

ThermoWood® KÄSIKIRJA



SISÄLLYS- LUETTELO

ALKUSANAT	3
MÄÄRITELMIÄ	4
1 . LÄMPÖPUUN KEHITYS	5
2. ThermoWood®-TUOTTEIDEN VALMISTUS	6
2.1 Valmistusprosessi	6
2.2 Raaka-aine	9
2.3 Muutokset puun rakenteessa	11
2.3.1 Hiilihydraatit	11
2.3.2 Ligniini	12
2.3.3 Uuteaineet	12
2.3.4 Lämpöpuun toksisuus	12
2.3.5 Lämpöpuun pH-arvo	12
2.4 Tuotannon laadunvalvonta	13
3. YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	14
3.1 Raaka-aine	14
3.2 Valmistusprosessi	14
3.3 Käyttö ja kierrättäminen	14
3.4 Elinkaari	14
4. ThermoWood®-TUOTTEET	15
4.1 Lämpömodifioinnin vaikutus sahatavaran mittoihin	15
4.2 Profiloituneet tuotteet	16
4.3 CE-merkintä	17
4.4 Tuoteluokitus	18
4.5 Fysikaaliset ominaisuudet	20
4.5.1 Tiheys	20
4.5.2 Taivutuslujuus ja kimmomoduuli	21
4.5.3 Ruuvin ulosvetolujuus	22
4.5.4 Syitä vastaan kohtisuora puristuslujuus	23
4.5.5 Syiden suuntainen puristuslujuus	23
4.5.6 Iskutaivutuslujuus (dynaaminen taivutus)	23
4.5.7 Leikkauslujuus	23
4.5.8 Halkaisulujuus	23
4.5.9 Kovuus	24
4.5.10 Palo-ominaisuudet	25
4.6 Kosteus- ja lämpötekniinen käyttäytyminen	25
4.6.1 Tasapainokosteus	25
4.6.2 Kosteuseläminen	26
4.6.3 Permeabiliteetti	27
4.6.4 Lämmönjohtavuus	27
4.7 Pitkäaikaiskestävyys	28
4.7.1 Säänkestävyys	28
4.7.2 Biologinen kestävyys	28
4.7.3 Kestävyys hyönteisiä vastaan	28
4.8 Sisäilmavaikutukset	29
5. ThermoWood®-LÄMPÖPUUN TYÖSTÄMINEN	30
5.1 Sahaaminen	30
5.2 Höyläminen	30
5.3 Jyrsiminen	31
5.4 Hiominen	31
5.5 Liimaaminen	31
6. ThermoWood®-TUOTTEIDEN PINTAKÄSITTELY	32
6.1 ThermoWood® pintakäsittelyalustana	32
6.2 Yleisimmät pintakäsittelyaineet	32
6.3 Pintakäsittelytyö	32
6.4 Palosuojakäsittely	32
7. ThermoWood®-TUOTTEIDEN HANKINTA, VARASTOINTI	33
8 . ThermoWood®-TUOTTEIDEN KÄYTTÖKOhteita RAKENTAMISESSA	34
8.1 Sisäkäyttö	34
8.2 Ulkokäyttö	39
9. ThermoWood®-VERHOUSTUOTTEIDEN ASENTAMINEN	43
9.1 Liittimet	43
9.2 Kiinnitys	43
9.3 Jatkokset	43
10. ThermoWood® PUUSEPÄNTEOLLISUUDESSA	48
11. REFERENSSEJÄ	50
12. LISÄTIETOJA	57



Julkaisija ja kustantaja:

Lämpöpuuyhdistys ry,
www.thermowood.fi
+358 400 802 896
info@thermowood.fi

Käsikirjoitus ja piirroukset:

Tero Lahtela,
Insinööritoimisto Lahtela Oy

Taitto:

HannaR ky (2021),
PunaMusta Oy (2023)

ALKUSANAT

Lämpömodifioitujen puutuotteiden käyttö on kasvanut voimakkaasti ympäri maailmaa viimeisen 20 vuoden aikana. Tuotteita ja niiden valmistustekniikkaa on kehitetty pitkäjänteisesti vuosikymmenten saatossa valmistajien ja Lämpöpuuyhdistys ry:n toimesta.

Lämpömodifioidut puutuotteet ovat kemikaalittomia luonnollisia puutuotteita, joiden valmistuksessa käytetään sertifioitua raaka-ainetta. Tuotteilla on pitkä elinkaari ja ne ovat kierrätettävissä.

Lämpöpuuyhdistys ry on Suomessa vuonna 2000 perustettu yhdistys, jonka tehtävänä on edistää ThermoWood® -tuotteiden käyttöä. Nykyisin yhdistyksessä on jäseniä useassa maassa.

Tähän käsikirjaan on koottu keskeinen tieto ThermoWood®-tuotemerkin alla olevista lämpömodifioiduista puutuotteista. Tarkoituksena on antaa puolueetonta tietoa ThermoWood®-tuotteista ja niiden käytöstä. Kohderyhminä ovat arkkitehti- ja rakennesuunnittelijat, jälleenmyyjät, komponentti- ja elementtivalmistajat, urakoitsijat, puusepät sekä oppilaitokset.

Tässä käsikirjassa esitetyt tuotteet ja rakenteet ovat esimerkkejä. Rakenteiden suunnittelusta vastaavat aina kohdekohtaiset suunnittelijat. ThermoWood®-tuotteiden valmistajilla on laaja valikoima erilaisia tuotteita sekä näiden asennusohjeita useisiin käyttökohteisiin. Tästä johtuen on suositeltavaa, että tuotevalinnassa ja tähän liittyvässä detaljitason tiedossa otetaan yhteyttä tuotteen valmistajan tekniseen neuvontaan. Tällä tavalla voidaan varmistua, että toteutettavasta rakenteesta tulee laadukas ja pitkäikäinen.

Tämän käsikirjan laatimista ovat ohjanneet toiminnanjohtaja Jukka Ala-Viikari (Lämpöpuuyhdistys ry) sekä Lämpöpuuyhdistys ry:n jäsenyritysten edustajat. Työn rahoitukseen on osallistunut Rakennustuotteiden Laatu Säätiö SR.

Käsikirjan ensimmäinen versio julkaistiin huhtikuussa 2021. Tämä on päivitetty versio.

Parhaat kiitokset kaikille hankkeeseen osallistuneille ja sitä edistäneille.

Helsingissä maaliskuu 2023



Timo Tetri

puheenjohtaja, Lämpöpuuyhdistys ry

MÄÄRITELMIÄ

ThermoWood®

Rekisteröity tavaramerkki, jonka käyttöoikeus on ainoastaan Lämpöpuuyhdistys ry:n varsinaisilla jäsenillä.

ThermoWood®-tuote

Suomessa kehitetyllä lämpömodifointimenetelmällä valmistettu puutuote. Tuotanto on harmonisoitu ja tuottajilla on auditoitu laadunvalvontajärjestelmä.

Lämpömodifointi

Menetelmä, jossa puun kemialla modifoidaan lämmön ja vesihöyryn avulla. Lämpötilan alaraja on + 160 °C. Lämpömodifioinnilla tehdyt muutokset puun rakenteessa ovat pysyviä.

ThermoWood®-prosessi

Valtion teknillisen tutkimuslaitoksen (VTT) kehittämä ja patentoitu ThermoWood®-tuotteiden valmistusprosessi. Lämpöpuuyhdistys omistaa kyseiset patentit. ThermoWood®-prosessi on markkinajohtaja maailmassa.

Laatulogo

(ITWA = International ThermoWood Association)

Lämpöpuuyhdistys ry:n virallinen ThermoWood®-laatulogo, jonka käyttöoikeus on vain yhdistyksen varsinaisilla jäsenillä, joilla on auditoitu laadunvalvontajärjestelmä.

PEFC

(Programme for the Endorsement of Forest Certification)

PEFC on kansainvälinen metsäsertifiointijärjestelmä, joka edistää ekologisesti, sosiaalisesti ja taloudellisesti kestävä metsätaloutta kaikkialla maailmassa.

FSC (Forest Stewardship Council)

FSC on kansainvälinen kansalaisjärjestö, jonka päämäärä on edistää kestävä kehitystä maailman metsävarojen käytössä. Se myöntää tuotteille ja palveluille FSC-sertifikaatteja.

OLB (Origine et Légalité des Bois)

OLB on sertifiointijärjestelmä, jonka avulla voidaan jäljittää puutuotteiden alkuperä sekä todistaa, että metsänhoidossa ja puunkorjuussa on noudatettu lakisääteisiä vaatimuksia.

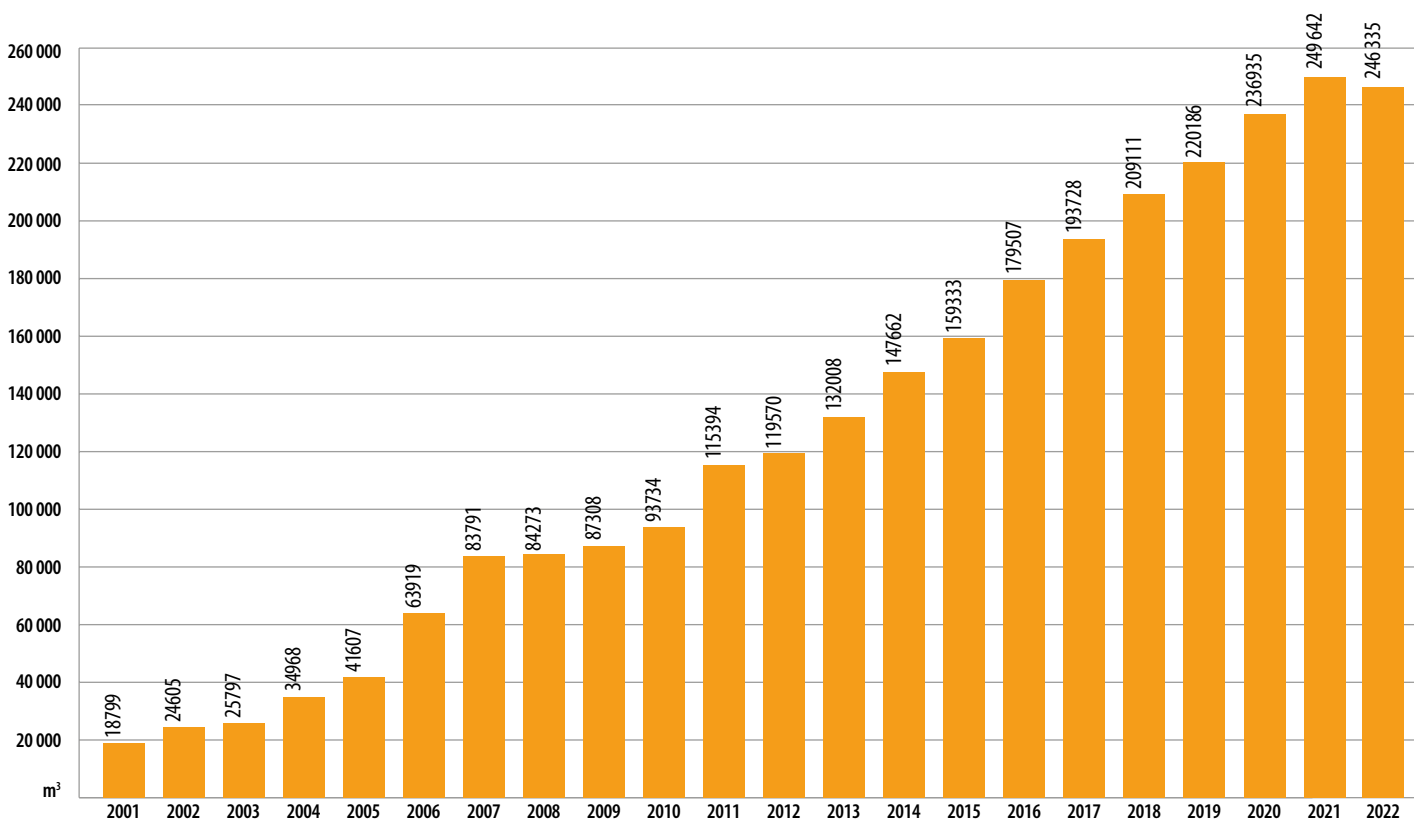
1 LÄMPÖPUUN KEHITYS

Puupinnan hiililyttäminen on ollut jo muinaisilla egyptiläisillä menetelmänä puun kosteudenkestävyyden parantamiseen. Hiilikerroksen avulla puun pintaan saatiin suojakerros, joka paransi puun biologista kestävyttä. Suomessa puupinnan hiililyttämistä on käytetty aikoinaan esimerkiksi heinäseipäiden ja aitatoppien maanalaisen osan kosteudenkestävyyden parantamiseen. Voidaankin tavallaan sanoa, että puupinnan hiililyttäminen avotulella oli esiaste puun modifioinnille lämmön avulla.

Puun lämpömodifointia uunien avulla alettiin tutkimaan tieteellisesti 1900-luvun alkupuolella. Tuolloin tutkittiin, mitä muita puun ominaisuuksia lämpömodifointi paransi kuin kosteudenkestävyyttä ja missä lämpömodifioitua puuta voitaisiin käyttää. Yksi tutkittava sovelluskohde lämpömodifioidulle puulle oli ilmailuteollisuus. Erityisesti tutkimusta ovat tehneet saksalaiset ja yhdysvaltalaiset aina 1980-luvulle saakka. Ensimmäinen kaupallinen lämpömodifointilaitos perustettiin Saksassa 1980-luvun alussa, mutta se ei kuitenkaan saavuttanut tuotannossa teollista mittakaavaa.

1990-luvulla puun lämpömodifointia tutkittiin erityisesti Suomessa, Ranskassa ja Alankomaissa. Merkittävin läpimurto puun lämpömodifioinnissa tehtiin kuitenkin Suomessa. Vuonna 1993 VTT (Valtion teknillinen tutkimuslaitos) kehitti yhdessä puuteollisuusyri-tysten kanssa teollisen mittakaavan ThermoWood®-prosessin puun ominaisuuksien modifointiin lämmön avulla.

Nykyisin ThermoWood® on kansainvälinen brändi ja tuotantomäärät kasvavat voimakkaasti. ThermoWood® -prosessilla lämpömodifioituja puutuotteita valmistetaan globaalisti mm. Suomessa, Ruotsissa, Tanskassa, Belgiassa, Puolassa, Latviassa, Turkissa, Japanissa ja Kanadassa. Lämpöpuun käyttömahdollisuudet ovat laajentuneet voimakkaasti ulko- ja sisustustuotteisiin, terassi- ja piharakentamiseen sekä puusepänteollisuuteen.



Kuva 3. ThermoWood® -tuotannon kehitys vuodesta 2001 vuoteen 2022.

2

ThermoWood®-TUOTTEIDEN VALMISTUS

ThermoWood®-tuotteiden valmistuksessa ei käytetä lainkaan kemikaaleja. Raaka-aineet hankitaan sertifioiduista lähteistä. Valmistusprosessi on pitkän kehitystyön tulos ja se perustuu pelkästään suunnitelmalliseen puun modifiointiin lämmön, höyryn ja veden avulla. Modifioinnin vaiheet ovat kuumakuivaus, lämpömodifiointi sekä tasaannutus ja jäähdytys. Valmistusprosessin aikana puun fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet muuttuvat ja ne jäävät pysyviksi. Ominaisuudet eivät häviä, vaikka tuotteita työstää esimerkiksi sahaamalla tai höyläämällä. Tämä koskee myös tuotteen väriä (läpivärjäytynyt).

ThermoWood® valmistetaan kahteen tuoteluokkaan Thermo-S ja Thermo-D (ks. kohta 4.4). Verrattuna vastaavaan lämpömodifioimattomaan puutuotteeseen, ThermoWood®-tuotteilla on esimerkiksi seuraavia ominaisuuksia:

- Vähäisempi kosteuseläminen
- Parempi muotopysyvyys
- Parempi biologinen kestävyys
- Tummempi väri (läpivärjäytynyt)
- Pihkattomuus
- Alhaisempi lämmönjohtavuus



Kuva 4. ThermoWood®-lämpöpuuta valmistumassa prosessiunista.

2.1 VALMISTUSPROSESSI

Lämpöpuun valmistus tapahtuu teollisen mittakaavan tuotantolaitoksissa. ThermoWood®-prosessi soveltuu sekä havu- että lehtipuille ja se optimoidaan jokaiselle puulajille erikseen. Valmistus alkaa siitä, että sahatavarakappaleista tehdään rimakuormia, jotka siirretään lämpömodifiointiuuniin. Lämpömodifioinnin aikana sahatavaraa suojataan vesihöyryn avulla, joka vaikuttaa myös puussa tapahtuviin kemiallisiin muutoksiin. ThermoWood®-prosessi voidaan jakaa kolmeen päävaiheeseen.

Vaihe 1: Kuumakuivaus

Uuni lämmitetään nopeasti lämpötilaan +100 °C. Tämän jälkeen lämmitys jatkuu vaiheittain asetettuun lämpötilaan saakka, jonka aikana puun kuumakuivaus tapahtuu ja puun kosteuspitoisuus laskee nolnaan.

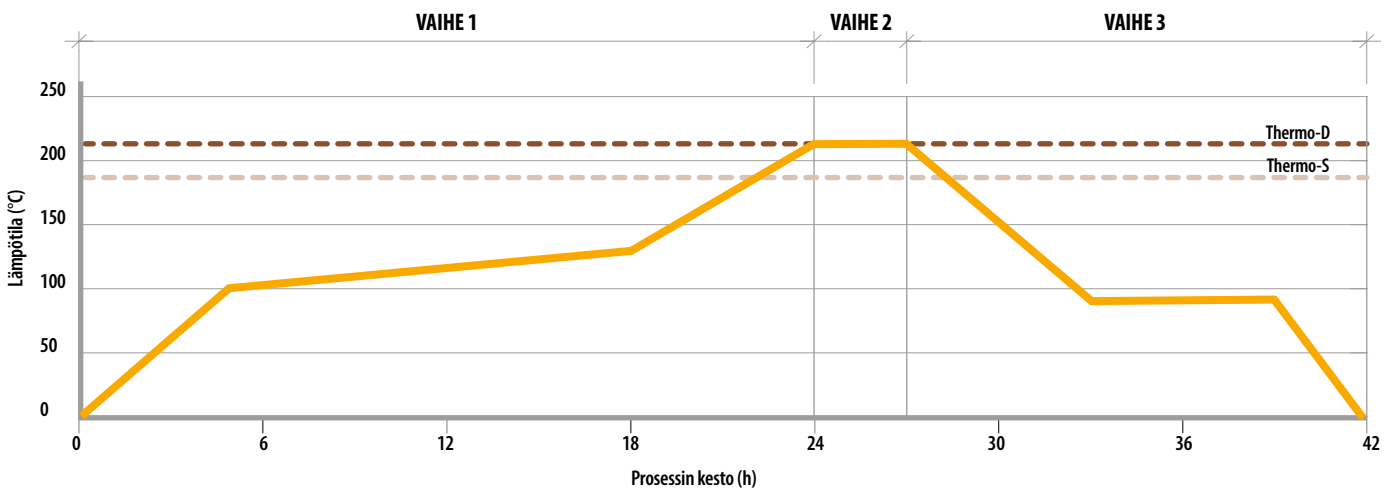
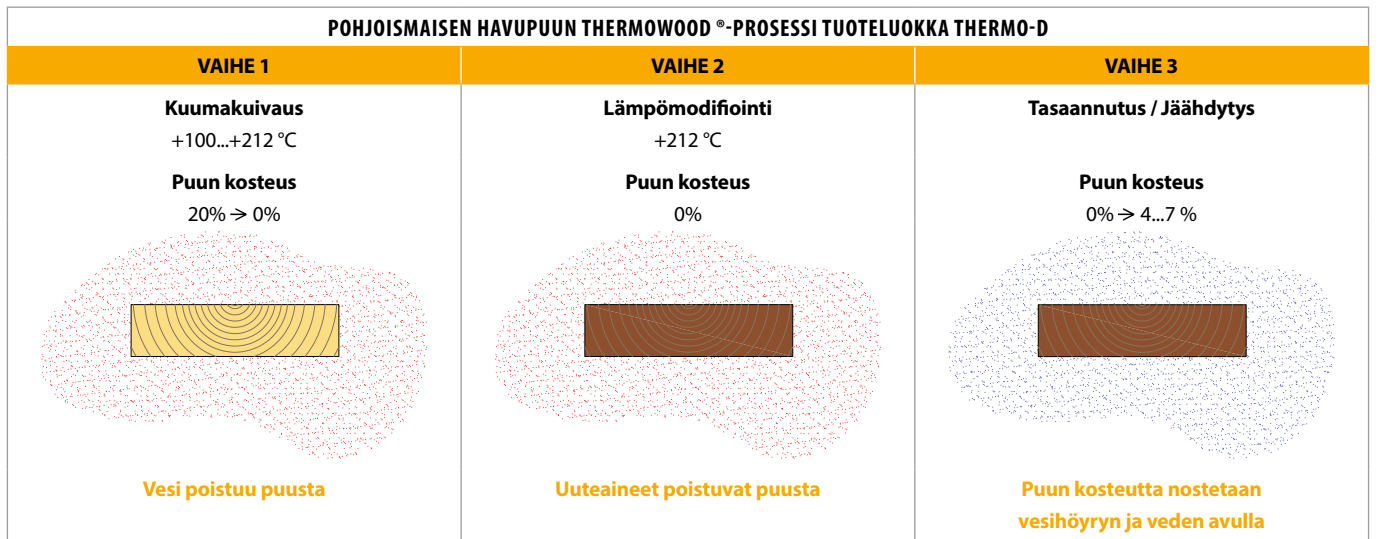
Vaihe 2: Lämpömodifointi

Kuumakuivauksen jälkeen uuni pidetään vakio­lämpötilassa, jolloin tapahtuu varsinainen puun lämpömodifointi.

Vaihe 3: Jäähdytys / Tasaannutus

Viimeisessä vaiheessa uunin lämpötilaa lasketaan vesisumutusjärjestelmän avulla. Uunin lämpötilan ollessa riittävän alhainen, nostetaan puun kosteutta vesihöyryn ja veden avulla (parantaa tuotteen työstettävyyttä ja mittapysyvyyttä). Jäähdytysvaiheen päätyttyä ThermoWood®-tuotteen kosteus on 4...7 %.

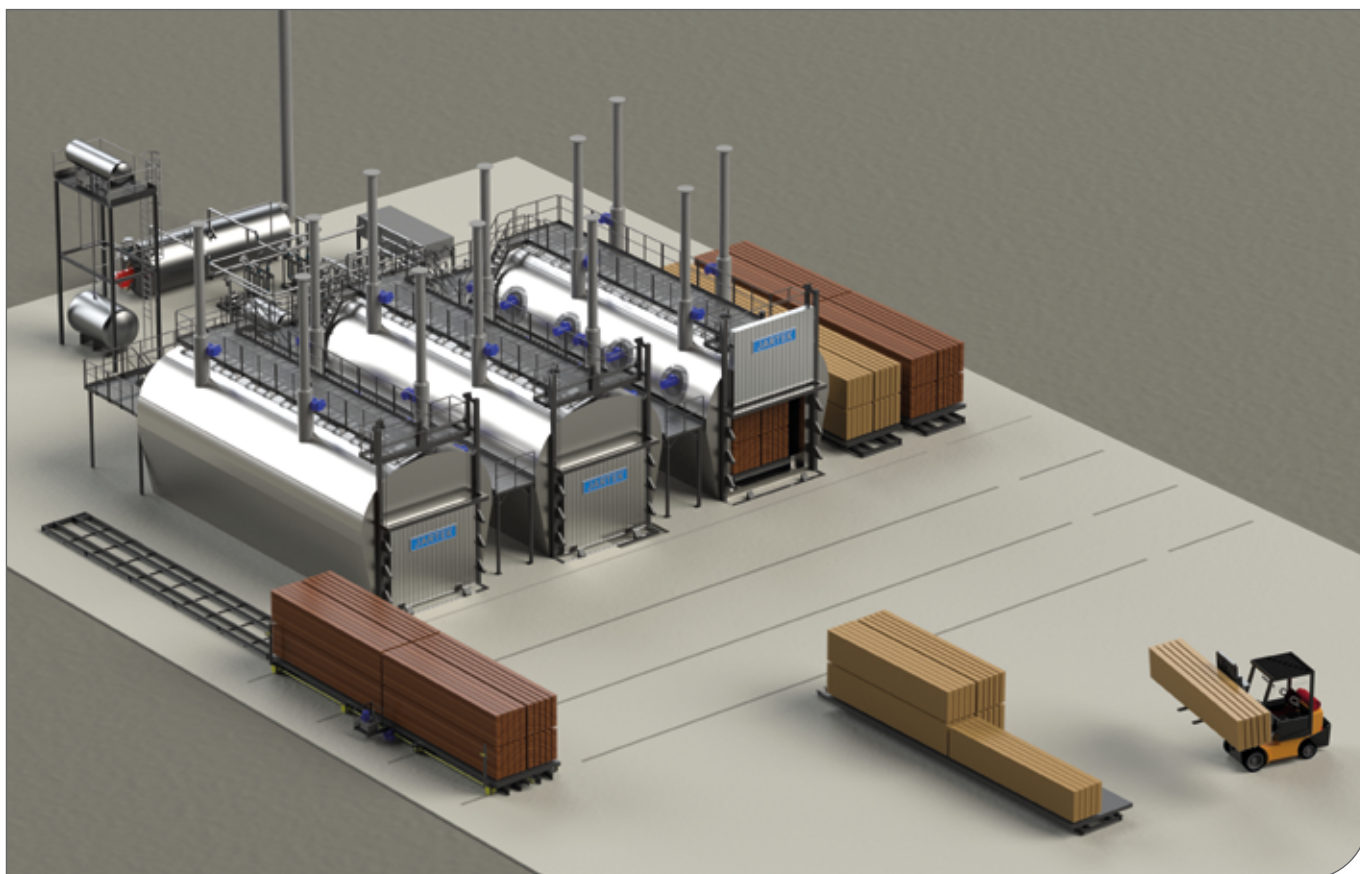
ThermoWood®-prosessin aika riippuu valmistettavasta tuoteluokasta (Thermo-S ja Thermo-D), puulajista sekä sahatavaran alkukosteudesta ja dimensioista. Prosessin aikana tuote saa ruskean värinsä, kun lämpö muuttaa puun kemian. Lämpömodifioinnin aikana havupuista irtoaa pihkaa ja muita orgaanisia yhdisteitä. Myös lehtipuista poistuu uuteaineita. Lämpötilaa nostettaessa tai laskettaessa käytetään erityistä säätöjärjestelmää, jotta voidaan estää puun pinnan ja sisäosan halkeileminen. Eri puulajeille ja eri dimensioille käytetään omia säätöarvoja.



