattavuus

Lämpöpuun liimattavuus riippuu lämpökäsittelyn käsittelyluokasta. Korkeammat käsittelylämpötilat laskevat liimasauman leikkauslujuutta, mikä johtuu puun lujuusominaisuuksien alenemisesta. (Lämpöpuuyhdistys ry 2004) Lämpökäsitely puu imee vettä heikommin kuin käsittelemätön, minkä takia PVAc liimoja käytettäessä voidaan joutua käyttämään pidempiä puristusajoja. On havaittu, että puristusajan pituus riippuu lämpökäsittelyn voimakkuudesta. Mitä voimakkaampi käsittely, sitä pidempi kuivumisaika. (Torniainen 2015) Polyuretaanipohjaisten liimojen toimivuuteen lämpökäsittely ei vaikuta (Viitaniemi & Saila 1996, 50). Toisaalta polyuretaaniliima tarvitsee vettä kovettuakseen ja veden liima saa joko ilmasta tai puusta. Näin ollen liimaus voi epäonnistua, koska lämpökäsitellyn puun tasapainokosteus on huomattavasti alhaisempi kuin käsittelemättömän. (Lämpöpuuyhdistys ry 2004)

PVAc-liimojen puristusaikaa voidaan lyhentää ja liimasauman ominaisuuksia parantaa lämmittämällä liimasaamaa. Tämä toimii myös lämpökäsiteltyä puuta liimattaessa. Suurtaajuusliimauksella on saatu hyviä tuloksia lämpökäsiteltyä puuta liimattaessa. Myös uretaanipohjaisten liimojen liimausprosessia voidaan nopeuttaa kostuttamalla liimauspintoja. (Torniainen 2015.)

Puun sormijatkamisella varmistetaan, että ikkunaan käytettävä raaka-aine on laadukasta ja oksatonta. Näin ollen sormijatkaminen tulisi onnistua myös lämpökäsitellyllä puulla, jotta sitä voidaan harkita käytettäväksi ikkunoissa. Seinäjoen ammattikorkeakoululla on tutkittu sormiliitosten toimivuutta käytettäessä lämpökäsiteltyä puuta. Testit tehtiin neljällä eri liimalla: PVAc, MUF ja kahdella PU liimalla. Myös liiman avointa aikaa ja puristuspainetta vaihdeltiin. Sormiliitokset onnistuivat kaikilla käytetyillä liimoilla. (Lämpöpuuyhdistys ry 2004.)

3.4 Työstäminen

Lämpökäsittelyn vaikutus puun lujuuden heikkenemiseen on lämpökäsittelyn huono puoli. Tämä estää käsitellyn puun käytön kantavissa rakenteissa, ja sillä on myös vaikutusta puun työstöominaisuuksiin. Toisaalta tärkein tekijä hyvän työstöjäljen saavuttamiseksi lämpökäsitellyllä ja myös käsittelemättömällä puulla on hyvälaatuinen sahatavara (Torniainen 2015).

Yleisesti ottaen lämpökäsitelty puu on herkempi mekaanisille vaurioille työstettäessä kuin käsittelemätön puu. Erityisesti tulee kiinnittää huomiota liitoksien teossa, sillä lämpökäsitelty puu on haurasta ja se voi syövyttää metallisia kiinnikkeitä, kuten ruuveja. (Metsä-Kortelainen 2011, 21)

Ruostumattomien teräskiinnikkeiden on havaittu toimivan parhaiten lämpökäsitellyn puun kanssa. (Jermer, Andersson 2005) Esiporauksella tai itseporautuvilla ruuveilla voidaan estää materiaalin halkeilu. (Lämpöpuuyhdistys ry 2004)

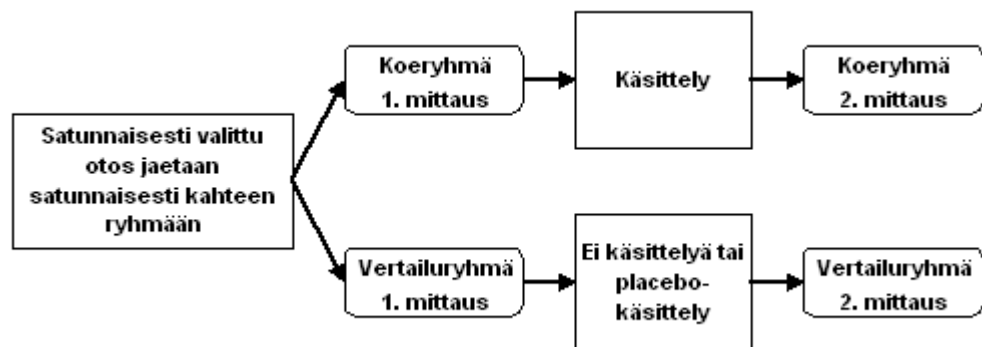
Hyvän työstöjäljen saavuttamiseksi lämpökäsitellylle puulle terien tulee olla teräviä, erityisesti jyrstittäessä. On raportoitu, että pihkan puuttumisen takia lämpökäsitelty puu liikkuu paremmin työstökoneissa ja terät kestävät pidempään.