Kuva 5. Esimerkki pohjoismaisen havupuun ThermoWood®-prosessista (tuoteluokka Thermo-D).



Kuva 6. ThermoWood®-lämpömodifointiuni.



Kuva 7. ThermoWood®-lämpömodifointilaitos.

Thermo-S



Thermo-D



Kuva 8. Esimerkki pohjoismaisesta havupuusta valmistetusta lämpöpuutuotteesta (vas. Thermo-S, oik. Thermo-D).

2.2 RAAKA-AINE

Raaka-aineena käytetään valikoitua sahatavaraa. Pohjoismaisessa havupuussa raaka-aine on sydänsahatavaraa. Raaka-aineen laatua tarkkaillaan koko valmistusprosessin ajan. Oikeanlaisen raaka-aineen valinta on erityisen tärkeää, jotta saavutetaan laadukas lopputuote. Periaatteessa lämpömodifiointi soveltuu useille puulajeille, mutta lopputuotteen laatuun vaikuttaa oleellisesti raaka-aineen ominaisuudet.

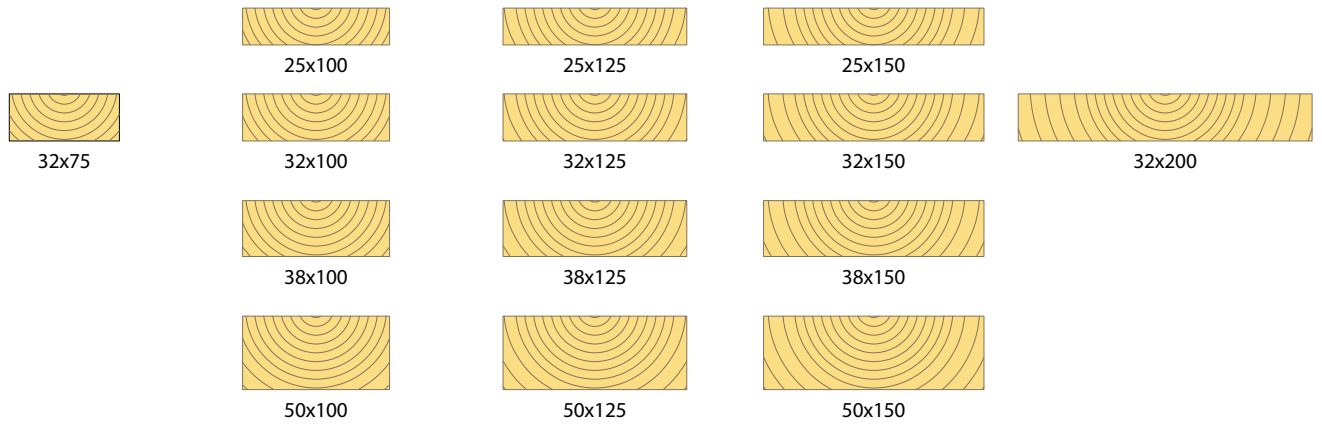
ThermoWood®-tuotteita valmistetaan tällä hetkellä taulukossa 1 esitetyistä puulajeista, koska tieteellisillä tutkimuksilla on osoitettu näiden täyttävän lopputuotteelle asetetut laatuvaatimukset. Lämpöpuun tutkimusta tehdään jatkuvasti ja uuden tutkimustiedon myötä ThermoWood®-tuoteperheeseen tulee uusia puulajeja. Jokaiselle puulajille on oma prosessiohje, jolla lämpömodifiointi suoritetaan.

ThermoWood®-lämpöpuun valmistamiseen käytettävän sahatavaran tyypillisiä nimellismittoja on esitetty kuvassa 9. Havupuusahatavaran pituus vaihtelee yleisesti välillä 2,7...5,7 m ja lehtipuusahatavaran pituus välillä 1,8...4,2. Tilauksesta on saatavilla muita dimensioita ja pituuksia.

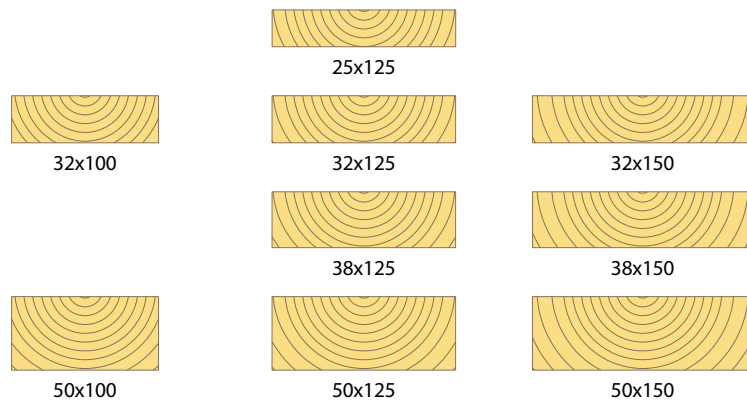
Taulukko 1. ThermoWood®-tuotteiden puulajeja.

Puulajit	Tyyppi	Kovuus	Alkuperä	Tuoteluokka
Mänty (<i>Pinus sylvestris</i>)	Havupuu	Pehmeä	Pohjoismaat, Baltia	Thermo-D, Thermo-S
Kuusi (<i>Picea abies</i>)	Havupuu	Pehmeä	Pohjoismaat, Baltia	Thermo-D, Thermo-S
Radiata mänty (<i>Pinus radiata</i>)	Havupuu	Pehmeä	Uusi-Seelanti, Chile	Thermo-D, Thermo-S
Koivu (<i>Betula</i>)	Lehtipuu	Kova	Pohjoismaat, Baltia	Thermo-D, Thermo-S
Haapa (<i>Populus tremula</i>)	Lehtipuu	Pehmeä	Pohjoismaat, Baltia	Thermo-D, Thermo-S
Saarni (<i>Fraxinus excelsior</i>)	Lehtipuu	Kova	Eurooppa, Pohjois-Amerikka	Thermo-D, Thermo-S
Ayous (<i>Triplochiton scleroxylon</i>)	Lehtipuu	Kova	Afrikka	Thermo-D, Thermo-S
Frake (<i>Terminalia superba</i>)	Lehtipuu	Kova	Afrikka	Thermo-D, Thermo-S
Iroko (<i>Milicia excelsa</i>)	Lehtipuu	Kova	Afrikka	Thermo-S

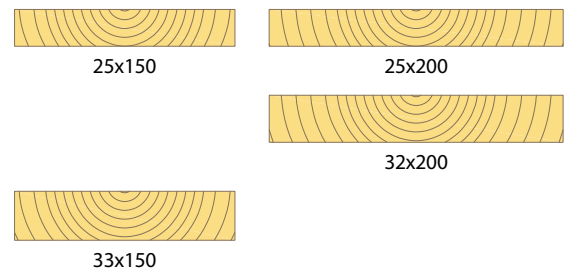
Mänty



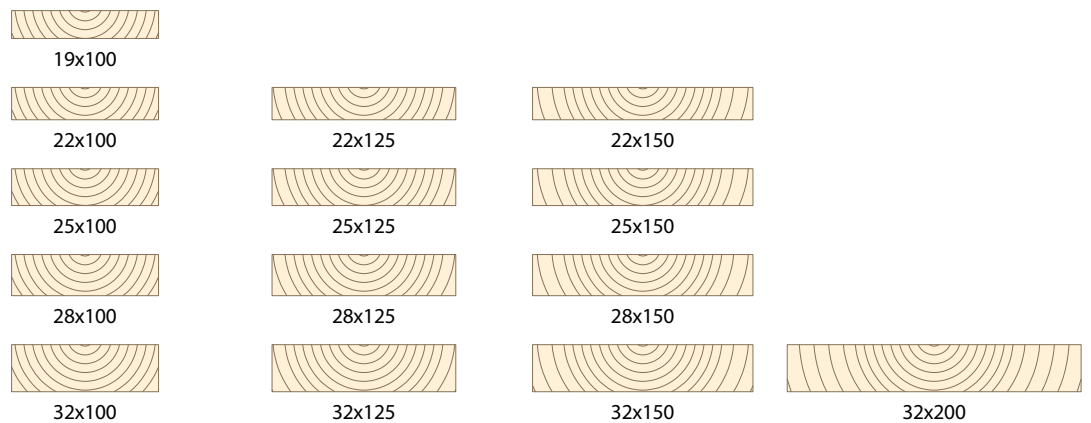
Kuusi



Radiata mänty



Haapa, Koivu, Saarni



Kuva 9. Esimerkkejä ThermoWood®-lämpöpuun raaka-aineena käytettävän sahatavaran nimellismitoista.

2.3 MUUTOKSET PUUN RAKENTEESSA

Puuaineksen pääkomponentit ovat selluloosa (40...50 %), hemiselluloosat (25...35 %) ja ligniini (25...30 % havupuussa, 20...25 % lehtipuussa). Lisäksi puussa on erilaisia uuteaineita (noin 5 %).

2.3.1 Hiilihydraatit

Selluloosa ja hemiselluloosat ovat hiilihydraatteja. Ne toimivat puussa rakennekomponentteina. Selluloosa on glukoosiyksiköistä muodostunutta pitkää ketjua (DP 5000 – 10000) ja hemiselluloosat ovat erilaisista monosakkarideista muodostuneita lyhyempiä ketjuja (DP 150 – 200). Hemiselluloosien koostumus ja pitoisuus vaihtelee eri puulajeilla. Lämpökäsittelyn aikana muutoksia tapahtuu molemmille ryhmille, mutta eniten muutoksia tapahtuu runsaasti happea sisältäville hemiselluloosille.

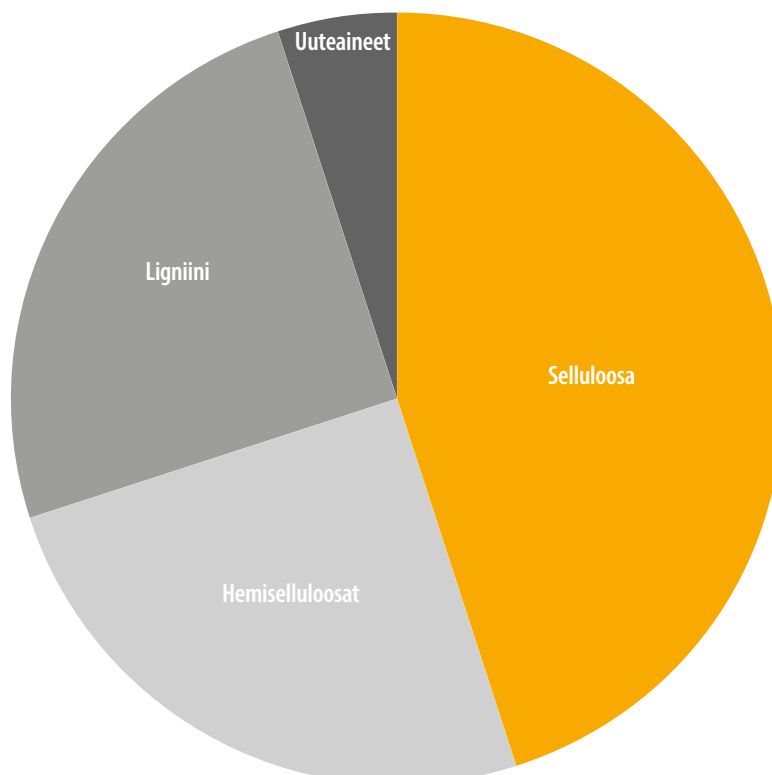
Selluloosan rakenneyksiköt, β -D-glykopyranoosit, ovat kiinni toisissaan (1 \rightarrow 4)-glykosididoksilla. Selluloosaketjut taas ovat kiinni toisissaan hydroksyyli-ryhmien välisten sidosten kautta. Alle +300 °C lämpötiloissa selluloosan hajoamisessa polymeroitumisaste laskee, vettä eliminoiduu sekä muodostuu vapaita radikaaleja, karbonyyli-, karboksyyli- ja hydroperoksidiryhmiä, hiilimonoksidia ja hiilidioksidia sekä reaktiivista puuhiiltä.

Hemiselluloosien rakenneyksiköitä ovat D-glukoosi, D-mannoosi, D-galaktoosi, D-ksyloosi, L-arabinoosi sekä pienempinä määrinä L-ramnoosi, 4-O-metyyli-D-glukuronihappo ja D-galaktouronihappo. Ne ovat kiinni toisissaan (1 \rightarrow 4)- tai (1 \rightarrow 6)-sidoksilla.

Puuta lämmitettäessä asetyloituneista hemiselluloosista muodostuu hydrolyysin seurauksena etikkahappoa. Vapautunut happo katalysoi hemiselluloosien hydrolyysyä liukoisiksi sokereiksi. Lisäksi muodostunut etikkahappo depolymeroi amorfisella alueella olevia selluloosamikrofibrillejä. Happo hydrolysoi glukoosiyksiköitä yhdistäviä sidoksia pilkkoen selluloosaa lyhyemmiksi ketjuiksi.

Lämpömodifioinnin jälkeen puussa on selvästi alhaisempi määrä hemiselluloosia. Tällöin lahottajien hyödynnettävissä olevaa ravintoa on huomattavasti vähemmän ja osittain tästä syystä lämpömodifioitu puu kestää lahottajasieniä huomattavasti paremmin kuin vastaava lämpömodifioimaton puu. Hemiselluloosien hajoamisen yhteydessä vettä sitomaan kykenevien hydroksyyli-ryhmien pitoisuus laskee ja puusta tulee myös dimensiostabiilimpaa verrattuna vastaavaan lämpömodifioimattomaan puuhun.

Hemiselluloosien hajoamislämpötila on noin +200...+260 °C ja selluloosalla vastaava luku on noin +240...+350 °C. Lehtipuissa hemiselluloosien määrä on suurempi kuin havupuissa, jolloin hajoaminen myös tapahtuu helpommin kuin havupuilla. Hemiselluloosaketjun katkeaminen ei kuitenkaan alenna puun lujuutta, kuten selluloosaketjujen katkeaminen tekisi. Sen sijaan hemiselluloosaketjun katkeaminen parantaa puun puristettavuutta sekä pienentää jännitysten syntymistä ja puuaineksen palautumista.



Kuva 10. Puuaineksen pääkomponenttien suuntaa-antavat osuudet.

2.3.2 Ligniini

Ligniini on puusoluja koossa pitävä aine. Puusolujen välilamellien tumma aines on pääosin ligniiniä. Sitä löytyy myös solun primääri- sekä sekundääriseinistä. Ligniinin tarkka kemiallinen rakenne on vielä selvittämättä, mutta sen rakenneyksiköt on tunnettu jo vuosikymmenten ajan. Ligniini on muodostunut pääosin näistä fenyylipropaaniyksiköistä ja ne ovat kiinni toisissaan tyypillisesti eetteri- ja hiili-hiili-sidoksilla (DP 10 – 50). Havupuissa esiintyy pääosin fenyylipropaanin guajasyyliyksiköitä ja lehtipuissa fenyylipropaaneista lähes yhtä paljon sekä guajasyyli- että syringyyliyksiköitä. Molemissa esiintyy myös pienempiä määriä p-hydroksifenyylipropaania.

Lämpömodifoinnin aikana fenyylipropaaniyksiköiden väliset sidokset hajoavat osittain. Aryylieetterisidokset syringyyliyksiköiden välillä hajoavat helpommin kuin guajasyyliyksiköiden väliset sidokset. Allyylisten sivuketjujen termokemialliset reaktiot ovat yleisempiä kuin aryyli-alkylieetterisidosten. Kondensaatioreaktioita tapahtuu sitä enemmän mitä pidempi on autohydrolyysi-aika. Kondensaatioreaktion tuotteita ovat β -ketoniryhmät sekä konjugoituneet karboksyylihaporyhmät.

Puun ainesosista ligniini kestää lämpöä parhaiten. Ligniinin massa alkaa laskea vasta yli +200 °C lämpötiloissa, kun β -arylieetterisidokset alkavat hajota. Korkeissa lämpötiloissa ligniinin metoksyylipitoisuus laskee ja osa ligniinin ei-kondensoituneista yksiköistä muuttuu difenyylimetaanityyppisiksi yksiköiksi. Lämpötilavälillä +120...220 °C tyypillisin reaktio onkin difenyylimetaanityypin kondensatio. Tällä reaktiolla on suuri vaikutus ligniinin ominaisuuksiin lämpömodifoinnissa, kuten sen väriin, reaktiivisuuteen ja liukenemiseen.

2.3.3 Uuteaineet

Puuaines sisältää vähäisessä määrin pienimolekyylisiä ainesosia (uuteaineita), joita ovat mm. terpeenit, rasvat, vahat ja fenolit. Uuteaineet ovat eri puulajeilla luonteeltaan heterogeenisiä ja erilaisten yhdisteiden määrää on hyvin suuri. Uuteaineet eivät ole puun rakennekomponentteja ja suurin osa yhdisteistä haihtuu helposti lämpömodifoinnin aikana.

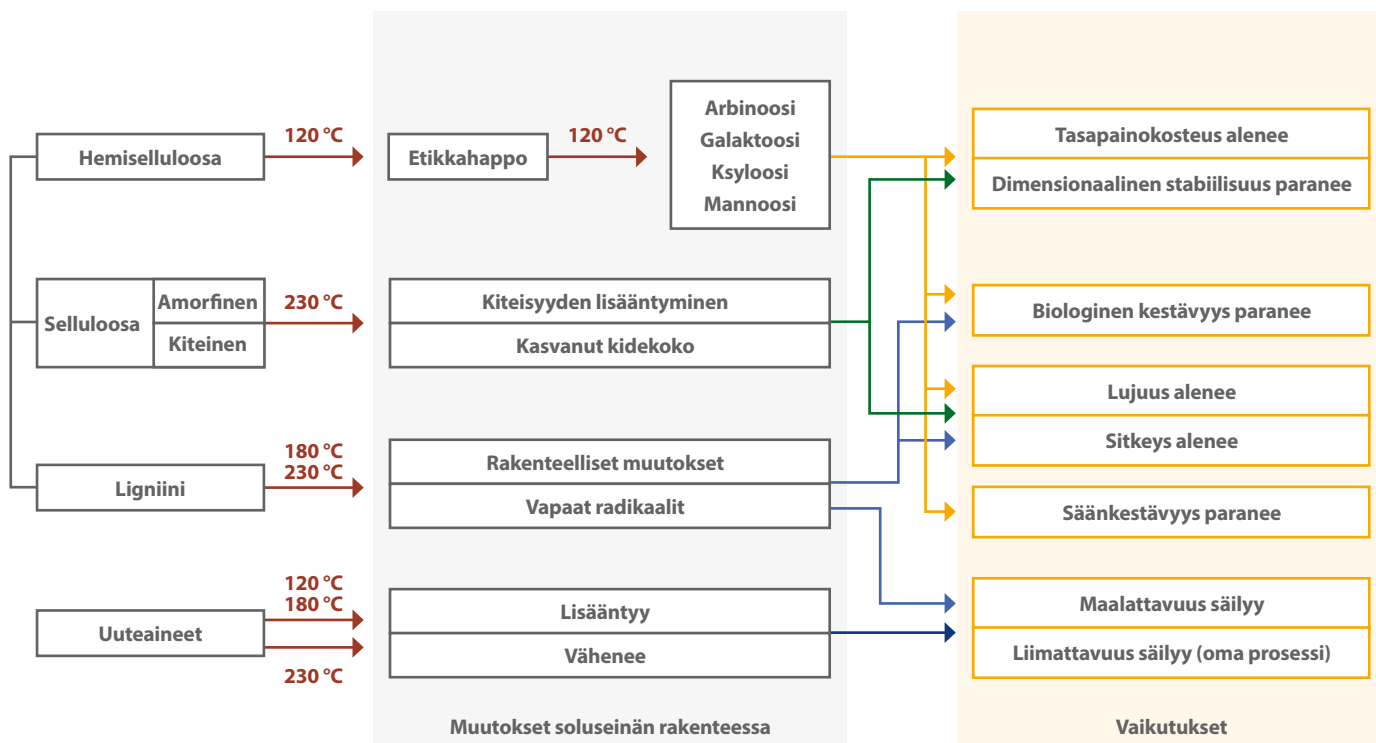
2.3.4 Lämpöpuun toksisuus

Lämpömodifoidun kuusen uutteen ekotoksisuus on testattu CTBA:lla (EU-projekti: Up-grading of non durable wood species by appropriate pyrolysis thermal treatment, 1998) (CTBA = Centre Technique du Bois et de L'Ameublement, nykyisin FCBA Institut technologie - Foret Cellulose Bois-construction Ameublement). Testit suoritettiin EN 84-testin jälkeen saaduilla uutteilta. Tällä testillä arvioidaan biosidien kiinnittymistä puun soluihin. Pieniä näytteitä uutettiin vedellä ja vesi testattiin standardin NF-EN ISO 506341 mukaisesti Daphnia magnalla (makean veden pieni simpukka) ja tehtiin mikrotoksisuustestit meren valobakteereille. Kokeet osoittivat, että uutteen eivät sisällä Daphnia magnalle myrkyllisiä aineita ja ovat vaarattomia bakteereille.

Lämpöpuuta on testattu myös luuta korvaavana aineena (VTT ja Turun yliopistollisen keskussairaalan kirurgian klinikka). Alustavat testit ovat antaneet hyviä tuloksia; lämpökäsitellyllä koivulla on samanlaisia ominaisuuksia kuin luulla. ThermoWood® -lämpöpuu on steriiliä, eikä siitä ole löydetty myrkyllisiä aineita.

2.3.5 Lämpöpuun pH-arvo

Lämpömodifoinnin aikana puun pH-arvo alenee, joten lämpöpuu on selvästi happamampi kuin vastaava lämpömodifioimaton puutuote. ThermoWood®-tuotteen pH-arvo on noin 4, kun vastaavan lämpömodifioimattoman puutuotteen pH-arvo on välillä 4,5...5. Vertailtaessa pH-arvoja tulee huomioida, että pH-arvon aleneminen 0,3 yksiköllä vastaa hapon määrän kaksinkertaistumista (pH-asteikko on logaritminen). Happamuudella on merkitystä pintakäsittelyissä, koska kaikki pintakäsittelyaineet eivät muodosta riittävää tartuntaa. Happamuus vaikuttaa myös metallikiinnikkeiden syöpymiseen. Tämän takia lämpömodifoidun puutuotteen yhteydessä metallikiinnikkeiden tulee olla ruostumattomasta tai haponkestävästä teräksestä valmistettuja.



Kuva 11. Modifoidun puun reaktiomekanismit (lähde: VTT).

2.4 TUOTANNON LAADUNVALVONTA

ThermoWood®-prosessin ja lopputuotteiden laatua valvotaan ulkopuolisen akkreditoitujen tarkastuslaitoksen toimesta. Tarkastuslaitos myöntää laadunvalvonnasta ThermoWood®-tuotantolaitokselle sertifikaatin.

Tuotantolaitos huolehtii sisäisestä laadunvalvonnasta ja seuraavista tekijöistä:

- Sisäisestä laadunvarmistusjärjestelmästä on kuvaus, jossa esitetään laitoksen toimintakaavio, valmistusprosessi, laitteet, poikkeustapausten käsittely sekä tuotteelle tehtävät tarkastustoimenpiteet
- Tuotannolla on vastuu- ja varahenkilöt
- Laadunvalvonnalla on vastaava henkilö ja varahenkilö
- Tuotantotilat ja -laitteet ovat vaatimusten mukaisia
- Laitteiden huoltoon ja kunnossapitoon liittyvät toimenpiteet ovat vaatimusten mukaisia
- Testaustilan laitteet ja testauslaitteiden kalibrointiin liittyvät tekijät ovat vaatimusten mukaisia
- Tuotannon ja laadunvalvonnan dokumentointi tuotetaan ja arkistoidaan vaatimusten mukaisesti

Tuotantolaitoksen auditointi tehdään vähintään kerran vuodessa, jossa tarkastetaan valmistuksen laadunvarmistuksen vaatimustenmukaisuus. Lopputuotteet testataan kerran vuodessa hyväksytyssä ulkopuolisessa testauslaboratoriossa. Testattavat kappaleet valitsee auditoijan edustaja. Valmiin tuotteen laadunvalvonnassa tarkastetaan seuraavat ominaisuudet:

- Kosteus
- Pinta- ja sisähalkeamat
- Väri
- Prosessiparametrit

Poikkeamista raportoidaan laadunvalvonnan sertifiointitoimikunnalle. Mikäli tuotantolaitos ei täytä asetettuja vaatimuksia, voidaan sertifikaatti peruuttaa.

3 YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

3.1 RAAKA-AINE

ThermoWood®-tuotteiden valmistuksessa käytetään sertifioitua raaka-ainetta. Sertifiointijärjestelmiä ovat PEFC, FSC ja OLB.

3.2 VALMISTUSPROSESSI

ThermoWood®-tuotteet ovat kemikaalittomia luonnollisia puutuotteita. Valmistusprosessin aikana puusta vapautuvat prosessi-kaasut puhdistetaan.

3.3 KÄYTTÖ JA KIERRÄTTÄMINEN

Valmistusprosessissa syntyneet sivutuotteet voidaan hyödyntää energiatuotannossa ja kierrättää esimerkiksi komposiittituotteiden valmistuksessa.

3.4 ELINKAARI

ThermoWood®-tuotteiden elinkaari on pitkä ja ne eivät välttämättä vaadi huoltoa. Nämä tekijät alentavat merkittävästi lämpöpuutuotteiden käytönaikaisia ympäristövaikutuksia. Elinkaaren päässä ThermoWood®-tuotteet voidaan hyödyntää kuten lämpömodifioimattomat puutuotteet.



Kuva 12. Pohjoismaista talousmetsää.

4 ThermoWood®-TUOTTEET






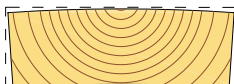
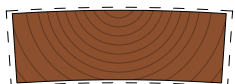



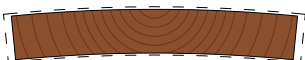

ThermoWood®-prosessin jälkeen lämpöpuutuotteet ovat tyypillisesti sahapintaista sahatavaraa, jotka jatkojalostetaan erilaisiksi lopputuotteiksi. Pääasiallisia jatkojalosteita ovat sisä- ja ulkoverhoustuotteet, piharakentamisen tuotteet sekä puusepänteollisuuden tuotteet.

4.1 LÄMPÖMODIFIOINNIN VAIKUTUS SAHATAVARAN MITTOIHIN

Lämpömodifioinnin aikana sahatavaran kosteus alenee merkittävästi. Puun kosteuden alenemisen aiheuttama kutistuma muuttaa sahatavaran nimellismittoja pienemmiksi (ks. kuva 13).

Esimerkiksi nimellismitoilla 25x125 esitetyn lämpöpuun todelliset mitat ovat noin 3 % pienemmät (24x121). Tämän lisäksi lämpöpuun raaka-aineena käytetyn sahatavaran leveydessä sallitaan mittapoikkeama -2...+4 mm ja paksuudessa mittapoikkeama -1...+3 mm. Lämpömodifioinnin aikana sahatavara saattaa myös hieman kupertua.

Edellä mainitut tekijät tulee ottaa huomioon esimerkiksi valittaessa raaka-aineen kokoa lämpöpuupaneelin valmistukseen. Valmis lämpöpuupaneeli on merkittävästi ohuempi kuin aihio, josta se valmistetaan. Paksuuteen vaikuttaa myös se, että höylätäänkö tuote myös taustaltaan täysin puhtaaksi vai sallitaanko taustalla höyläämättömiä kohtia.

Kuivaamaton sahatavara raaka-aine	Kuivattu sahatavara raaka-aine	Lämpömodifioitu raaka-aine	Valmis tuote
 25x125 (nimellinen) Kosteus n. 30 %	→  25x125 (nimellinen) Kosteus 20 %	→  25x125 (nimellinen) Kosteus 4...7 %	→  UTV 19x117 (nimellinen) Kosteus 4...7 %
 50x150 (nimellinen) Kosteus n. 30 %	→  50x150 (nimellinen) Kosteus 20 %	→  50x150 (nimellinen) Kosteus 4...7 %	→  SHP 42x140 (nimellinen) Kosteus 4...7 %
 32x200 (nimellinen) Kosteus n. 30 %	→  32x200 (nimellinen) Kosteus 20 %	→  32x200 (nimellinen) Kosteus 4...7 %	→  UTS 26x185 (nimellinen) Kosteus 4...7 %

Kuva 13. Esimerkkejä lämpömodifioinnin vaikutuksesta tuotteiden mittoihin.

4.2 PROFILOIDUT TUOTTEET

Lämpöpuusta valmistetaan paljon erilaisia sisä- ja ulkoverhoustuotteita, listoja, lattialautoja, terassilautoja, saunan laudelautoja jne. Tuotteet ovat tavallisesti höyläpintaisia, mutta saatavilla on myös harjatulla, hienosahatulla ja hienokarhennetulla pinnalla olevia tuotteita. Saatavilla on myös teollisesti pintakäsitelyjä tuotteita. Profiloitujen lämpöpuutuotteiden taustalla ei välttämättä ole perinteisiä uria, koska lämpöpuun hyvän muotopysyvyyden ansiosta niitä ei tarvita.

Tyypillisiä profiloituja ThermoWood® -tuotteita on esitetty kuvassa 14. ThermoWood® -tuotteiden valmistajilla on myös paljon omia tuotteita, joten tarkat tiedot profileista, mitoista, pintatyypeistä ja pintakäsittelyistä löytyvät valmistajien ohjeista.

Suosittelavat tuotepaksuudet ovat seuraavat:

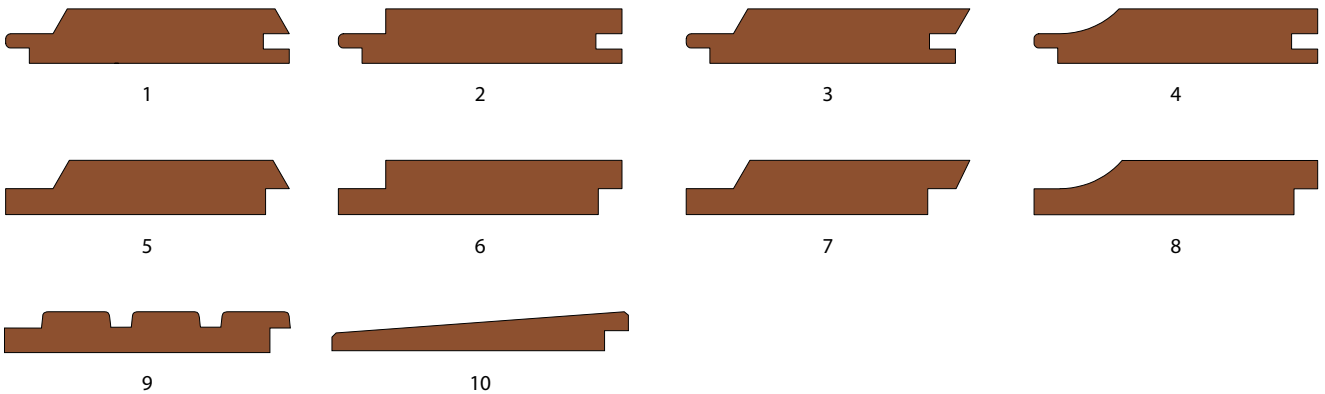
Ulkokäyttö

- Seinä- ja kattoverhoukset: vähimmäispaksuus 19 mm
- Terassit ja vastaavat: vähimmäispaksuus 26 mm

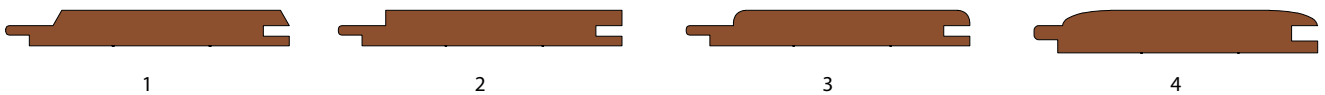
Sisäkäyttö

- Seinä- ja kattoverhoukset: vähimmäispaksuus 14 mm
- Lattialaudat: vähimmäispaksuus 26 mm

Ulkoverhouslautoja



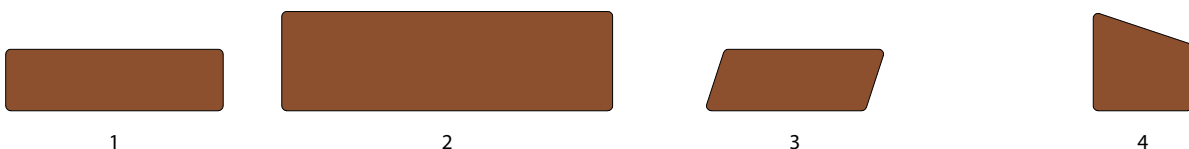
Sisäverhouslautoja



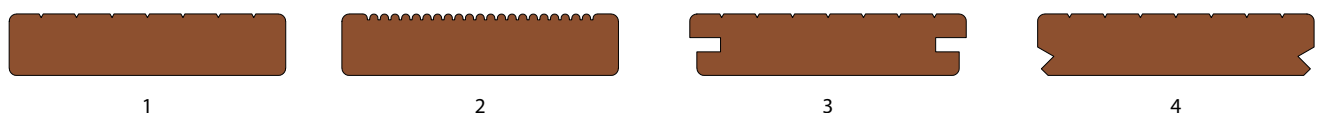
Lattialautoja



Lautoja, soiroja, rimoja



Terassilautoja



Kuva 14. Esimerkkejä profiloiduista ThermoWood® -tuotteista.

4.3 CE-MERKINTÄ

Lämpömodifioitua sahatavaraa, kuten tavallistakaan sahatavaraa, ei pääsääntöisesti CE-merkitä. Euroopan unionin alueella sisä- ja ulkokäyttöön tarkoitettujen puupaneelien ja puuverhoustuotteiden tulee kuitenkin olla CE-merkitty standardin SFS-EN 14915 mukaisesti. Vastaavasti lattialaudat ja puiset lattiapäällysteet tulee olla CE-merkitty standardin SFS-EN 14342 mukaisesti. CE-merkintä voidaan esittää tuotteen paketissa tai itse tuotteessa.

CE-merkittävät puutuotteet dekoratiivisilla pinnoilla:

- puiset sisäpaneelit
- puiset ulkoverhoustuotteet
- lattialaudat



Kuva 15. Esimerkki verhouspaneelista (lämpökäsitelty kuusi Thermo-S).



Kuva 16. Esimerkki verhouspaneelista (lämpökäsitelty mänty Thermo-D).



Kuva 17. Esimerkki soirosta (lämpökäsitelty mänty Thermo-D).



Kuva 18. Esimerkki terassilaudasta (lämpökäsitelty mänty Thermo-D).



Kuva 19. Esimerkki verhouspaneelista (lämpökäsitelty ayous).



Kuva 20. Esimerkki verhouspaneelista (lämpökäsitelty saarni).

4.4 TUOTELUOKITUS

ThermoWood®-tuotteilla on oma tuoteluokitus, jonka perusteella määritellään tuotteiden käyttökohteita. Tuoteluokkia on kaksi ja niiden nimet ovat Thermo-S ja Thermo-D. Sekä havu- että lehtipuu-tuotteita on saatavilla molemmissa tuoteluokissa. Tuoteluokituksen sisällä havu- ja lehtipuutuotteita käsitellään kuitenkin erillisinä tuotteina, koska näiden ominaisuudet ja modifiointilämpötilat poikkeavat toisistaan.

Tuoteluokamerkinnässä:

- S = stability (muotopysyvyys)
- D = durability (muotopysyvyyden lisäksi lahon- ja säänkestävyys)

Taulukko 2. Lämpömodifioinnin vaikutus puun ominaisuuksiin tuoteluokassa Thermo-S.

Tuoteluokka	Modifiointilämpötila	Ominaisuus verrattuna vastaavaan lämpömodifioimattomaan puuhun (+ = ominaisuus lisääntyy) (++ = ominaisuus lisääntyy merkittävästi) (o = ominaisuus pysyy samana)		
		Säänkestävyys	Muotopysyvyys	Värin tummuus
Thermo-S Pohjoismaiset havupuut	190 °C (+/- 3 °C)	+	+	+
Thermo-S Radiata mänty	190 °C (+/- 3 °C)	o	o	o
Thermo-S Lehtipuut	185 °C (+/- 3 °C)	o	+	+
Thermo-S Iroko	190 °C (+/- 3 °C)	+	+	+

Taulukko 3. Lämpömodifioinnin vaikutus puun ominaisuuksiin tuoteluokassa Thermo-D.

Tuoteluokka	Modifiointilämpötila	Ominaisuus verrattuna vastaavaan lämpömodifioimattomaan puuhun (+ = ominaisuus lisääntyy) (++ = ominaisuus lisääntyy merkittävästi) (o = ominaisuus pysyy samana)		
		Säänkestävyys	Muotopysyvyys	Värin tummuus
Thermo-D Pohjoismaiset havupuut	212 °C (+/- 3 °C)	++	++	++
Thermo-230 °C Radiata mänty	230 °C (+/- 3 °C)	++	++	++
Thermo-D Ayous (lehtipuu)	212 °C (+/- 3 °C)	+	+	++
Thermo-D Frake (lehtipuu)	212 °C (+/- 3 °C)	+	+	++
Thermo-D Saarni (lehtipuu)	212 °C (+/- 3 °C)	+	+	++

Taulukko 4. Esimerkkejä ThermoWood®-tuotteiden käyttökohteista.

Käyttökohteita	Pohjoismainen havupuu		Radiata mänty		Saarni		Ayous		Frake		Iroko
	Thermo-S	Thermo-D	Thermo-S	Thermo-230 °C	Thermo-S	Thermo-D	Thermo-S	Thermo-D	Thermo-S	Thermo-D	Thermo-S
Sisäverhoukset	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Lattiat	•	•	•	•	•	•			•	•	•
Kiintokalusteet	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Huonekalut	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Kosteat sisätilat	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Ikkunoiden ja ovien rakenteet	•	•			•		•		•	•	•
Ulkoverhoukset	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Terassit		•		•		•					•
Puutarhakalusteet		•				•					•
Ikkunaluukut ulkona		•		•		•		•		•	•
Liikuteltavat sermit yms. ulkona		•		•		•		•		•	•
Aidat, pergolat yms.		•		•		•		•		•	•



Kuva 21. ThermoWood® -tuotteita ulkoverhouksessa ja koristerimoituksissa.

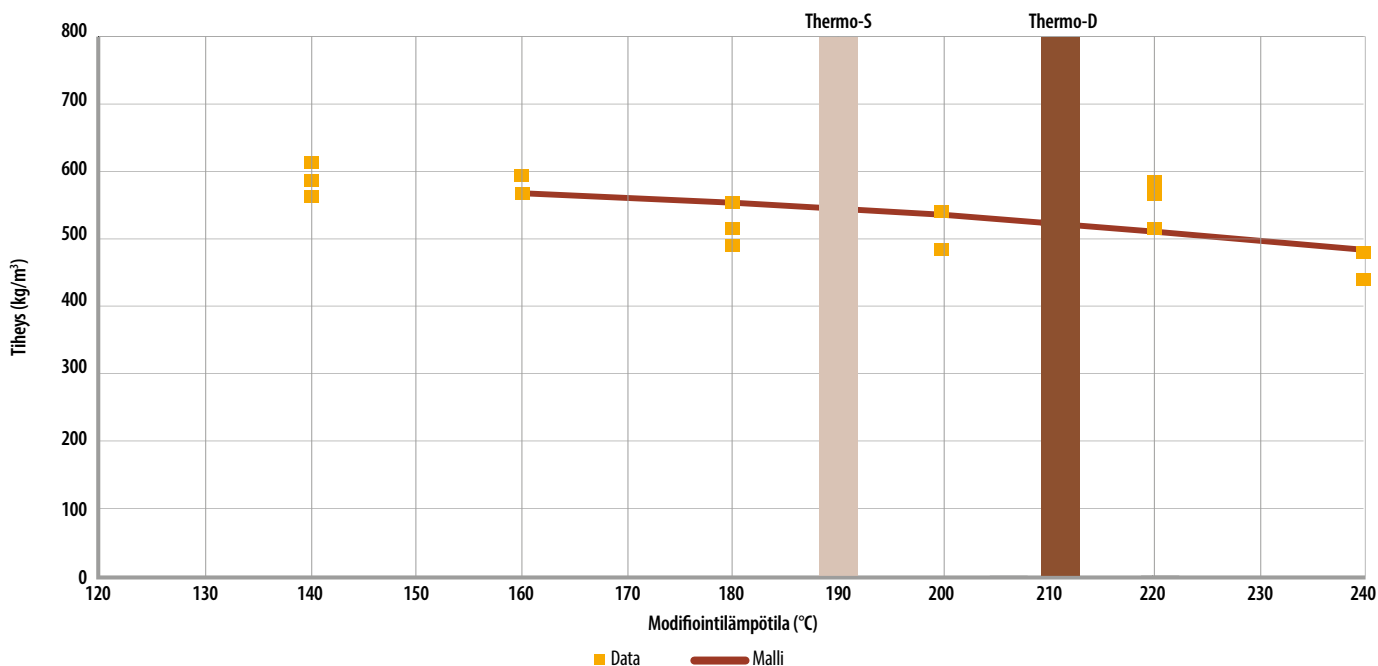
4.5 FYSIKAALISET OMINAISUUDET

4.5.1 Tiheys

ThermoWood® ei ole yhtä tiheää kuin vastaava lämpömodifioimaton puu. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että lämpömodifioinnin aikana puusta poistuu ainesosia (puun tiheys alenee).

Kuvassa 22 on esitetty lämpömodifioinnin vaikutus tiheyteen modifioitaessa mäntyä kolme tuntia lämpötilassa +160...+240 °C.

Tiheys alenee käytettäessä korkeampia modifointilämpötiloja. Kuitenkin hajonta on suurta ja selitysaste alhainen johtuen puun luontaisesta tiheyden vaihtelusta. Lämpötilan +160 °C alapuolella testimateriaalin keskitiheys on 560 kg/m³. Testimateriaalia on tasaannutettu 65 %:n suhteellisessa kosteudessa. Taulukossa 5 on esitetty laajemman tutkimuksen tuloksia.



Kuva 22. Modifointilämpötilan vaikutus ThermoWood®-tuotteen tiheyteen (mänty) (lähde: VTT).

Taulukko 5. ThermoWood®-lämpöpuun tiheys (mittaustulosten keskiarvo).

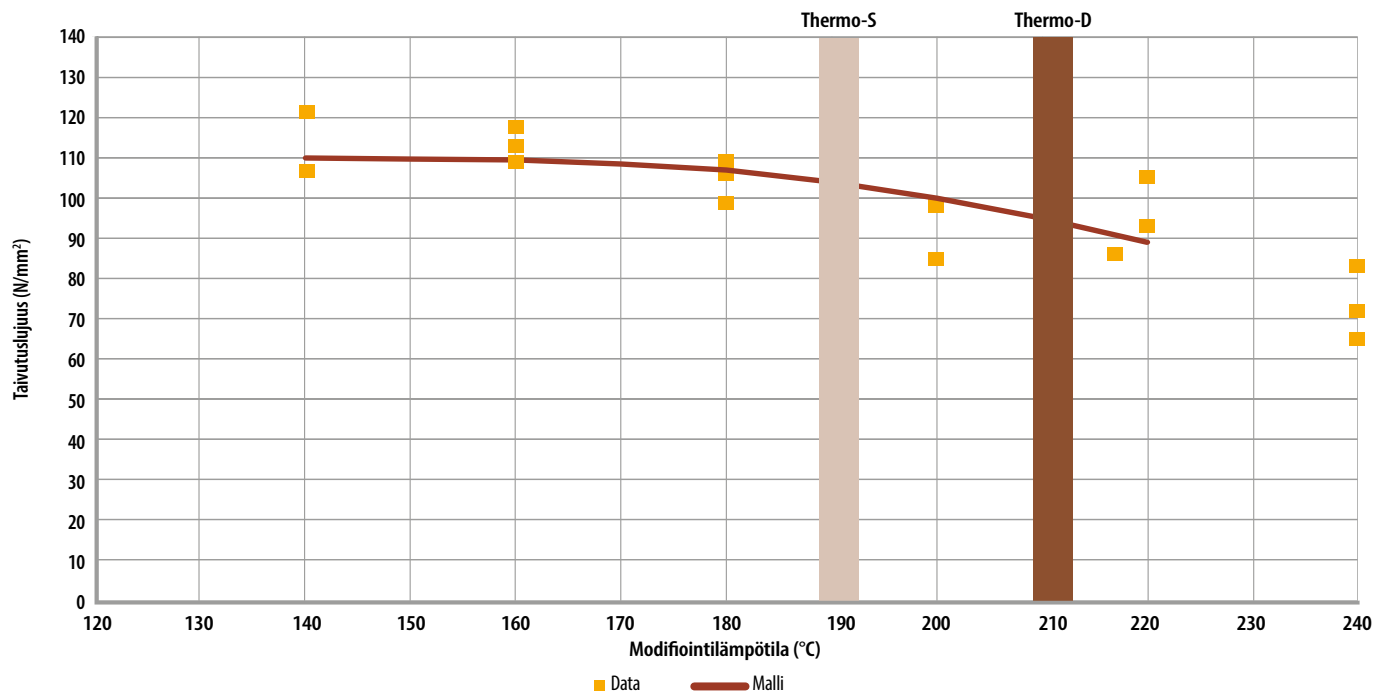
Puulaji	Tuote	Määrä [kpl]	Kuivatiheys (ilmakuiva) [kg/m ³]	Tiheys 20 °C / 65 % RH [kg/m ³]	Kuivatiheys (uunikuiva) [kg/m ³]
Mänty	Referenssi	-	490	-	-
	Thermo-S	18	430	-	-
	Thermo-D	18	420	-	-
Kuusi	Referenssi	-	460	-	-
	Thermo-S	20	430	-	-
	Thermo-D	19	420	-	-
Saarni	Referenssi	-	-	625	-
	Thermo-S	-	-	560	-
	Thermo-D	-	-	554	-
	Thermo-220 °C	-	-	526	-
Ayous	Thermo-S	-	-	392	357
	Thermo-D	-	-	353	339
Frake	Thermo-S	-	-	573	553
	Thermo-D	-	-	537	518
Iroko	Thermo-S	-	-	611	-

4.5.2 Taivutuslujuus ja kimmomoduuli

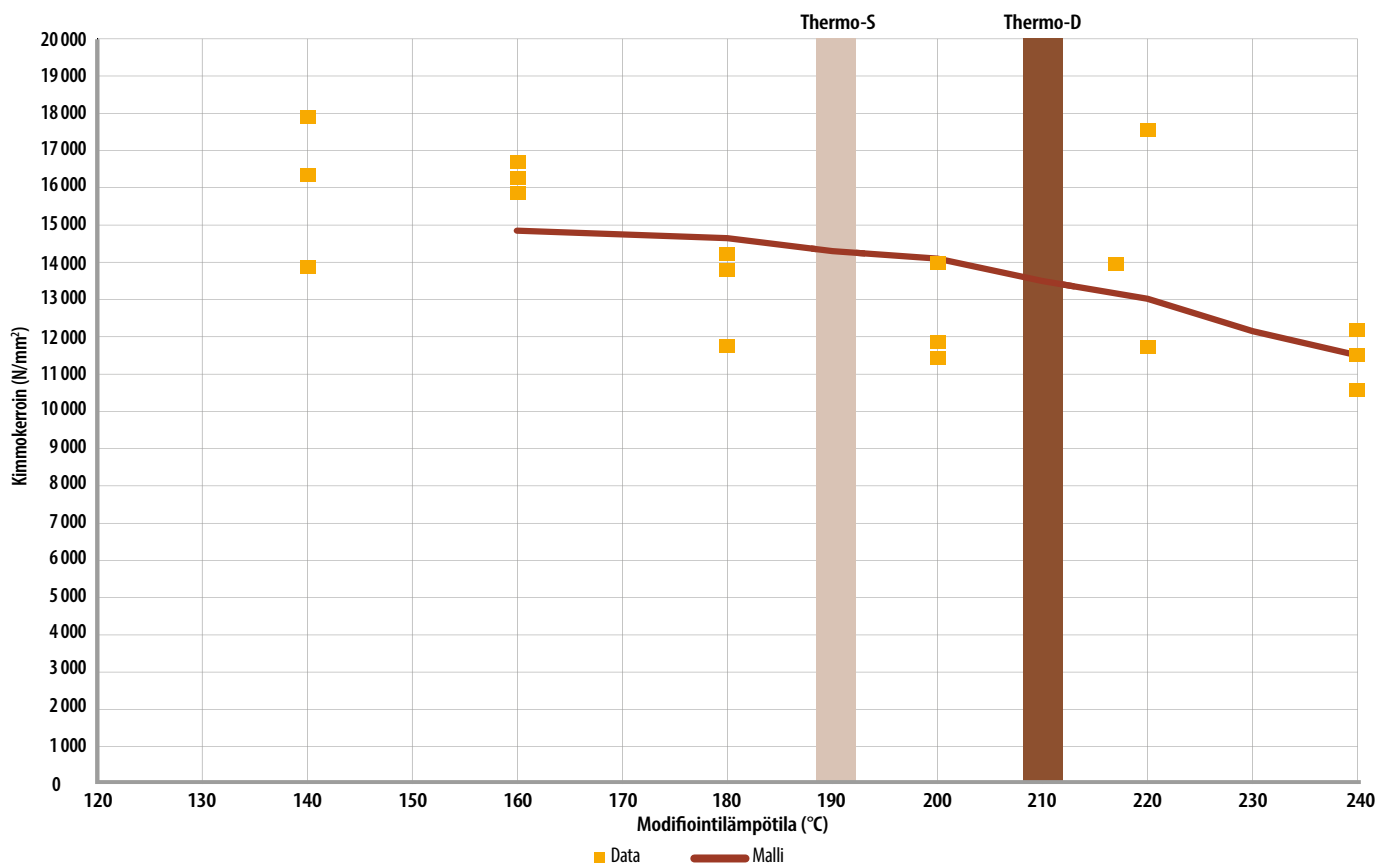
Puumateriaalin lujuudella ja tiheydellä on yleensä voimakas korrelaatio. Lämpöpuun alhaisemmasta tiheydestä johtuen on selvää, että lämpöpuulla on joissain tapauksissa alhaisemmat lujuusarvot verrattuna lämpömodifioimattomaan puuhun. Tällä hetkellä ThermoWood®-tuotteita ei ole saatavilla lujuuslajiteltuna, joten lämpöpuuta ei tule käyttää kantavissa rakenteissa.