(Lämpöpuuyhdistys ry 2004) Lämpökäsiteltyä puuta työstettäessä ei synny normaaleja lastuja vaan hienojakoista purua ja pölyä. Varsinkin pöly on kuivana erityisen pölyävää, mikä on hyvä huomioida purunpoistossa. Höylättäessä lämpökäsiteltyä puuta suurena haittaavana tekijänä on pidetty puun voimakasta hajua. Hajun voimakkuus riippuu puun käsittelyasteesta. Haju kuitenkin väheni huomattavasti työstön jälkeen jo muutamassa päivässä. (Torniainen 2015)

4 KOKEELLINEN TUTKIMUSMENETELMÄ

Kokeellisella tutkimuksella tutkitaan jonkun ilmiön syy-seuraus- suhdetta testaamalla koeryhmää koetilanteessa jollakin tavalla ja vertaamalla tuloksia kontrolliryhmään, jota ei ole altistettu koetilanteelle (Virtuaaliammattikorkeakoulu 2015a). Kokeellisen tutkimuksen tavoitteena on havainnoida suoraan jonkun ilmiön vaikutusta toiseen ilmiöön ja luoda kausaalisia yhteyksiä tapahtumien välille (Jyväskylän yliopisto 2015). Kokeellisen tutkimuksen tutkimusasetelmien eri tyyppejä ovat esikokeellinen, näennäiskokeellinen ja varsinainen eli klassinen tutkimusasetelma. (KAMK 2015.)

Esikokeellinen tutkimusasetelma voidaan suorittaa kolmella eri tavalla: yhden tapauksen tutkiminen joko yhdellä tai kahdella mittauskerralla ja kahden ryhmän vertaileva tutkimus. Yhden tapauksen tutkimuksessa ei käytetä kontrolliryhmää, joten tuloksia on tulkittava varoen. Kahden ryhmän vertailevassa tutkimuksessa altistetaan esimerkiksi toinen koeryhmä jollekin muuttujalle ja toinen koeryhmä toimii kontrollina. Koetilanteen jälkeen suoritetaan mittaukset molemmille ryhmille ja verrataan ryhmien tuloksia keskenään. (KAMK 2015)



KUVIO 4. Klassinen koeasetelma (Virtuaaliammattikorkeakoulu 2015b)

Klassisessa kokeellisessa koetilanteessa tutkimuskohteet jaetaan koe- ja kontrolliryhmiin (KUVIO 4). Tutkimuskohteet mitataan ennen koetilannetta, jotta riippuvan muuttujan lähtötaso saadaan selville. Koetta tehdessä kaikki kokeen tuloksiin vaikuttavat muuttujat pidetään vakioina ja yhtä koemuuttujaa eli riippumatonta muuttujaa muutetaan koeryhmässä. Kokeen jälkeen riippuvan

muuttujan taso mitataan uudestaan, jolloin saadaan selville sekä koe- että kontrolliryhmien muutoksen suuruus. Lopuksi verrataan, onko koe- ja kontrolliryhmien riippuvan muuttujan arvot muuttuneet erilaisilla. Jos muutos on huomattava, voidaan tehdä johtopäätös, että riippumattomalla muuttujalla oli syyseuraus-suhde riippuvaan muuttajaan. (KAMK 2015.)

5 YHTEENVETO

Lämpökäsittelyllä puusta saadaan muun muuassa huomattavasti parempaa lämpöä johtava, sen lahonkesto-ominaisuudet paranevat ja kosteuseläminen pienenee. Toisaalta käsittely heikentää puun lujuusominaisuuksia. Ominaisuuksien muutos riippuu pääasiassa lämpökäsittelyn voimakkuudesta eli käsittelylämpötilasta.

Näiden muutosten takia lämpökäsitelty puu on kuin uusi puulaji, mikä pitää ottaa myös huomioon puun jatkojalostamisessa. Liimatessa lämpökäsiteltyä puuta PVAc -liimat voivat vaatia pidemmän puristusajan. Pintakäsiteltäessä tulee varmistaa, että käytetyt pintakäsittelyaineet sopivat myös lämpöpuulle. Lujuusominaisuuksien heikentymisen takia lämpökäsiteltyä puuta tulee käsitellä varoen ja työstää terävillä terillä.