Kuvassa 23 on esitetty lämpömodifioinnin vaikutus männyn taivutuslujuuteen ja kuvassa 24 vaikutus kimmomoduuliin. Merkittävä lujuu-

den aleneminen alkaa lämpötilan +220 °C jälkeen. Lämpömodifointi ei kuitenkaan muuta merkittävästi puun kimmomoduulia. Testimateriaali on mäntyä, jonka keskitiheys on 560 kg/m³. Tutkimuksessa on käytetty kahta taivutuslujuuden testausmenetelmää. Toisessa menetelmässä on käytetty virheetöntä materiaalia lyhyellä jännevälillä ja toisessa luontaisia virheitä sisältäviä materiaalia pidemmällä jännevälillä. Taulukossa 6 on esitetty laajemman tutkimuksen tuloksia.



Kuva 23. Modifointilämpötilan vaikutus ThermoWood®-tuotteen taivutuslujuuteen (mänty) (lähde: VTT).



Kuva 24. Modifointilämpötilan vaikutus ThermoWood®-tuotteen kimmokertoimeen (mänty) (lähde: VTT).

Taulukko 6. Lämpöpuun taivutuslujuus ja kimmomoduuli (mittaustulosten keskiarvo).

Puulaji	Tuote	Dimensio [mm]	Standardi	Taivutuslujuus [N/mm ²]	Kimmomoduuli [N/mm ²]
Mänty	Referenssi	-	EN 408	60,7	9274
	Thermo-S	-	EN 408	45,1	9006
	Thermo-D	-	EN 408	38,1	9262
Kuusi	Referenssi	-	EN 408	74,2	13658
	Thermo-S	-	EN 408	65,0	11197
	Thermo-D	-	EN 408	47,5	10133
Saarni	Referenssi	20 x 20 x 360	DIN 52186	112,0	12056
	Thermo-S	20 x 20 x 360	DIN 52186	106,9	13559
	Thermo-D	20 x 20 x 360	DIN 52186	90,6	13320
	Thermo-220 °C	20 x 20 x 360	DIN 52186	75,9	12848
Ayous	Thermo-S	100 x 40 x 2000	EN 408	28,1	7414
	Thermo-D	150 x 40 x 3000	EN 408	27,6	7338
Frake	Thermo-S	100 x 40 x 2000	EN 408	61,1	14607
	Thermo-D	100 x 40 x 3000	EN 408	54,7	14880
Iroko	Referenssi	300 x 20 x 20	DIN 52186	99	11500
	Thermo-S	300 x 20 x 20	DIN 52186	91	12300

4.5.3 Ruuvin ulosvetolujuus

Tutkimusten mukaan puun tiheyden luontaisella vaihtelulla on suurempi vaikutus ruuvin ulosvetokestävyyteen kuin lämpömo-difioinnilla. Alhaisemman tiheyden omaavissa testikappaleissa

tulosten on havaittu olevan parempia, kun käytetään pienempiä esiporattuja reikiä. Taulukoissa 7 ja 8 on esitetty ruuvin ulosveto-lujuuden tutkimustuloksia.

Taulukko 7. Ruuvin ulosvetolujuus lämpöpuussa (mittaustulosten keskiarvo).

Puulaji	Tuote	Standardi	Ulosvetolujuus [N/mm ²]
Mänty	Referenssi	EN 1382	22,24
	Thermo-S	EN 1382	20,04
	Thermo-D	EN 1382	19,56
Kuusi	Referenssi	EN 1382	22,01
	Thermo-S	EN 1382	18,20
	Thermo-D	EN 1382	14,92
Iroko	Referenssi	EN 1382	39,92
	Thermo-S	EN 1382	37,25

Taulukko 8. Ruuvin ulosvetolujuus lämpöpuussa (mittaustulosten keskiarvo).

Puulaji	Tuote	Standardi	Ruuvikoko Tartuntapituus t _{pen}	Ulosvetolujuus	
				Säteen suunta [N/mm ²]	Tangentin suunta [N/mm ²]
Ayous	Thermo-S	EN 1382	Ruuvi 3,0x38 t _{pen} = 24 mm	13,56	13,62
		EN 1382	Ruuvi 4,0x72 t _{pen} = 32 mm	11,64	10,84
	Thermo-D	EN 1382	Ruuvi 3,0x38 t _{pen} = 24 mm	10,44	11,17
		EN 1382	Ruuvi 4,0x72 t _{pen} = 32 mm	9,28	9,00
Frake	Thermo-S	EN 1382	Ruuvi 3,0x38 t _{pen} = 24 mm	33,97	33,82
		EN 1382	Ruuvi 4,0x72 t _{pen} = 32 mm	27,95	27,60
	Thermo-D	EN 1382	Ruuvi 3,0x38 t _{pen} = 24 mm	32,28	33,77
		EN 1382	Ruuvi 4,0x72 t _{pen} = 32 mm	28,80	28,93

4.5.4 Syitä vastaan kohtisuora puristuslujuus

Tutkimusten mukaan lämpömodifoidun puun (+195 °C, 3 tuntia) puristuslujuus syitä vastaan kohtisuoraan on 30 % korkeampi verrattuna vastaavaan lämpömodifioimattomaan puuhun. Testikapaleet oli upotettu veteen ennen testaamista.

4.5.5 Syiden suuntainen puristuslujuus

Tutkimusten mukaan lämpömodifoinnilla ei ole alentavaa vaikutusta syiden suuntaiseen puristuslujuuteen. Havaintojen perusteella lämpöpuun puristuslujuus on korkeampi verrattuna vastaavaan lämpömodifioimattomaan puuhun. Tämä on havaittu myös korkeammissa lämpötiloissa modifioidulla puulla (kuva 25). Puristuslujuuteen vaikuttaa lähinnä puun todellinen tiheys.

Testeissä on havaittu, että syiden suuntaisessa kuormituksessa testikapaleet hajoavat pienempiin osiin, mutta eivät nurjahda lämpömodifioimattoman puun tapaan. Tämä johtuu siitä, että lämpöpuu ei ole yhtä kimmoisaa kuin lämpömodifioimaton puu.

4.5.6 Iskutaivutuslujuus (dynaaminen taivutus)

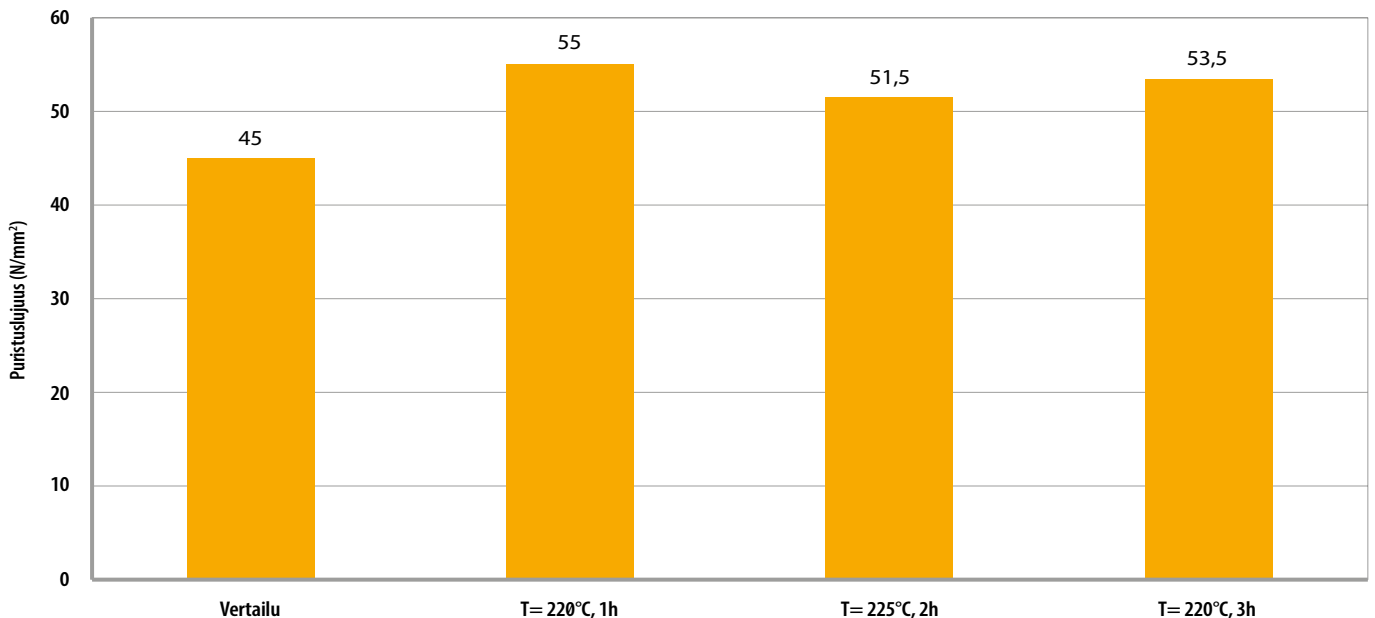
Tutkimusten mukaan lämpömodifointi alentaa puun iskutaivutuslujuutta verrattuna lämpömodifioimattomaan puuhun. Lämpömodifoidun kuusen (+220 °C, 3 tuntia) testeissä on havaittu iskutaivutuslujuuden alentuneen 25 % verrattuna lämpömodifioimattomaan puuhun.

4.5.7 Leikkauslujuus

Tutkimusten mukaan lämpömodifointi korkeammissa lämpötiloissa (+230 °C, 4 tuntia) alentaa puun leikkauslujuuksia (säteittäisissä testeissä 1...25 % ja tangentin suuntaisissa testeissä 1...40 %) verrattuna lämpömodifioimattomaan puuhun. Sen sijaan matalammassa lämpötilassa (+190 °C) suoritettulla modifoinnilla on hyvin vähän vaikutusta männyn leikkauslujuuksiin, mutta kuusen leikkauslujuudet alentuvat myös matalammassa lämpötilassa (1...20 % säteittäisissä ja tangentin suuntaisissa testeissä).

4.5.8 Halkaisulujuus

Tutkimusten mukaan lämpömodifointi alentaa puun halkaisulujuutta 30...40 % verrattuna lämpömodifioimattomaan puuhun. Testeissä on käytetty kuusta, mäntyä ja koivua sekä hyvin erilaisia modifointilämpötiloja. Halkaisulujuuden aleneminen on suurempaa korkeammissa modifointilämpötiloissa.

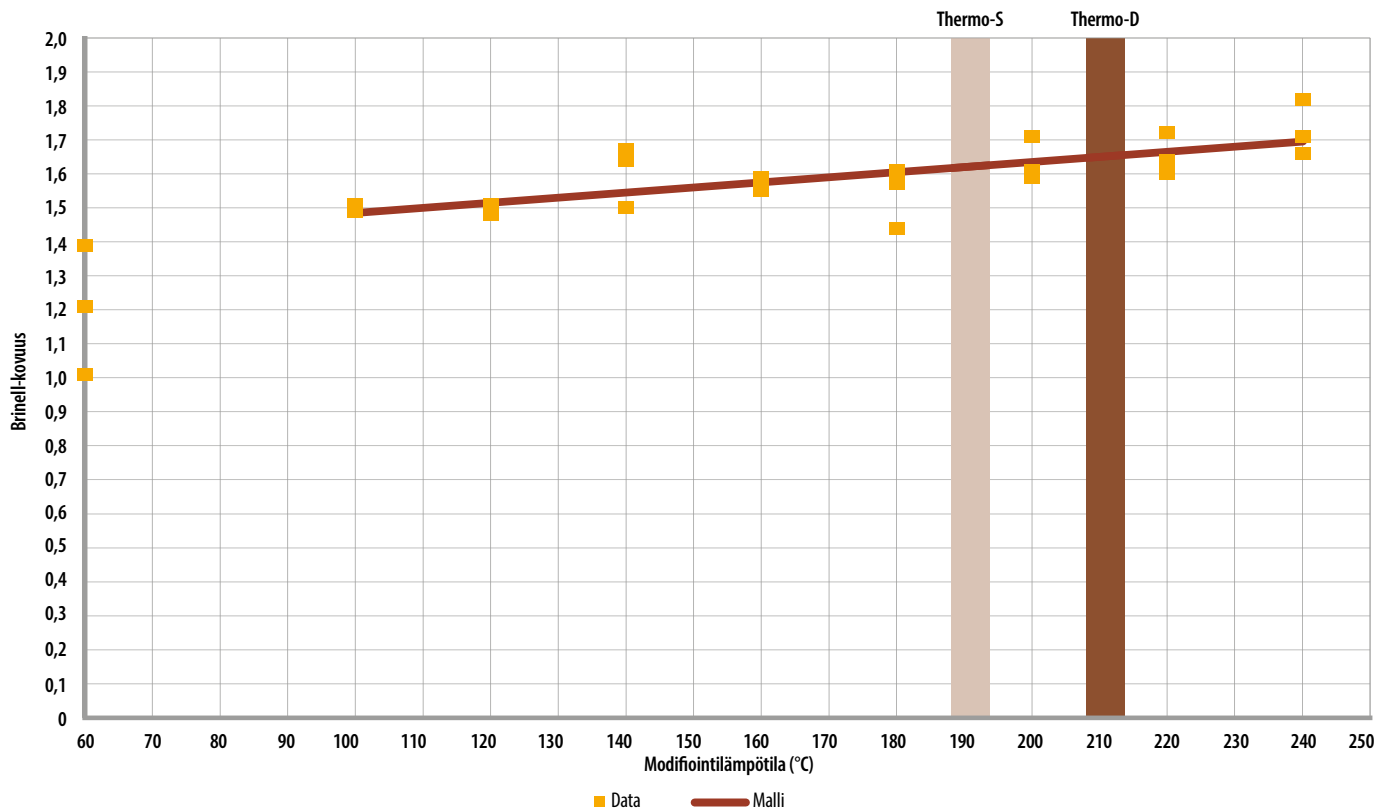


Kuva 25. Lämpömodifoidun kuusen (keskitiheys 420 kg/m³) syiden suuntainen puristuslujuus (lähde: VTT).

4.5.9 Kovuus

Kuvassa 26 on esitetty kuinka lämpöpuun Brinell-kovuus kasvaa modifointilämpötilan kasvaessa. Tutkimusten mukaan suhteellinen muutos on kuitenkin hyvin pieni, joten vaikutusta ei käytän-

nössä ole. Kuten kaikilla puulajeilla, Brinell-kovuus riippuu paljolti puun tiheydestä. Taulukossa 9 on esitetty laajemman tutkimuksen tuloksia.



Kuva 26. Lämpömodifoinnin (3 tuntia) vaikutus männyn Brinell-kovuuteen (lähde: VTT).

Taulukko 9. ThermoWood®- lämpöpuun Brinell-kovuus (mittaustulosten keskiarvo).

Puulaji	Tuote	Dimensio [mm]	Brinell-kovuus [N/mm ²]				
			EN 1532 Pallo Ø 10 mm F = 1000 N	EN 1534 Pallo Ø 20 mm F = 1000 N Säteen suunta	EN 1534 Pallo Ø 20 mm F = 1000 N Tangentin suunta	EN 1534 Pallo Ø 10 mm F = 500 N Säteen suunta	EN 1534 Pallo Ø 10 mm F = 500 N Tangentin suunta
Mänty	Referenssi	-	15,9	-	-	-	-
	Thermo-S	-	16,4	-	-	-	-
	Thermo-D	-	13,7	-	-	-	-
Kuusi	Referenssi	-	16,3	-	-	-	-
	Thermo-S	-	15,2	-	-	-	-
	Thermo-D	-	14,9	-	-	-	-
Iroko	Referenssi	-	31,5	-	-	-	-
	Thermo-S	-	30,0	-	-	-	-
Saarni	Referenssi	20 x 20 x 300	-	35,13	35,33	-	-
	Thermo-S	20 x 20 x 300	-	30,92	29,27	-	-
	Thermo-D	20 x 20 x 300	-	27,75	27,56	-	-
	Thermo-220 °C	20 x 20 x 300	-	25,59	23,27	-	-
Ayous	Thermo-S	40 x 40 x 300	-	-	-	9,83	9,00
	Thermo-D	40 x 40 x 300	-	-	-	8,83	7,98
Frake	Thermo-S	40 x 40 x 300	-	-	-	26,39	23,70
	Thermo-D	40 x 40 x 300	-	-	-	27,35	24,06

4.5.10 Palo-ominaisuudet

Lämpömodifioimattomaan puuhun verrattuna ThermoWood® aiheuttaa pienemmän palokuorman ja vähäisemmän savuntuoton. Tämä johtuu siitä, että ThermoWood®-lämpöpuun tiheys on alhaisempi ja siinä on vähemmän puun ainesosia sekä uuteaineita. Lisäksi verhouksista saadaan paloteknisesti tiiviimpiä, koska lämpöpuuverhouksessa kosteuselämisen aiheuttama rakoilu on vähäistä verrattuna lämpömodifioimattomaan puuhun.

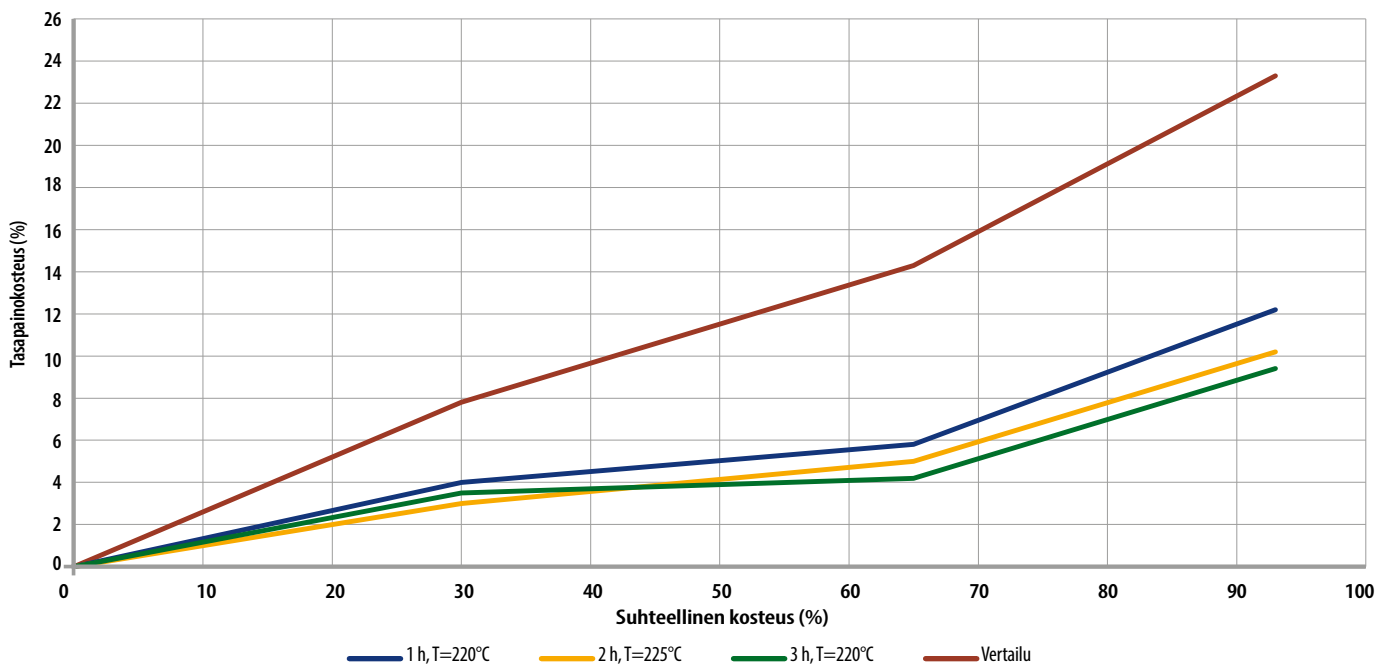
Edellä mainittuja seikkoja ei voida kuitenkaan suoraan käyttää paloteknisessä suunnittelussa, vaan nämä tulee tutkia tapauskohtaisesti esimerkiksi paloteknisillä simulaatio-ohjelmilla.

4.6 KOSTEUS- JA LÄMPÖTEKNINEN KÄYTTÄYTYMINEN

4.6.1 Tasapainokosteus

Puun lämpömodifointi alentaa puun tasapainokosteutta. Kuvassa 27 on esitetty kuinka lämpömodifointi alentaa kuusen tasapainokosteutta. Korkeissa lämpötiloissa (+220°C) modifioidun kuusen tasapainokosteus on noin puolet verrattuna vastaavaan lämpömodifioimattomaan puuhun. Ero puun tasapainokosteuden arvoissa on suurempi, kun ilman suhteellinen kosteus on korkeampi.

Lahottajasienien toiminta aktivoituu, kun puun kosteus ylittää 20 %. Lämpöpuun tasapainokosteus on kaikissa ilman suhteellisissa kosteuksissa merkittävästi alle 20 %. Tällä on suuri merkitys pitkäaikaiskestävyyteen.

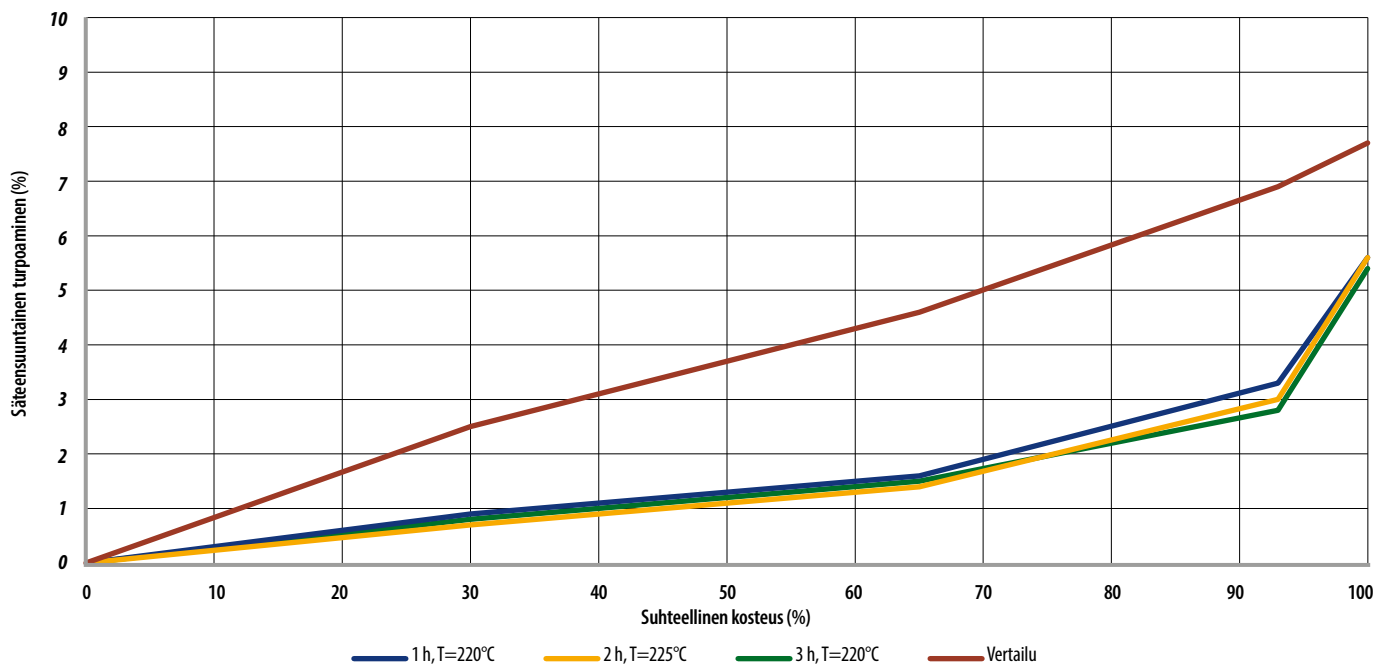


Kuva 27. Suhteellisen kosteuden vaikutus lämpömodifioidun kuusen tasapainokosteuteen (lähde: VTT).

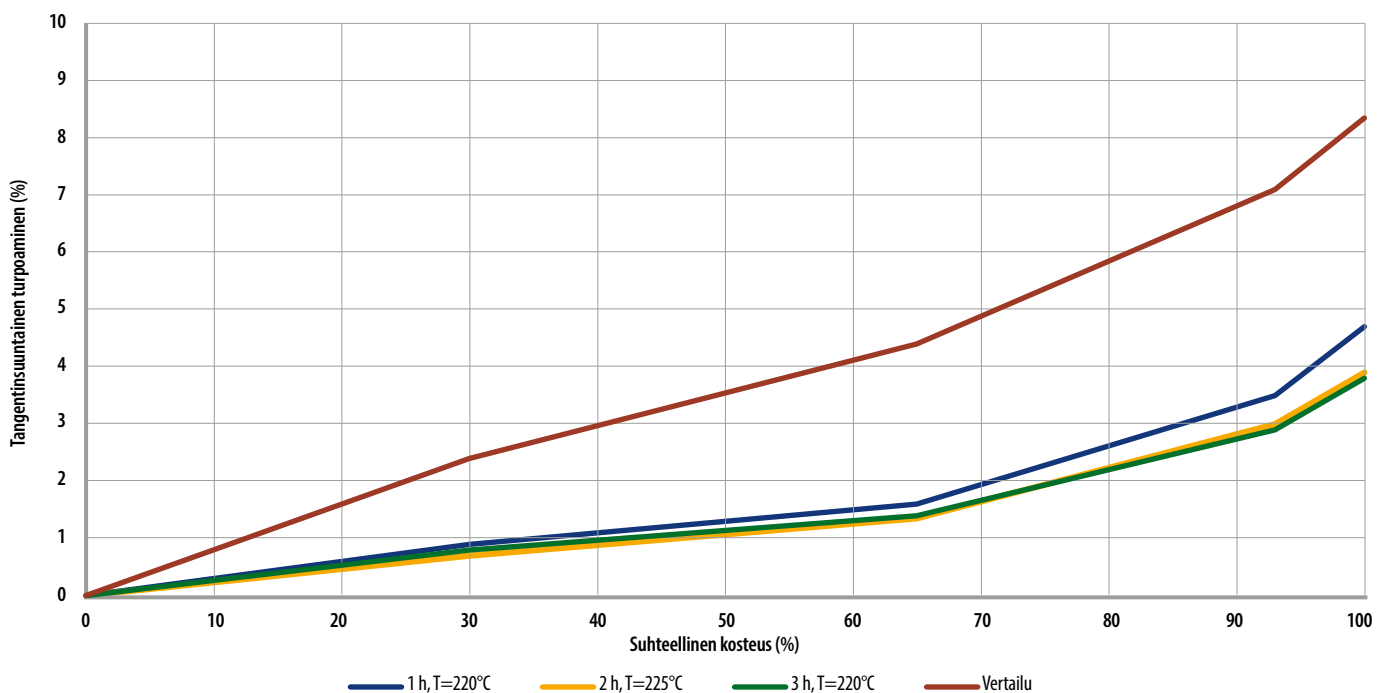
4.6.2 Kosteuseläminen

ThermoWood®-lämpöpuun alentunut tasapainokosteus vaikuttaa tuotteiden kosteuselämiseen. Lämpömodifiointi alentaa puun tangentin- ja säteensuuntaista turpoamista merkittävästi. Kuivissa 28 ja 29 on esitetty kuinka lämpömodifiointi alentaa kuusen turpoamista verrattuna vastaavaan lämpömodifioimattomaan puuhun.

Vähäisen kosteuselämisen ansiosta ThermoWood®-tuotteet ovat kosteusteknisesti stabiilimpia kuin vastaavat lämpömodifioimat-
tomat puutuotteet. Lämpöpuutuotteet säilyttävät muotonsa myös pintakäsittelimättöminä.



Kuva 28. Kuusen säteensuuntainen turpoaminen suhteellisen kosteuden funktiona (lähde: VTT).



Kuva 29. Kuusen tangentinsuuntainen turpoaminen suhteellisen kosteuden funktiona (lähde: VTT).

4.6.3 Permeabiliteetti

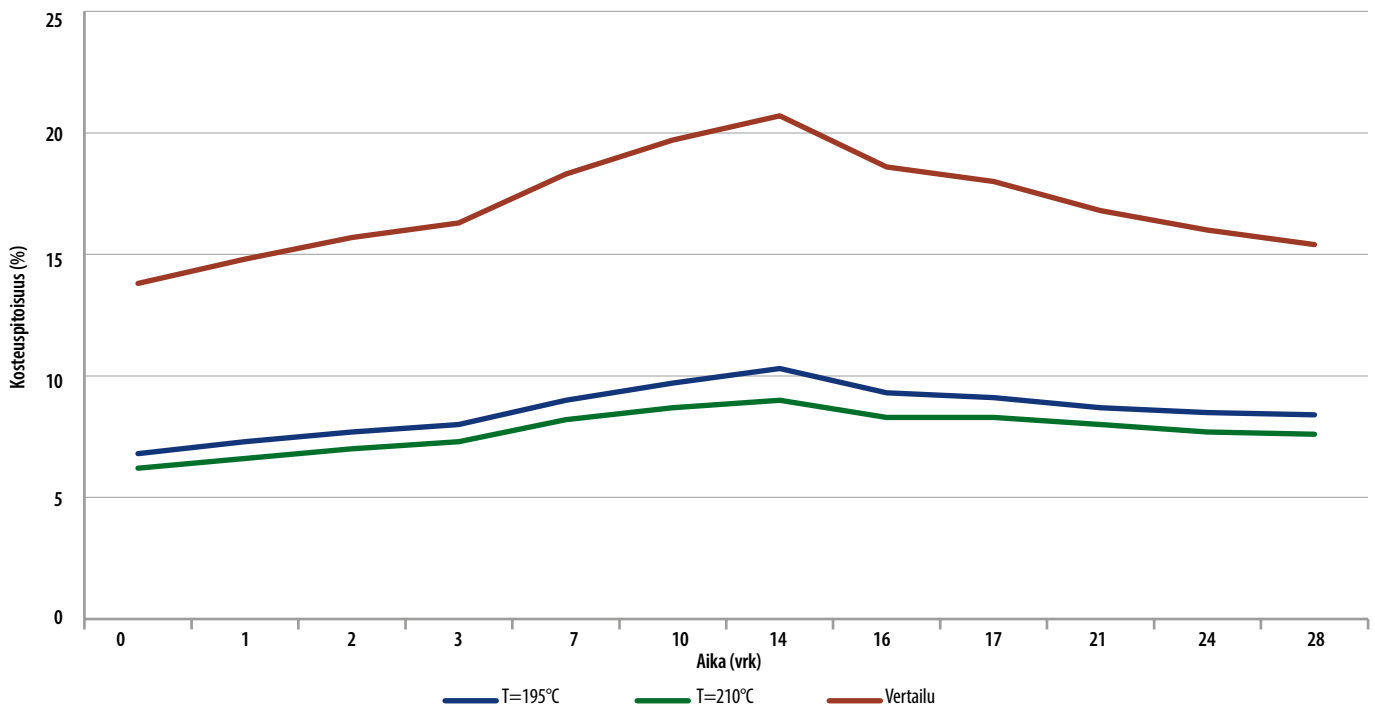
ThermoWood®-lämpöpuun vedenläpäisykykyä on testattu puun katkaisupinnan läpäisyn suhteen. Tämä seikka on tärkeä esimerkiksi ikkunoissa. Testikappaleet on kastettu veteen, josta suola on poistettu. Tämän jälkeen testikappaleita on säilytetty huoneessa, jonka suhteellinen kosteus on 65 % ja lämpötila +20 °C. Testikappaleet on punnittu säännöllisin väliajoin yhdeksän päivän ajan. Testitulosten mukaan lyhyen jakson aikana lämpömodifioidun kuusen veden läpäisy on 20...30 % vähäisempää kuin vastaavan lämpömodifioimattoman puun.

Toisessa tutkimuksessa testikappaleet olivat vedessä 72 tunnin ajan niin, että testikappaleiden päätypinnat oli suljettu. Testitulosten mukaan lämpömodifioimattoman kuusen kosteuspitoisuus oli 22 %, kun taas lämpötilassa +195 °C modifioidun testikappaleen kosteuspitoisuus oli noin 12 % ja lämpötilassa +210 °C modifioidun testikappaleen kosteuspitoisuus noin 10 %.

Puun lämpömodifointi alentaa puun vesihöyrynläpäisevyyttä. Kuvassa 30 on esitetty kuinka lämpömodifointi alentaa kuusen vesihöyrynläpäisevyyttä verrattuna vastaavaan lämpömodifioimattomaan puuhun.

4.6.4 Lämmönjohtavuus

Tutkimusten mukaan lämpömodifointi alentaa puun lämmönjohtavuutta. Lämpömodifioidun pohjoismaisen havupuun lämmönjohtavuus on 20...25 % alhaisempi verrattuna vastaavaan lämpömodifioimattomaan puuhun. Tästä johtuen ThermoWood® on hyvä materiaali esimerkiksi ulko-oviin, ulkoverhouksiin, ikkunoihin ja saunan rakenteisiin.



Kuva 30. Lämpömodifoinnin vaikutus vesihöyrynläpäisevyyteen (kuusi) (lähde: VTT).

4.7 PITKÄAIKAISKESTÄVYYS

4.7.1 Säänkestävyys

Säärasituksessa ThermoWood®-tuotteet pysyvät pintakäsittelmättöminä merkittävästi kuivempina kuin vastaavat lämpömodifioimattomat puutuotteet. Säärasituksen alaisena oleville ThermoWood®-tuotteille suositellaan kuitenkin kosteudelta, eroosiolta ja UV-säteilyltä suojaavaa pintakäsittelyä. Erityisesti tätä suositellaan kosteassa ja lämpimässä ilmastossa oleville tuotteille.

Sateen takia vähäinen alkuperäisen värin muuttuminen vasta-asennetuissa pintakäsittelmättömissä lämpöpuupinnoissa on mahdollista. UV-säteily aiheuttaa pintakäsittelmättömien puutuotteiden harmaantumista.

4.7.2 Biologinen kestävyys

Kuten kaikkien materiaalien, jotka altistuvat luonnon olosuhteille, myös ThermoWood®-tuotteen pinnalla voi esiintyä pintahometta. Ilman sisältämien bakteerien tai sateen levittämän lian vuoksi käsittelemättömälle pinnalle voi muodostua homesienikasvustoa. Se on kuitenkin vain pinnassa ja voidaan poistaa pyyhkimällä tai raaputtamalla.

Puutuotteen luontainen (ilman suojakäsittelyä) lahonkestävyys määritellään standardien mukaisilla laboratoriotesteillä. Taulukossa 10 on esitetty ThermoWood®-tuotteiden käyttökohteita. ThermoWood®-tuotteita ei suositella käytettäväksi rakenteissa, joissa tuote joutuu suoraan maa- tai vesikosketukseen.

Taulukko 10. ThermoWood®-tuotteiden soveltuvuus erilaisiin käyttötarkoituksiin.

Lahonkestoluokka (EN 350)	Käyttöluokka (EN 335)	Esimerkkejä käyttökohteista	ThermoWood®-tuotteet
1 = Erittäin kestävä	5 = Merivesikosketus 4 = Maakosketus	-	-
2 = Kestävä	3 = Ulkona, säälle altis	Ulkoverhoukset Piharakentaminen	Thermo-D, mänty, kuusi Thermo-D, saarni, ayous, frake Thermo-S, iroko
3 = Kohtalaisen kestävä	2 = Ulkona säältä suojattu	Katettujen tilojen rakenteet ja kalusteet Saunan rakenteet	Thermo-S, mänty, kuusi Thermo-S, lehtipuut Thermo-D, lehtipuut
4 = Heikosti kestävä	1 = Sisällä kuivassa tilassa	Sisäverhoukset	-

4.7.3 Kestävyys hyönteisiä vastaan

Havupuiden pintapuussa esiintyy tupajääriä. Tupajumi (*Anobium punctatum*) on yleinen huonekaluhyönteinen, joka tuhoaa erityisesti lehtipuuta. *Lyctus Bruneus* -hyönteisiä esiintyy joissakin lehtipuulajeissa. Tutkimusten mukaan ThermoWood® on vastustuskykyinen kaikille kolmelle yllä mainitulle hyönteiselle. ThermoWood® kykenee tehokkaasti vastustamaan tupajääriä. Kuoriaiset tunnistavat havupuun sopivaksi paikaksi munimiselle sen erittämän terpeenin vuoksi. Lämpömodifoidun puun erittämän terpeenin määrä on pienentynyt merkittävästi verrattuna vastaavaan lämpömodifioimattomaan puuhun. Tällöin on oletettavaa, että kuoriaiset valitsevat mieluummin lämpömodifioimattoman puun kuin lämpöpuun, silloin kun se on mahdollista. Tutkimusten mukaan sama ilmiö koskee todennäköisesti myös termiittejä. Lisätutkimuksia aiheesta kuitenkin tarvitaan vielä.

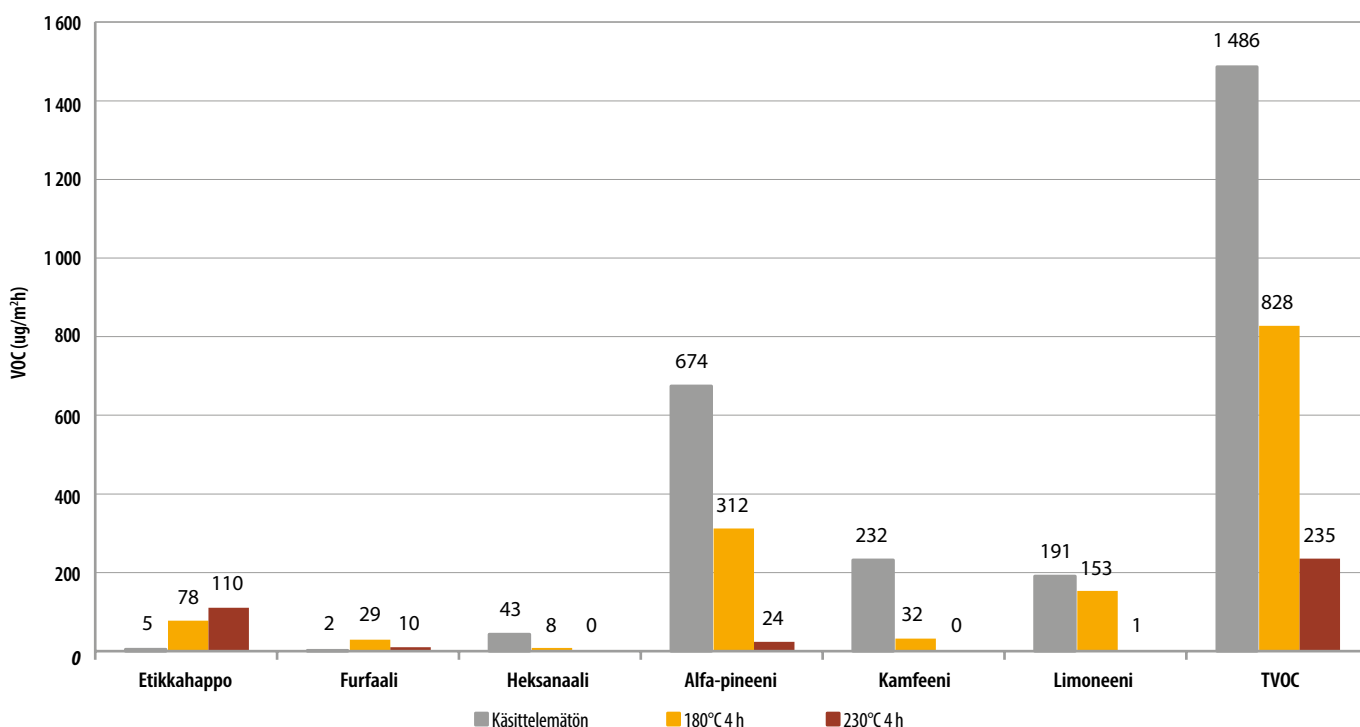
Tähänastisten testitulosten perusteella ThermoWood® ei kykene vastustamaan termiittien hyökkäystä. Termiitit iskevät rakennuksiin alla olevasta maasta ja ne välttävät auringonvaloa mahdollisimman pitkälle. Termiitit iskevät sekä puu- että betonipohjaisiin rakenteisiin etsiessään ravintoa. Näiden ongelmien hallintaan on kehitetty useita tapoja ja menetelmiä, kuten polyeteenikalvoja, jotka asennetaan talon perustuksiin ja erilaisia bituminomaisia maalituotteita on saatavana mahdollisten taloon johtavien reitien tukkimiseen. Paikallisia testejä kuitenkin suositellaan, koska termiittityypit vaihtelevat alueittain. Tarvitaan myös enemmän tutkimuksia termiittien käyttäytymisestä.

4.8 SISÄILMAVAIKUTUKSET

ThermoWood®-tuotteet ovat lämpömodifioimattomien puutuotteiden tapaan hygroskooppisia, joten ne reagoivat sisäilman kosteuteen tasaten sen vaihtelua. ThermoWood®-lämpöpuun vaikutus sisäilman kosteuden tasaamiseen on kuitenkin vähäisempi kuin lämpömodifioimattoman puun. Tämä johtuu lämpöpuun alhaisesta tasapainokosteudesta. Tulee myös huomioida, että niin lämpöpuutuotteiden kuin lämpömodifioimattomien puutuotteiden yhteydessä pintakäsittelyn tyyppillä on merkittävä vaikutus edellä mainittuun ilmiöön. Kosteusteknisesti liian tiivis pintakäsittely estää kosteuden siirtymisen sisäilman ja puutuotteen välillä.

ThermoWood®-lämpöpuussa on uutena savua muistuttava tuoksu, mikä ilmeisimmin tulee kemiallisista yhdisteistä nimeltään furfuraalit. Vaikka tuoksu on ihmisaistein helposti tunnistettavissa ja se vaikuttaa voimakkaamalta kuin lämpömodifioimattoman puun tuoksu, lämpöpuutuotteissa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) päästöt ovat vain murto-osa tavallisen männyn päästöistä.

Emissioita on mitattu lämpömodifioiduista mäntylautoista. Näytteitä lämpömodifioitiin lämpötilassa +180 °C ja +230 °C 4 tunnin ajan. Testi on suoritettu 7 viikon (+180 °C) tai 8 viikon (+230 °C) kuluttua lämpömodifoinnista. Lämpömodifioimattomalla mäntynäytteellä haihtuvien orgaanisten aineiden määrä oli suurin, 1486 µg/m²h. Tästä suurin osa oli terpeenejä, erityisesti alfa-pineeniä, kamfeenia ja limoneenia esiintyi merkittäviä määriä. Lämpömodifioimaton mänty sisälsi myös heksanaalia ja pieniä määriä furfuraalia ja etikkahappoa. Lämpötilassa +180 °C modifioidun männyn kokonaisemissio oli 828 µg/m²h. Näyte sisälsi terpeenejä, furfuraalia, heksanaalia ja etikkahappoa. Lämpötilassa +230 °C:ssa modifioidun männyn kokonaisemissio oli kaikista pienin, 235 µg/m²h. Suurin osa tästä oli etikkahappoa (110 µg/m²h). Tämä näyte sisälsi vain pieniä määriä terpeenejä. Kuten kuvasta 31 nähdään, kokonaisemissioiden näkökulmasta lämpöpuu on turvallinen tuote käytettäväksi sisätiloissa.



Kuva 31. Kaksi kuukautta vanhojen mäntynäytteiden haihtuvat orgaaniset yhdisteet (lähde: VTT).

5

ThermoWood®-LÄMPÖPUUN TYÖSTÄMINEN

Yleensä ottaen lämpöpuutuotteiden käsittely edellyttää hieman enemmän tarkkuutta kuin vastaavan lämpömodifioimattoman puun, koska lämpöpuu on lujuusominaisuuksistaan johtuen alttiimpaa mekaanisille vaurioille jatkojalostuksessa.

ThermoWood®-lämpöpuuta työstettäessä teriin ei tartu pihkaa, joten terien puhdistustarve on vähäisempää kuin lämpömodifioimattomia puutuotteita työstettäessä.

ThermoWood®-lämpöpuun työstöstä syntyvä pöly on erittäin kuivaa ja hienojakoista, joten pölynpoistojärjestelmän toimivuuteen jatiiviyteen täytyy kiinnittää erityistä huomiota. Lämpöpuuta työstettäessä tulee käyttää hengityssuojainta, mikäli henkilö altistuu pölylle.

Ennen työstämisen aloittamista on varmistuttava, että lämpöpuun kosteus vastaa käyttökohteen kosteutta. Poikkileikkauksen koosta riippuen tasaannuttaminen huoneenlämmössä kestää päiviä. Ulkoilmaolosuhteissa erityisesti talvella viikkoja tai jopa kuukausia. Tämä tulee ottaa huomioon työstöjen aikataulutuksessa.

5.1 SAHAAMINEN

ThermoWood®-lämpöpuun sahaaminen ei eroa lämpömodifioimattoman puun sahaamisesta. Harvahampainen saha saattaa aiheuttaa lohkeilua lämpöpuun reunoissa, jonka vuoksi suositellaan tiheähampaisia sahoja.