Lämpökäsittelyn puun ominaisuudet, kuten heikompi lämmönjohtavuus ja paremmat lahonkesto-ominaisuudet, olisivat hyödyllisiä ikkunan valmistuksessa. Ikkunan aukko-osan lämmöneristävyys on tällä hetkellä energiatehokkaissa ikkunoissa parempi kuin ikkunan kehärakenteen. Tällaisessa tilanteessa täytyy kiinnittää huomiota myös kehärakenteen lämmöneristävyyskriteerille kun tavoitteena on aina vain paremmin eristävien ikkunoiden valmistus. Toisaalta ikkunan kehyksen lämmöneristävyys on vain pieni osa koko ikkunan lämmöneristävyydestä, joten ikkunan karmien ja puitteiden korvaaminen lämpökäsittelyllä puulla parantaisi ikkunan lämmöneristävyyttä varsin maltillisesti. Tätä tulisi kuitenkin tutkia. Suosittelemkin jatkotutkimuskohteeksi lämpökäsittelyn puun käytön vaikutusta ikkunan lämmönjohtavuuteen.

LÄHTEET

Painetut lähteet:

Ahonen, Järvinen, Laeslehto 1987. Maalaustyöt 2. 2. painos. Helsinki: Rakentajain kustannus Oy

Heimonen I., Hemmilä K. 1999. Tulevaisuuden ikkunoiden kehityspäruusteet ja valinta. Espoo: Libella Painopalvelu Oy

Kocaeffe, Duygu 2008. Mechanical properties, dimensional stability, and mold resistance of heat-treated jack pine and aspen. Forest Products Journal 6/2008, 88–93.

Kärkkäinen, Matti. 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Hämeenlinna: Karisto Oy

Metsä-Kortelainen S. 2011. Differences between sapwood and heartwood of thermally modified Norway spruce (*Picea abies*) and Scots pine (*Pinus sylvestris*) under water and decay exposure. Kuopio: Kopijyvä Oy

Rakennusteollisuus 2004. Ikkunakäsikirja. Loviisa: Painoyhtymä/ Itä- Uudenmaan kirjapaino

Tähtinen J., Laakkonen E., Broberg M. 2011. Tilastollisen aineiston käsittelyn ja tulkinnan perusteita. Turku: Painosalama Oy

Viitaniemi P., Jämsä S. 1996. Puun modifiointi lämpökäsittelyllä. Espoo: VTT Offsetpaino

Elektroniset lähteet:

Jermer, J., Andersson, B.-L. 2005. Corrosion of fasteners in heat-treated wood – progress report after two years’ exposure outdoors. Thermotreatedwood. [viitattu 28.3.2015]. Saatavissa:

<http://www.thermotreatedwood.com/Researches/Fasterns%20corrosion.pdf>

Jyväskylän yliopisto 2015. Kokeellinen tutkimus. [viitattu 31.3.2015]. Saatavissa: <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/kokeellinen-tutkimus>

KAMK 2015. Opinnäytetyöpakki: Selittävä ja kokeellinen tutkimus. Kajaanin ammattikorkeakoulu [viitattu 12.3.2015]. Saatavissa: <http://www.kamk.fi/opari/Opinnaytetyopakki/Teoreettinen-materiaali/Tukimateriaali/Tutkimustyytit/Selittava>

Lammin Ikkuna Oy 2015. Materiaalipankki. [viitattu 31.3.2015]. Saatavissa: http://www.lammin.fi/fin/ota_yhteytta/media/materiaalipankki/

Lämpöpuuyhdistys ry 2004. Thermowood käsikirja [viitattu 12.2.2015]. Saatavissa: <http://www.thermowood.kotisivukone.com/esitteetkirjat>

Motiva 2015. Ikkunat. [viitattu 2.4.2015]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/rakentaminen/rakentajan_ohjeet/hyva_talo/ikkunat

Torniainen P. 2015. Puun lämpökäsittely. Rakennustieto. [viitattu 8.4.2015]. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK010404.pdf>

Työ- ja elinkeinoministeriö 2012. Metsäalan strateginen ohjelma 2011-2015. [viitattu 7.4.2015]. Saatavissa: https://www.tem.fi/files/34625/TEMjul_43_2012_web.pdf

Virtuaaliammattikorkeakoulu 2015a. Varsinainen kokeellinen tutkimus. [viitattu 31.3.2015]. Saatavissa: <http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/0709019/1193463890749/1193464131489/1194289356644/1194290145403.html>

Virtuaaliammattikorkeakoulu 2015b. Tutkimusasetelma. [viitattu 31.3.2015]. Saatavissa: <http://www2.amk.fi/mater/tutkimusmenetelmat/kvantitat/kuvailu/asete.htm>

Wikipedia 2015. Lab color space [viitattu 28.3.2015]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Lab_color_space