5.2 HÖYLÄÄMINEN

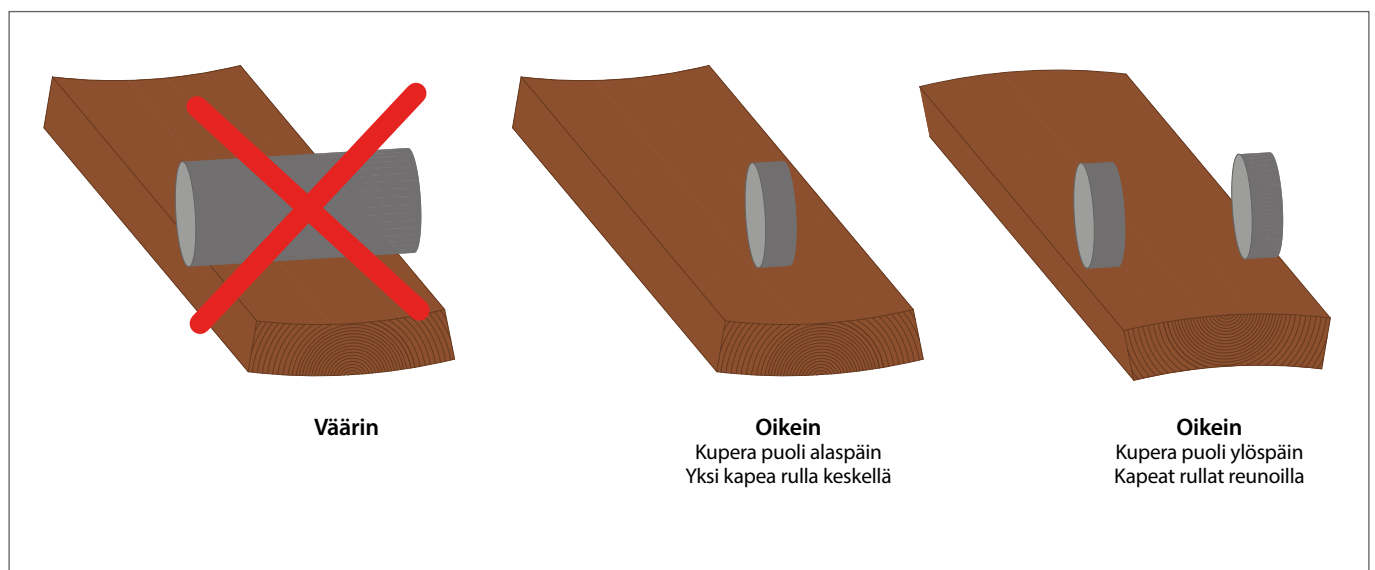
Lämpöpuussa, kuten sahatavarassa yleensä, saattaa esiintyä kupertumista. Kupertumisesta johtuen höylättäessä tulee käyttää kapeita syöttörullia, jotta vähennetään työstettävän pinnan halkeiluriskiä.

Mikäli kupera puoli on höylättäessä alaspäin, tulee käyttää yhtä kapeaa syöttörullaa asemituna tuotteen keskelle. Mikäli kupera puoli on höylättäessä ylöspäin, tulee käyttää kahta kapeaa syöttörullaa asemituna tuotteen reunoille.

Edellä mainitut vaihtoehdot on havainnollistettu kuvassa 32. Halkeilun estämiseksi myös syöttörullien paine täytyy säätää pienemmäksi kuin lämpömodifioimattoman puun yhteydessä. Tämä johtuu lämpöpuun alentuneista lujuusominaisuuksista.

Käytännössä on havaittu, että lämpöpuukappaleiden syötössä esiintyy vähemmän kitkaa (ei ole pihkaa), jolloin höyläys sujuu tasaisemmin. Joillakin höyläyslinjoilla myös nopeutta täytyy vähentää. Rullien paineet sekä nopeus ja muut parametrit ovat hyvin riippuvaisia höyläyslinjasta ja koneista. Lämpöpuuta höylättäessä parametrit säädetään tuote- ja höyläkohtaisesti.

Jotta saavutettaisiin paras höyläystulos ja minimoitaisiin vuosirenkaiden irtoaminen, suositellaan käytettäväksi raaka-ainetta, joka on sahattu mahdollisimman pitkälle puun syiden suuntaisesti. Tulosta parantaa myös se, että höylättäessä valitaan laudan paras puoli. Syöttörullatyyppin ja -paineen, puun syysuunnan, kupertumisen, terän terävyyden ja läpimenonopeuden välillä on tiivis yhteys.



Kuva 32. Höylän syöttörullien tulee olla kapeita ThermoWood®-lämpöpuun yhteydessä.

5.3 JYRSIMINEN

ThermoWood®-lämpöpuun jyrsiminen muistuttaa kovien ja hauraiden lehtipuutuotteiden jyrsimistä. Jyrsimistä tulee suunnitella tarkasti etukäteen, kun jyrsitään puun syihin nähden poikittaiseen suuntaan, jotta vältetään repeytymät ja lohkeamat.

5.4 HIOMINEN

ThermoWood®-lämpöpuun hiominen on samanlaista kuin vastaa-
van lämpömodifioimattoman puutuotteen hiominen. Lämpöpuun yhteydessä hiomista ei useinkaan tarvita, koska höyläämisen jälke-
en lämpöpuun pinnan laatu on hyvä.

5.5 LIIMAAMINEN

Lämpöpuun liimattavuutta on testattu 1- ja 2-komponenttisilla PVAc-liimoilla, 1- ja 2-komponenttisilla polyuretaaniliimoilla (PU), resorsinolifenoliliimoilla (RF) ja emulsiopolymeeri-isosyanaattiliimoilla (EPI).

Käytettäessä PVAc-liimaa, täytyy liiman vesipitoisuus minimoida. PVAc-liimat saattavat edellyttää pidempiä puristus- ja kuivumisaikoja, koska veden imeytyminen lämpöpuuhun on hitaampaa (liiman kovettuminen on hitaampaa).

Käytettäessä PU-liimaa tulee huomioida, että kovettumisreaktio tarvitsee vettä. Tarvittava vesi voi olla liimattavassa tuotteessa tai se voidaan saada ympäröivästä ilmasta. Tarvittaessa liimattavat pinnat tulee kostuttaa.

RF-liimojen ja EPI-liimojen on myös havaittu toimivan hyvin lämpöpuun yhteydessä. Testien mukaan RF-liima on saatu toimimaan liimapuun valmistuksessa käytetyillä tuotantoparametreilla.

Lämpöpuuta, kuten muitakin puutuotteita liimattaessa, tulee kiinnittää huomiota puun lämpötilaan, kosteuspitoisuuteen, pinnan puhtauteen jne. Liiman valinnassa ja liimaustyön suorittamisessa tulee noudattaa liimavalmistajan ohjeita.

ThermoWood®-lämpöpuusta valmistetaan myös liimattuja tuotteita. Tuotteet ovat valmistajakohtaisia, joten tarkat tiedot tuotteista löytyvät valmistajien ohjeista.



Kuva 33. ThermoWood®-tuotteita pergolan rakenteissa.

6

ThermoWood®-TUOTTEIDEN PINTAKÄSITTELY

6.1 ThermoWood® PINTAKÄSITTELYALUSTANA

ThermoWood® on erinomainen alusta pintakäsittelyaineille, koska lämpöpuu on pihkaton ja sen kosteuseläminen on vähäistä, jolloin maalikalvo tms. ei halkeile. Lämpöpuun pintakäsittelyssä tulee kuitenkin huomioida, että kaikki pintakäsittelyaineet eivät muodosta riittävää tartuntaa puuhun, johtuen lämpöpuun pH-arvosta (hapan) ja heikosta vedenimukyvyistä. Erityisesti tämä haaste on joillakin vesipohjaisilla pintakäsittelyaineilla. Tartuntaan vaikuttaa myös pinnan karheus. Esimerkiksi hiomapaperilla P100 käsitelty pinta on tartunnan näkökulmasta merkittävästi parempi kuin höylätty pinta. Myös harjattu pinta on koettu hyväksi pintakäsittelyn tartunnan näkökulmasta. Käsiteltävän pinnan ei tule olla kuitenkaan liian karhea (saha-pinta), koska pinnan tikkuuntuminen vaikeuttaa pintakäsittelytyötä.

6.2 YLEISIMMÄT PINTAKÄSITTELYAINEET

ThermoWood®-tuotteita voidaan pintakäsitellä samantyyppisillä aineilla (maali, lakka, öljy, vaha jne.) kuin lämpömodifioimattomia puutuotteita. Lämpöpuutuotteita voidaan pintakäsitellä sekä vesipohjaisilla että liuotinpohjaisilla pintakäsittelyaineilla. Poikkeuksena on kuitenkin pellavaöljy, jota ei suositella käytettäväksi lämpöpuutuotteiden pintakäsittelyyn (muodostaa kasvualustan sienille).

Säärasitukselle alttiit lämpöpuutuotteet suositellaan aina pintakäsiteltäväksi. Pintakäsittely parantaa tuotteen värin säilymistä ja vähentää puumateriaaleille ominaista ajan myötä tapahtuvaa halkeilua ja ns. tikkuuntumista. Saunan seinä- ja kattoverhoilujen sekä lauderakenteiden pintakäsittelyyn suositellaan parafiiniöljyä.

Lämpöpuutuotteiden, kuten muidenkin puutuotteiden, yhteydessä suositellaan käytettäväksi teollista pintakäsittelyä. Tällöin pintakäsittely on toteutettu asiaan kuuluvilla pintakäsittelyaineilla hallituissa olosuhteissa, jolloin voidaan varmistua pintakäsittelyn hyvästä laadusta ja pitkäikäisyydestä.

6.3 PINTAKÄSITTELYTYÖ

Lämpöpuutuotteita, kuten muitakin puutuotteita, pintakäsittelyäessä tulee hakea oikeanlainen pintakäsittely-yhdistelmä ja pintakäsittelyn huolto-ohjelma. Tässä kannattaa olla yhteydessä pintakäsittelyaineiden valmistajiin. Ennen pintakäsittelyä tulee huolehtia siitä, että auringon UV-säteily ja kosteusrasitus eivät pääse muodostamaan tuotteeseen mikrohalkeamia, jotka vaikeuttavat pintakäsittelyn onnistumista.

Lämpöpuutuotteiden, kuten muidenkin puutuotteiden, katkaisupinnat tulisi käsitellä tähän tarkoitukseen olevalla pintakäsittelyaineella (end grain sealer). Tämä vähentää merkittävästi veden imeytymistä tuotteeseen katkaisupintojen kautta sekä vähentää kuivumishalkeamien muodostumista katkaisupintojen läheisyyteen.

6.4 PALOSUOJAKÄSITTELY

Lämpöpuutuotteita voidaan palosuojakäsitellä, kuten muitakin puutuotteita. Kaikkien puutuotteiden tapauksessa tulee aina varmistaa palosuoja-aineiden tarvittavat hyväksynät ja noudattaa aineen valmistajan ohjeita. Lämpöpuu voidaan palosuojakäsitellä pintaluokkaan C ja B, riippuen käytettävästä palosuoja-aineesta. Korkein saavutettava pintaluokka on B-s1, d0. Lämpöpuutuotteita on saatavilla myös valmiiksi palosuojakäsiteltynä.

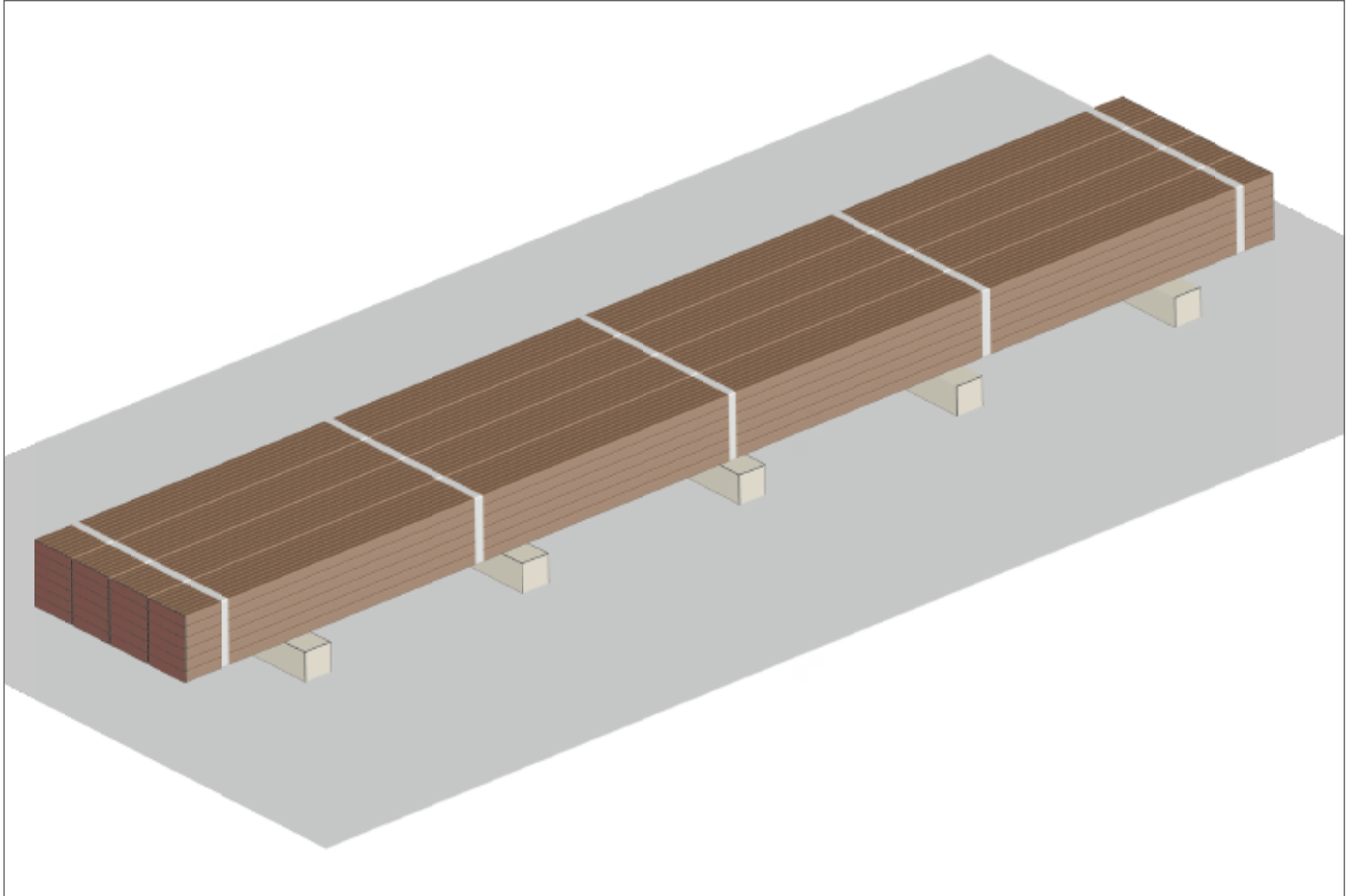
7

ThermoWood®-TUOTTEIDEN HANKINTA, VARASTOINTI

ThermoWood®-tuotteita voi ostaa puutavaraliikkeistä ja rautakaupoista kuten muitakin puutuotteita. Varastovalikoima vaihtelee jälleenmyyjän mukaan ja erikoistuotteet toimitetaan tilauksesta.

ThermoWood®-tuotteiden varastoinnissa tulee huolehtia seuraavista tekijöistä:

- Kuiva katettu tuuletettu tila (myös ulkokuivatila käy, kun on kysymys ulkokäyttöön tulevista tuotteista)
- Sisätilaan tulevat tuotteet varastoidaan lämpimässä sisätilassa
- Tuotteiden suojaus lialta ja auringon UV-säteilyltä
- Varastointi vaakatasossa suoralla alustalla (irti maasta)
- Riittävä määrä aluspuita
- Tuotenippuja ei saa avata ennen käyttöä
- Sisäverhoustuotteet asennetaan suoraan paketista
- Pitkiä tuotteita nostettaessa tulee muistaa alentunut taivutuslujuus
- Pontattuja tuotteita tulee käsitellä varoen, jotta pontit eivät vaurioidu (erityisesti pitkillä tuotteilla)



Kuva 34. Suora alusta ja riittävä määrä aluspuita pitävät tuotteet suorina.

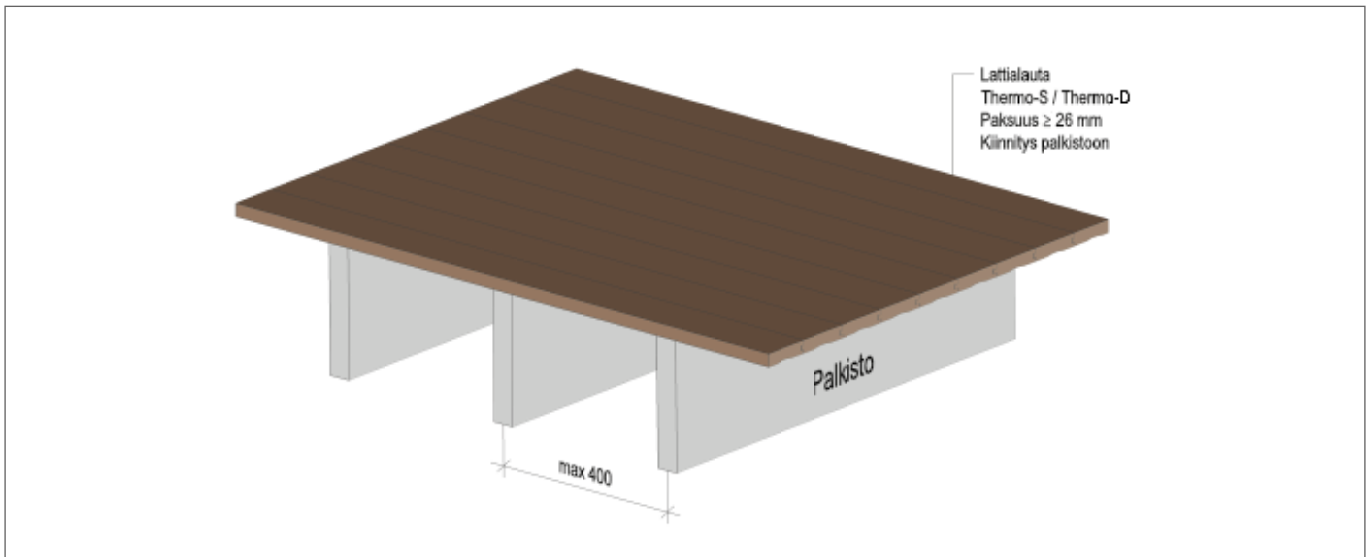
8

ThermoWood®-TUOTTEIDEN KÄYTTÖKOHTTEITA RAKENTAMISESSA

Talonrakentamiseen tarkoitettut ThermoWood®-tuotteet ovat tyypillisesti sisä- ja ulkokäyttöön tarkoitettuja verhoustuotteita sekä puusepänteollisuuden tuotteita. Piharakentamiseen tarkoitettut ThermoWood®-tuotteet ovat tyypillisesti terassi- ja aitarakenteisiin sekä pihakalusteisiin tarkoitettuja tuotteita. Samoja tuotteita voidaan käyttää sekä sisätiloissa että ulkotilassa.

8.1 SISÄKÄYTTÖ

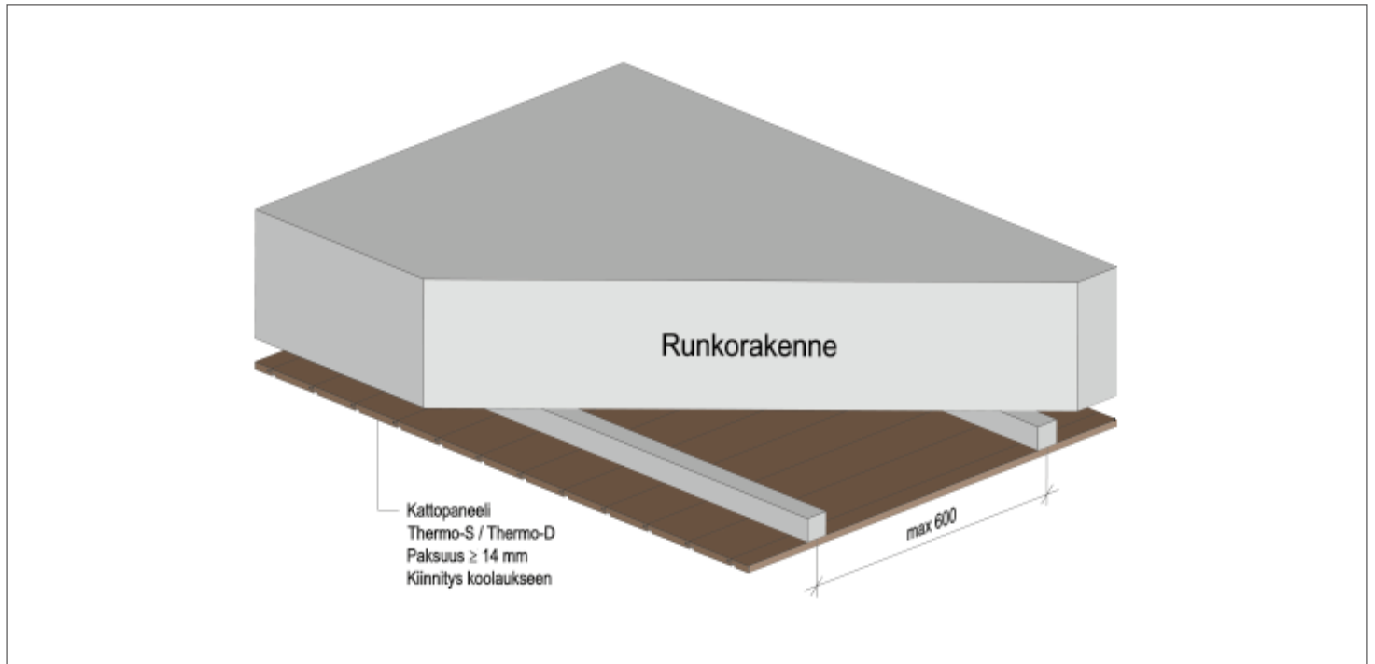
ThermoWood®-tuotteiden kosteustekninen stabiilius vähentää laualattialle tyypillistä vuotuista rakoilua. Tämä näkyy erityisesti tiloissa, joissa sisäilmankosteus vaihtelee paljon. Lämpöpuusta valmistettuja lattialautoja on saatavilla myös päätypontattuna. Päätyponttijatkos tulee sijoittaa koolauksen kohdalle, mikäli lattiassa ei ole erillistä kantavaa aluslattialevytystä (esim. vanerilevy).



Kuva 35. Esimerkki lattiaverhouksesta.



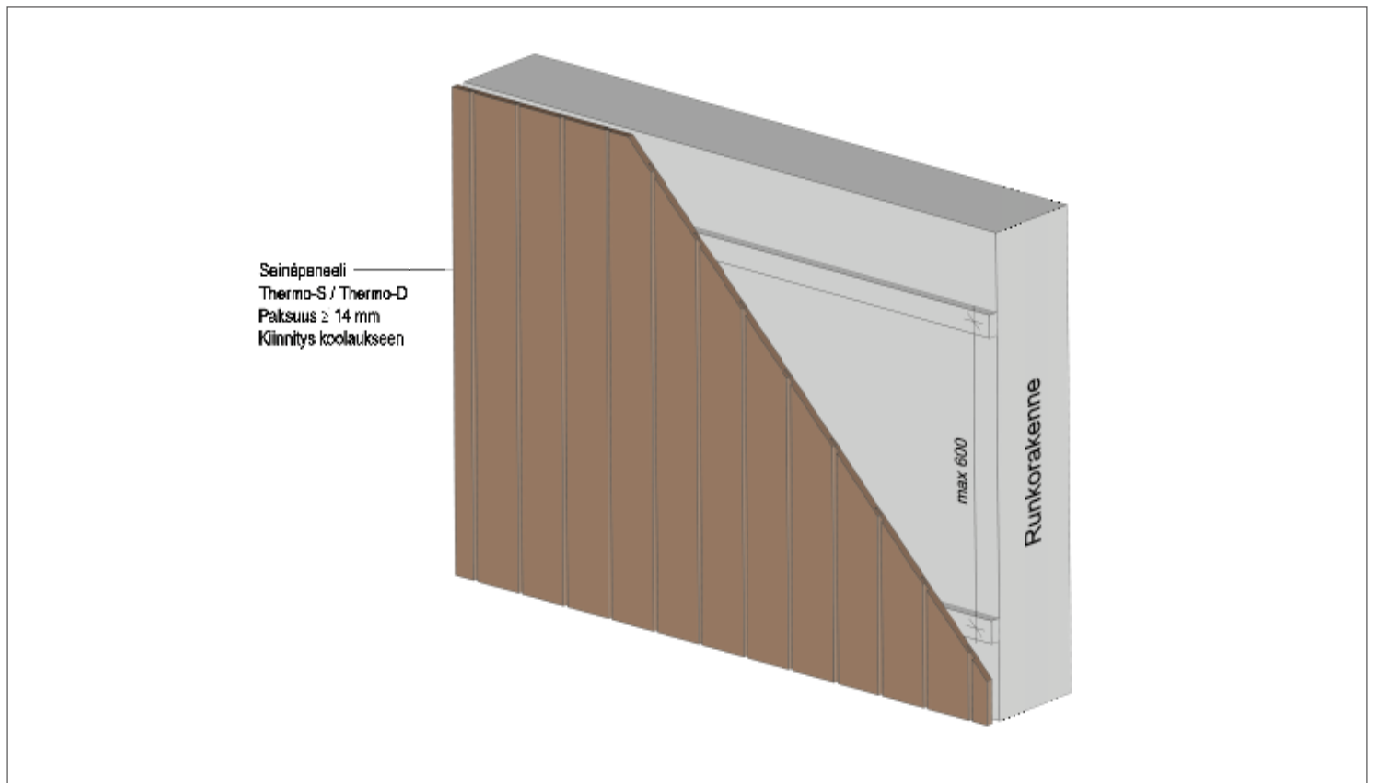
Kuva 36. ThermoWood®-lattia.



Kuva 37. Esimerkki kuivan tilan kattoverhouksesta.



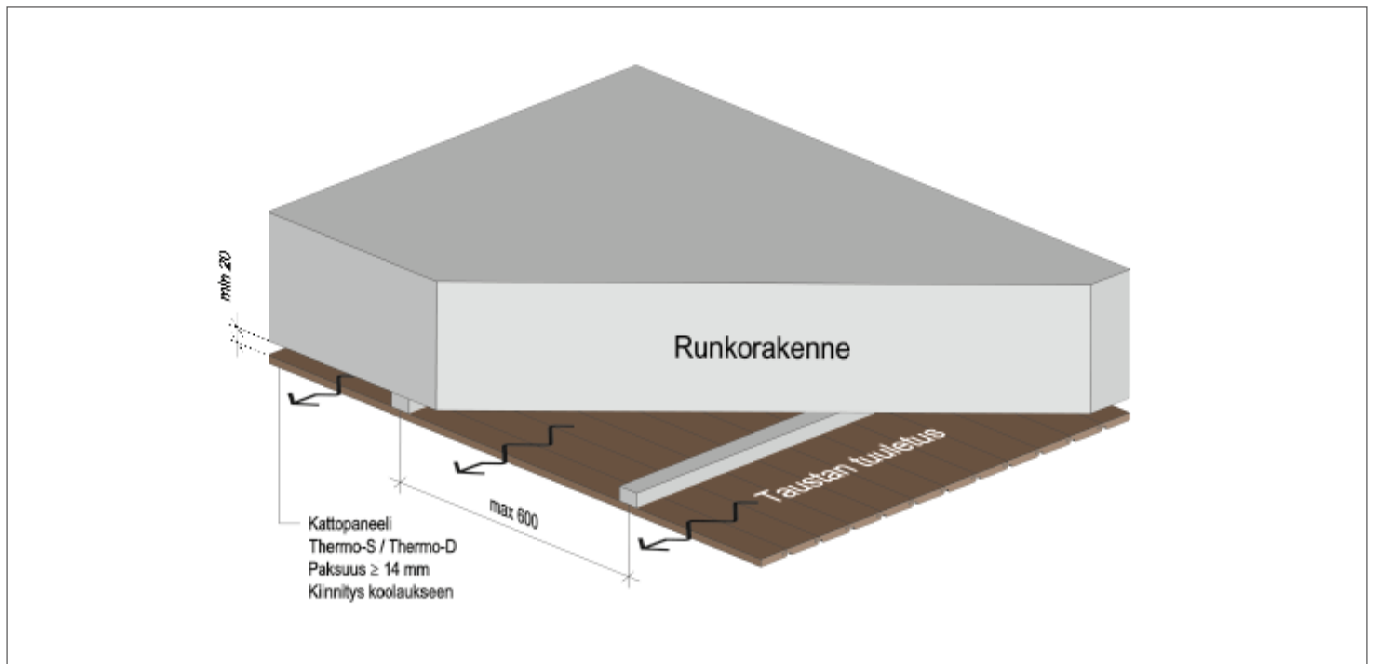
Kuva 38. ThermoWood®-alakatto (Portugal).



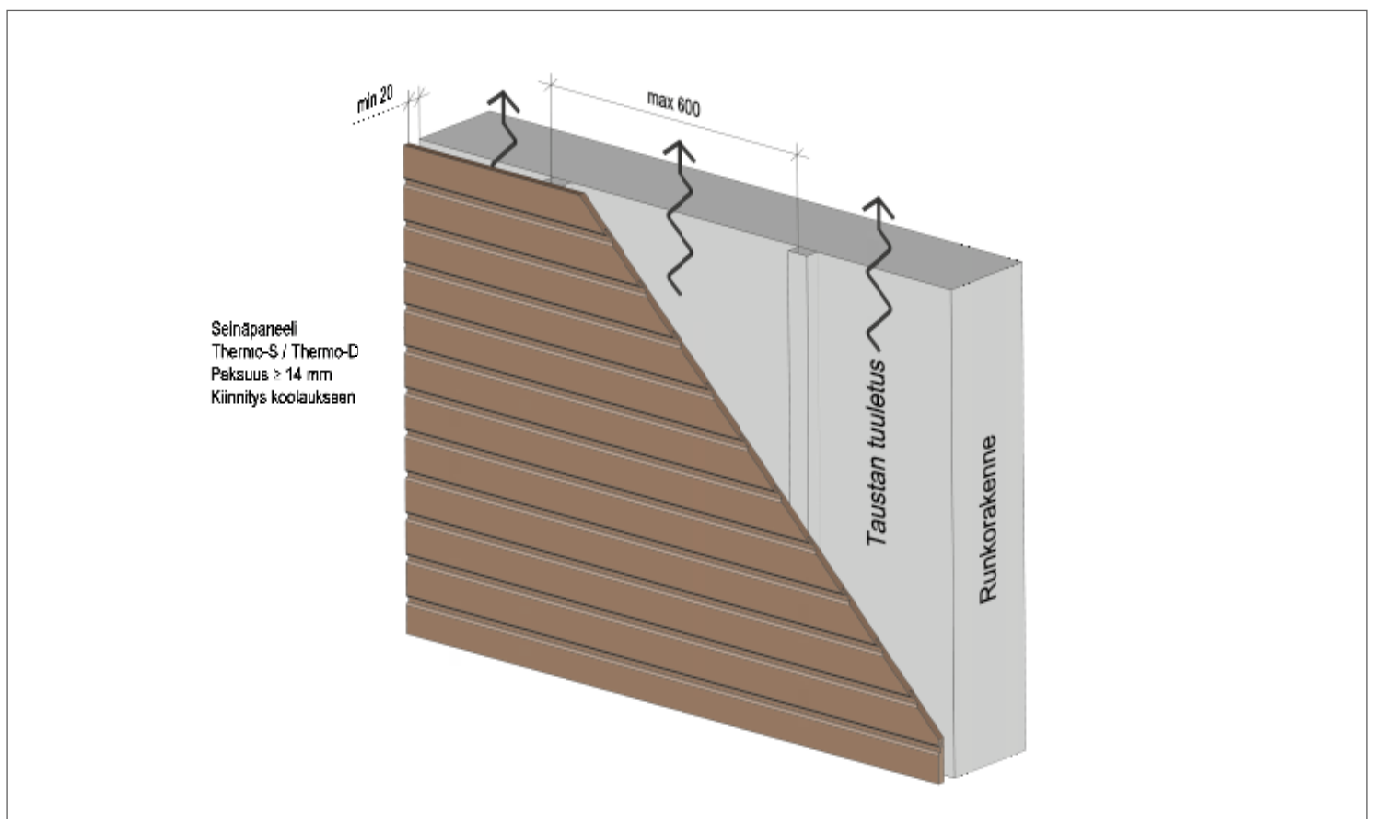
Kuva 39. Esimerkki seinäverhouksesta sisätilassa.



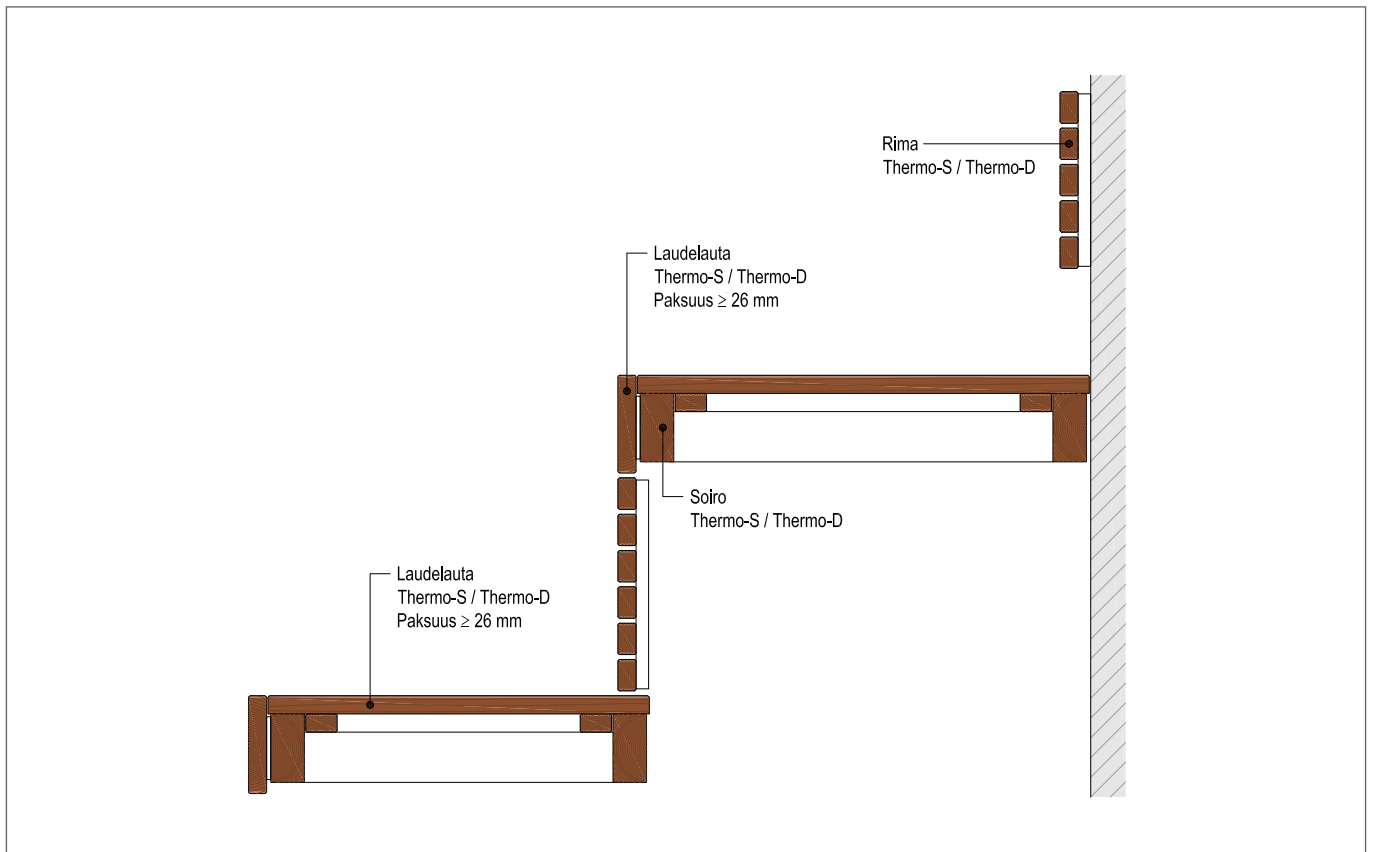
Kuva 40. ThermoWood®-tuotteita kahvilan sisustuksessa (Venäjä).



Kuva 41. Esimerkki saunan kattoverhouksesta.



Kuva 42. Esimerkki saunan seinäverhouksesta.



Kuva 43. Esimerkki saunan lauderakenteista.

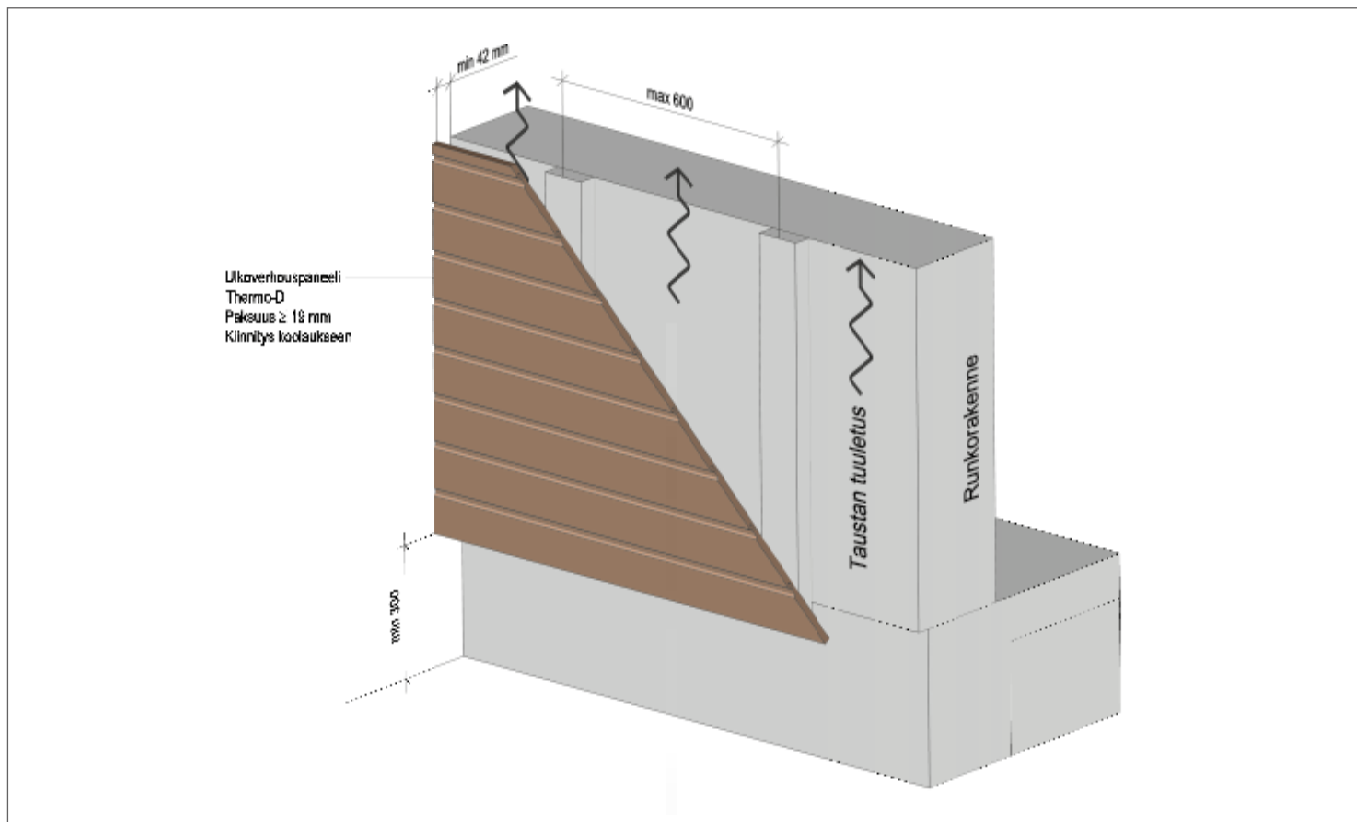


Kuva 44. ThermoWood®-tuotteita saunassa.

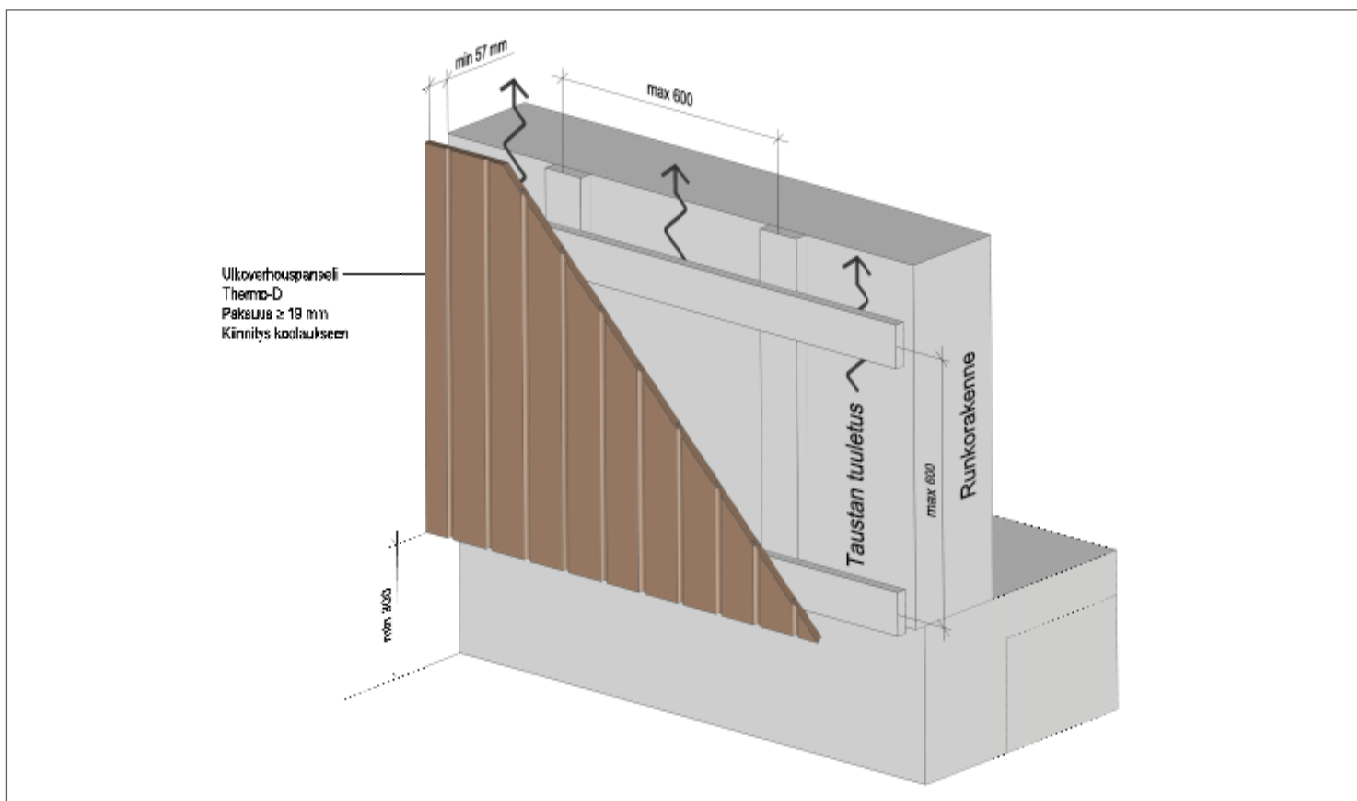
8.2 ULKOKÄYTTÖ

ThermoWood®-tuotteiden tasapainokosteus on alhainen ja kosteuseläminen vähäistä, joten sisä- ja ulkoverhouspaneelin paksuus voi olla ohuempi kuin lämpömodifioimattomien puutuottei-

den tapauksessa. Ulkoverhouksen tausta tulee aina olla tuuletettu ja tuotteet tulee kiinnittää riittävän tukevaan koolaukseen.



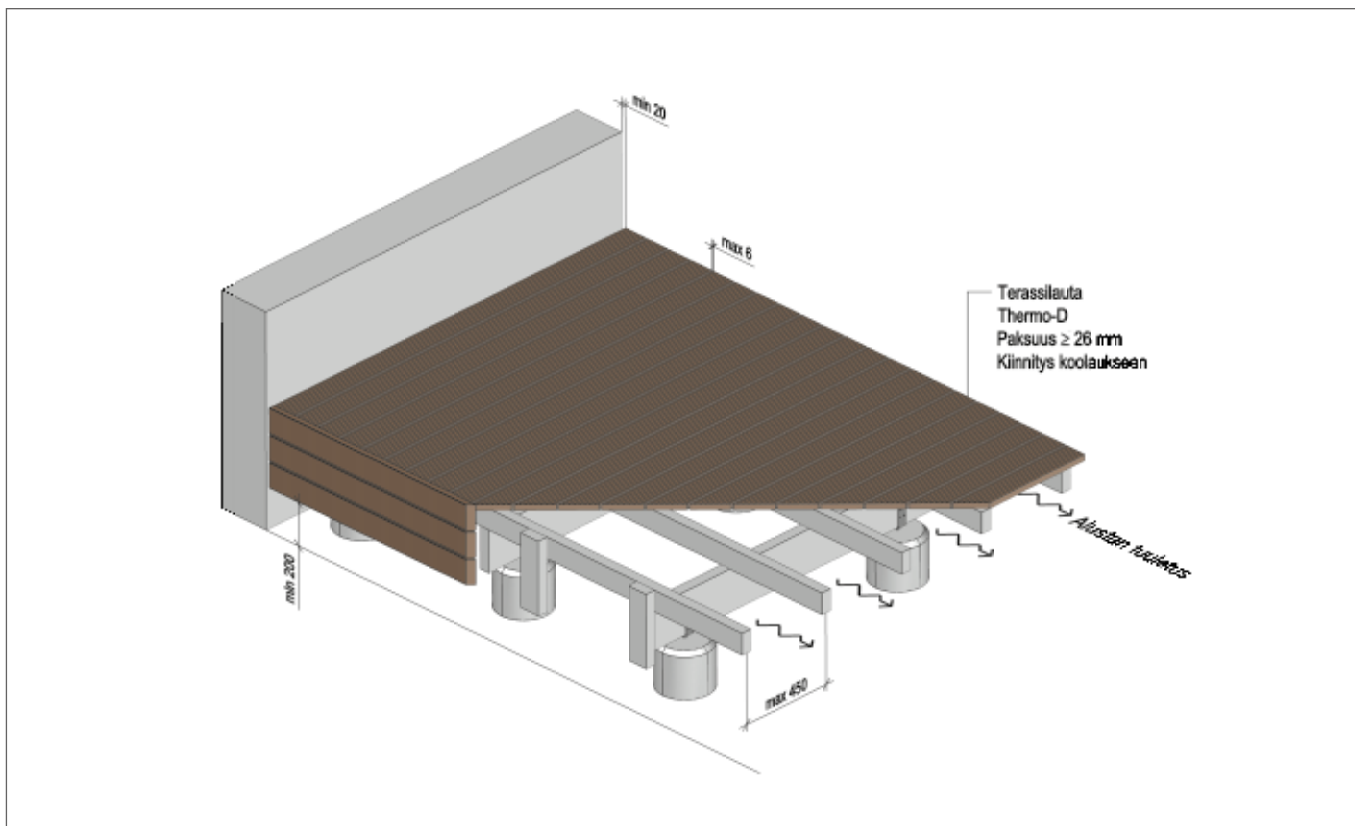
Kuva 45. Esimerkki ulkoverhouksesta.



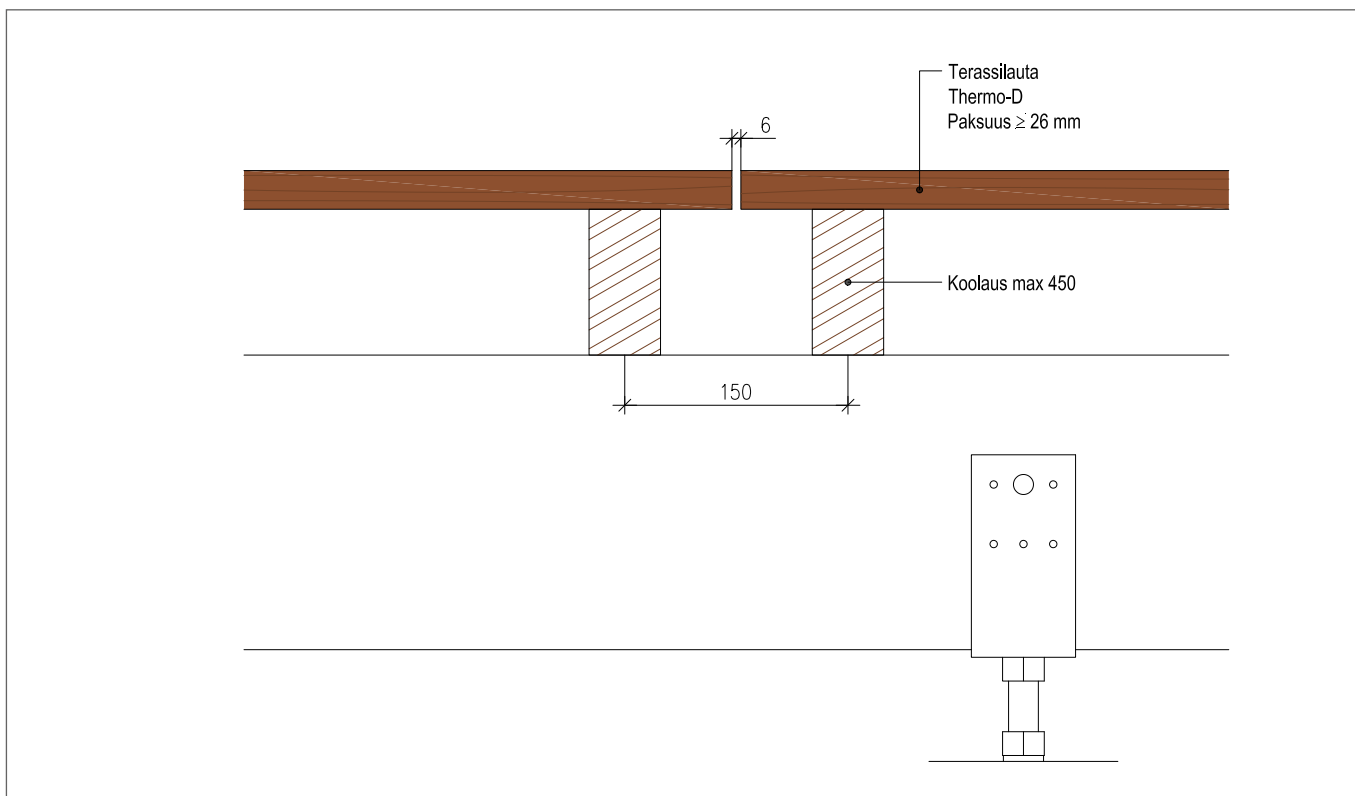
Kuva 46. Esimerkki ulkoverhouksesta.



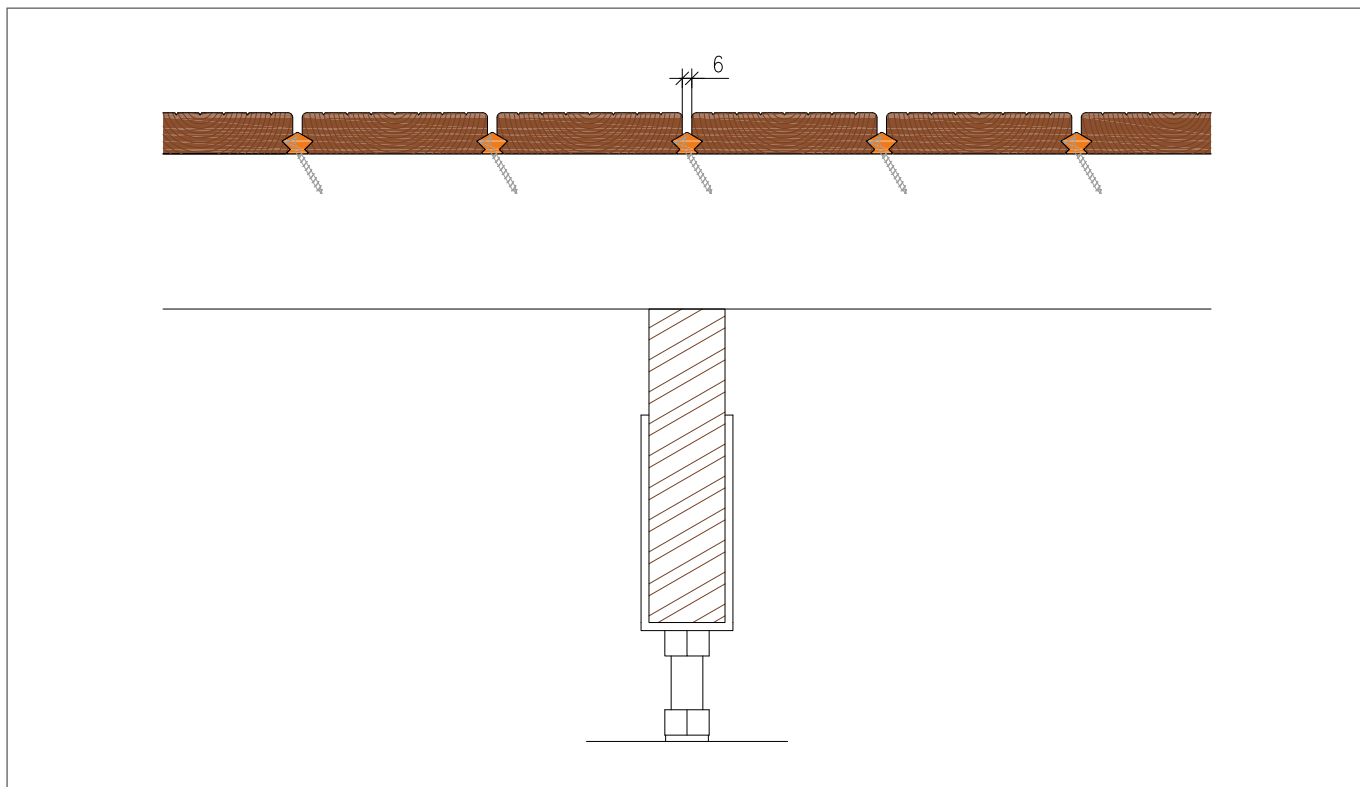
Kuva 47. ThermoWood®-ulkoverhous (Turkki).



Kuva 48. Esimerkki terassirakenteesta.



Kuva 49. Terassilaudan jatkos.



Kuva 50. Terassilaudan piilokiinnitys.



Kuva 51. ThermoWood®-terassi.



ThermoWood®-

VERHOUSTUOTTEIDEN ASENTAMINEN

ThermoWood®-tuotteet asennetaan aina valmistajan ohjeiden mukaisesti. Seuraavissa kohdissa on esitetty joitakin yleisiä ohjeita tuotteiden asentamiseen liittyen. ThermoWood®-tuotteet voidaan asentaa suoraan paketista, joten tuotteita ei tarvitse kosteusteknisesti tasaannuttaa asennusympäristössä.

9.1 LIITTIMET

ThermoWood®-tuotteiden ph-arvosta (hapan) johtuen liittimien tulee olla vähintään ruostumattomasta teräksestä valmistettuja, jotta vältetään liittimien korrosio. Tämä koskee sekä sisätiloissa että ulkotiloissa olevia tuotteita. Lämpöpuun yhteydessä voidaan käyttää myös haponkestävästä teräksestä valmistettuja liittimiä.

Muut kuin edellä mainitut ruostumattomat tai haponkestävät liittimet, voivat aiheuttaa reaktion lämpöpuun kanssa, jonka seurauksena lämpöpuu värjätty liittimien ympäriltä. Yhdistettäessä lämpöpuutuotteita muiden materiaalien kanssa, tulee selvittää materiaalien mahdollinen keskinäinen reaktio.

Taulukossa 11 on esitetty vähimmäisvaatimukset liittimien korrosiosuojaukselle. Ruostumattoman ja haponkestävän teräksen yleisimmät luokat ovat seuraavat:

- Luokka A2 (AISI 304, EN 1.4301) on yleisin ruostumattoman teräksen luokka
- Luokka A4 (AISI 316, EN 1.4401) on yleisin haponkestävän teräksen luokka

9.2 KIINNITYS

ThermoWood®-tuotteita voidaan kiinnittää perinteiseen tapaan nauloilla ja ruuveilla kuten muitakin puutuotteita. Saatavilla on myös erilaisia piilokiinnitysjärjestelmiä. Naulojen/ruuvien tulee olla pituudeltaan vähintään sellaisia, että ne yltyvät kiinnitysriman/-laudan läpi. Naulat/ruuvit eivät saa kuitenkaan olla liian pitkiä, jotta ne eivät puhkaise esimerkiksi rakenteen ilman- ja höyrnsulkua tms.

Naula- ja ruuvikiinnityksessä liittimen kanta tulee olla tasan tuotteen pinnan kanssa (lukuun ottamatta Dyckert-nauloja). Mikäli ulkoverhous- ja terassilautojen kiinnitykseen käytetään naulainta, tulee naulaimessa olla naulan kannan syvyyden säätö, jotta kanta saadaan tasan tuotteen pinnan kanssa. Tämä on visuaalinen laatu-tekijä, mutta ennen kaikkea tällä estetään veden pääsy liittimen kannan kautta tuotteeseen. Naula- ja ruuvikiinnityksessä tulee myös huolehtia, että liitin ei halkaise tuotetta (liittimien päätyetäisyys). Tarvittaessa liittimille käytetään esiporausta.

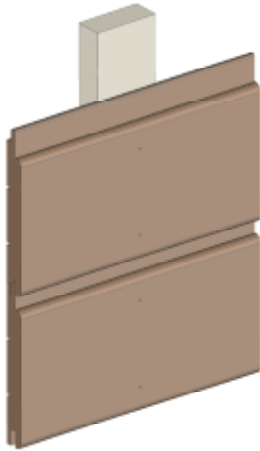
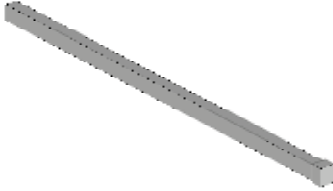
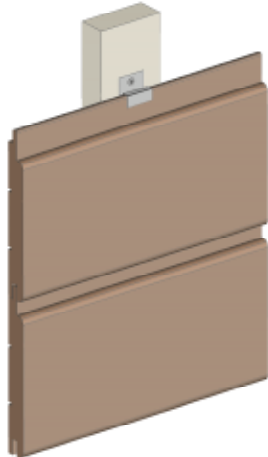
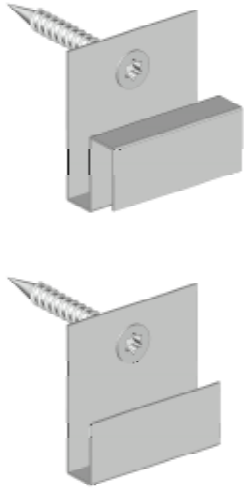
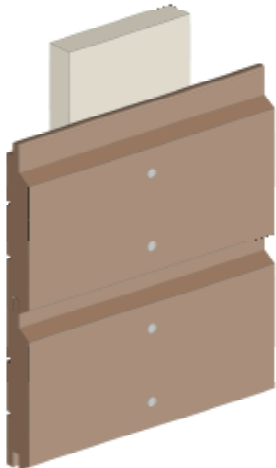
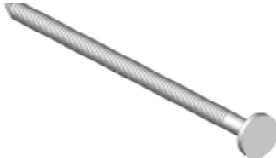
9.3 JATKOKSET

ThermoWood®-tuotteiden jatkokset tehdään siten, että vesi ei pääse imeytymään katkaisupintojen kautta tuotteen sisään. Jatkoksen kohdalla kiinnitystuen tulee olla riittävän leveä, jotta tuotteen läpi asennettavien liittimien vähimmäispäätyetäisyys saadaan täytettyä. Tarvittaessa jatkoksen kohdalla käytetään kahta erillistä kiinnitystukea rinnakkain (ks. kuva 52). Päätypontatuissa ulkoverhouspaneelissa täysponttijatkokset voidaan tehdä kiinnitystuen vieressä, jolloin liittimien päätyetäisyys saadaan helposti riittäväksi (ks. kuva 53).

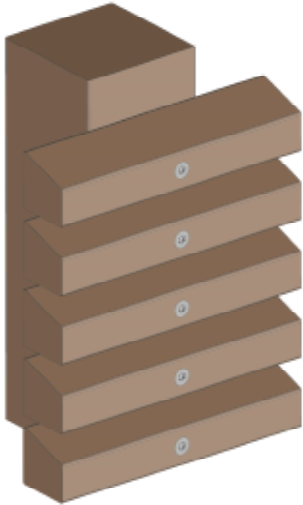

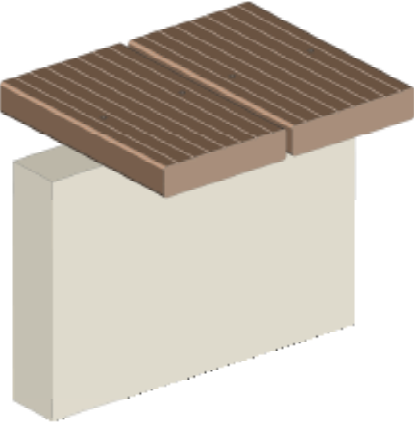

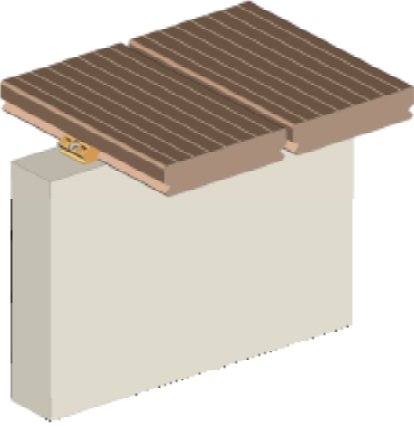
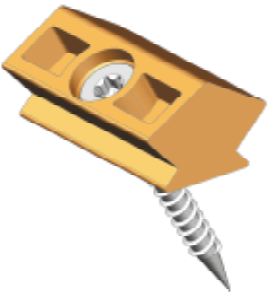
Taulukko 11. Vähimmäisvaatimukset liittimien korrosiosuojaukselle ThermoWood®-tuotteiden yhteydessä.

Kohde	Luokka	Laatu	Tyyppi
Seinä- ja kattoverhoilu (kuiva tila)	A2	AISI 304 (EN 1.4301)	Ruostumaton teräs
Lattia (kuiva tila)	A2	AISI 304 (EN 1.4301)	Ruostumaton teräs
Kylpyhuoneen seinä- ja kattoverhoilu	A2	AISI 304 (EN 1.4301)	Ruostumaton teräs
Saunan seinä- ja kattoverhoilu	A2	AISI 304 (EN 1.4301)	Ruostumaton teräs
Saunan lauteet	A2	AISI 304 (EN 1.4301)	Ruostumaton teräs
Terassilaudoitus	A2	AISI 304 (EN 1.4301)	Ruostumaton teräs
Ulkoverhous	A2	AISI 304 (EN 1.4301)	Ruostumaton teräs

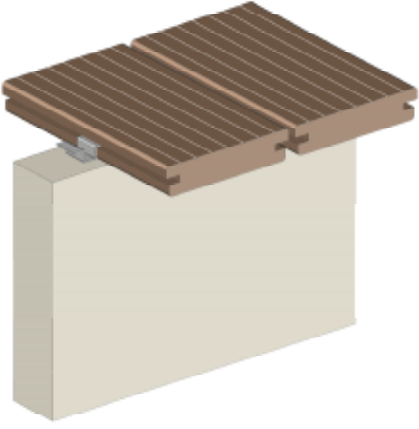
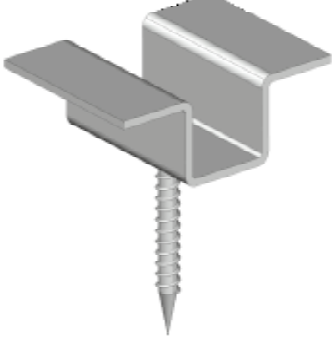

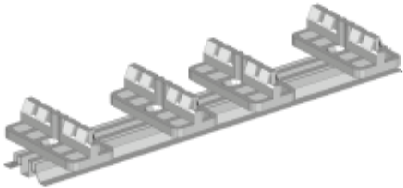
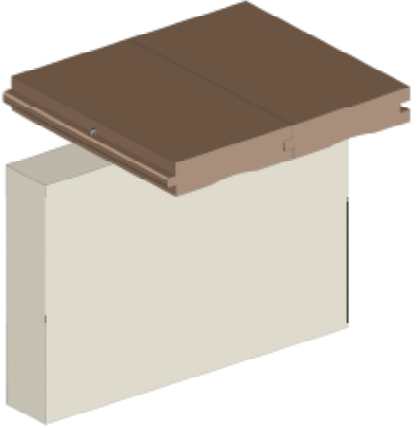

Taulukko 12. Esimerkkejä kiinnitystavoista

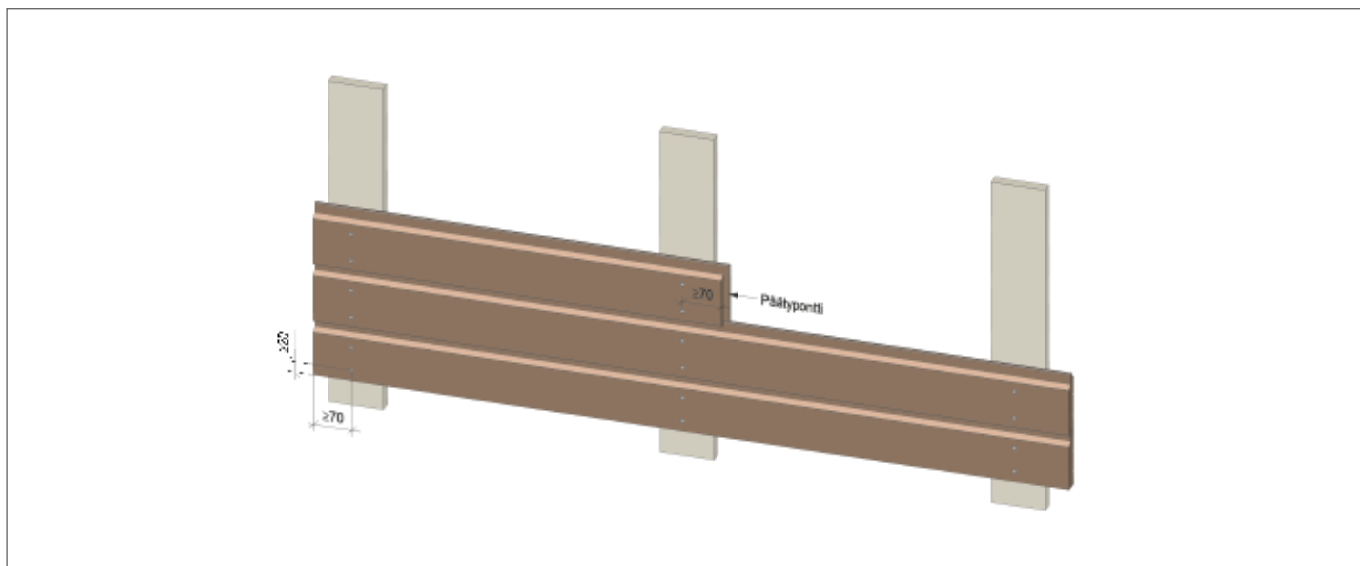
Kiinnitystapa	Liitin	Ohjeita
<p>Näkyvä kiinnitys tuotteen lappeen läpi</p> 	<p>Dyckert</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Seinä- ja kattoverhoukset sisätiloissa • Saatavilla on myös tuotteita, jotka kiinnitetään pontista (piilokiinnitys) • Liittimien kannat upotetaan noin 1 mm:n syvyydelle tuotteen pinnasta lukien • Vähintään yksi liitin, kun paneelin leveys ≤ 117 mm • Kaksi liitintä, kun paneelin leveys >117 mm
<p>Piilokiinnitys</p> 	<p>Klipsit</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Seinä- ja kattoverhoukset sisätiloissa • Seinä- ja kattoverhoukset ulkotilassa • Pystysuuntaisessa verhouksessa tulee varmistaa, että verhoustuotteet eivät pääse liukumaan pystysuunnassa (tuki verhoustuotteen alapäässä tai erillinen naula/ruuvikiinnitys verhoustuotteen ala- tai yläpäässä)
<p>Näkyvä kiinnitys tuotteen lappeen läpi</p> 	<p>Täysikantainen kampanaula</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Seinä- ja kattoverhoukset ulkotilassa • Saatavilla on myös tuotteita, jotka kiinnitetään pontista (piilokiinnitys) • Mikäli käytetään esiporausta, on esiporausreiän halkaisija $0,5d \dots 0,8d$ (d = naulan paksuus) • Vähintään yksi liitin, kun paneelin leveys ≤ 117 mm • Kaksi liitintä, kun paneelin leveys >117 mm

Taulukko 12. Esimerkkejä kiinnitystavoista

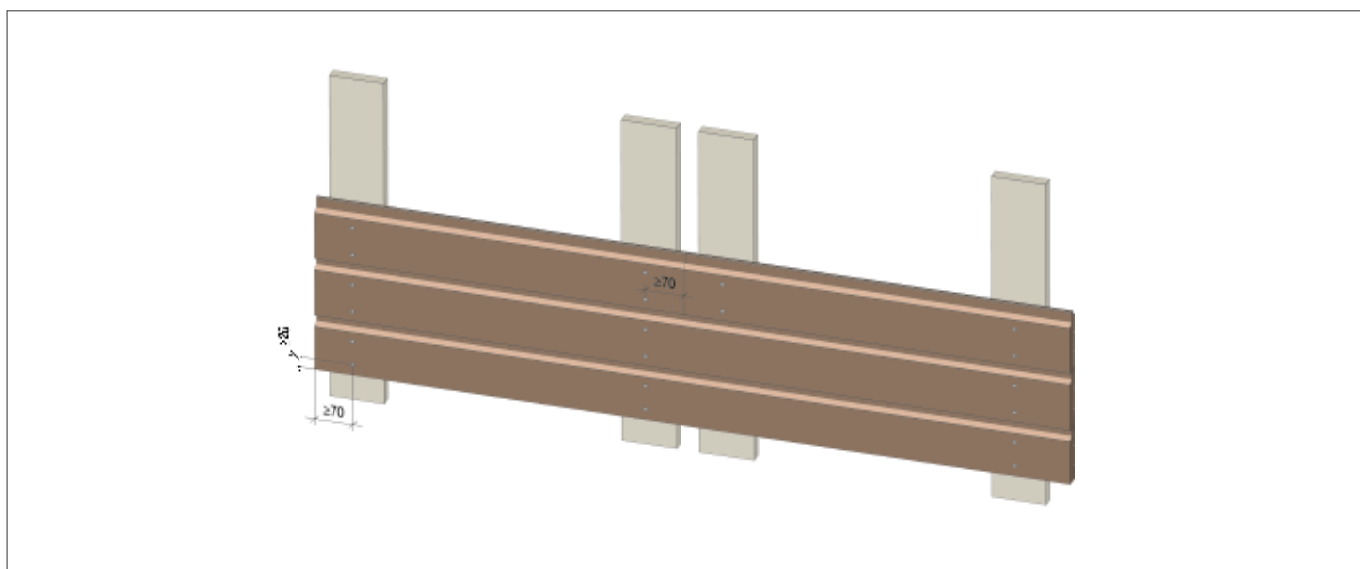
Kiinnitystapa	Liitin	Ohjeita
<p>Näkyvä kiinnitys tuotteen lappeen läpi</p> 	<p>Ruuvi</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Rimaverhoukset ulkotilassa • Mikäli käytetään esiporausta, on esiporausreiän halkaisija $0,5d \dots 0,7d$ (d = ruuvien paksuus), mutta enintään ruuvien kierteisen osa sisähalkaisija
<p>Näkyvä kiinnitys tuotteen lappeen läpi</p> 	<p>Terassiruuvi (värillisiä saatavilla)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Terassilaudoitukset • Laiturilaudoitukset • Mikäli käytetään esiporausta, on esiporausreiän halkaisija $0,5d \dots 0,7d$ (d = ruuvien paksuus), mutta enintään ruuvien kierteisen osa sisähalkaisija • Kiinnitys aina kahdella ruuvilla
<p>Piilokiinnitys</p> 	<p>Profix (Lunawood)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Terassilaudoitukset • Laiturilaudoitukset • Profix on Lunawood Oy:n tuote, joten se on yhteensopiva vain Lunawood-tuotteiden kanssa

Taulukko 12. Esimerkkejä kiinnitystavoista

Kiinnitystapa	Liitin	Ohjeita
<p>Piilokiinnitys</p> 	<p>Klipsi</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Terassilaudoitukset • Laiturilaudoitukset
<p>Piilokiinnitys</p> 	<p>Klipsi</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Terassilaudoitukset • Laiturilaudoitukset
<p>Piilokiinnitys pontista</p> 	<p>Senkkaava ruuvi</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Lattiat sisätiloissa • Mikäli käytetään esiporausta, on esiporausreiän halkaisija $0,5d \dots 0,7d$ (d = ruuvien paksuus), mutta enintään ruuvien kierteisen osa sisähalkaisija



Kuva 52. Suositeltavat reuna- ja päätyetäisyydet ilman esiporausta ThermoWood®-tuotteiden yhteydessä.



Kuva 53. Suositeltavat reuna- ja päätyetäisyydet ilman esiporausta ThermoWood®-tuotteiden yhteydessä (ilman päättyönttiä).

10 ThermoWood® PUUSEPÄNTEOLLISUUDESSA

Jalopuumaisen värinsä ja kosteusteknisen stabiiliutensa ansiosta ThermoWood®-sahatavara sopii hyvin kalusteiden raaka-aineeksi. Tyypillisiä lopputuotteita ovat huonekalut sekä erilaiset ulkotilan kalusteet.



Kuva 54. ThermoWood®-ikkunaluukkuja.



Kuva 55. ThermoWood®-penkki.



Kuva 56. ThermoWood®-penkki.



Kuva 57. ThermoWood® tasomateriaalina.

11 REFERENSSEJÄ

ThermoWood®-tuotteita on käytetty menestyksekkäästi ympäri maailmaa erilaisissa kohteissa. Seuraavassa esitellään joitakin kotimaisia ja ulkomaisia kohteita.



Kuva 58. ThermoWood®-tuotteita hotellin terasseissa ja ulkooverhouksissa (Turkki).



Kuva 59. ThermoWood®-ulkooverhous ravintolan seinässä (Liettua).



Kuva 60. Ulkoverhous ThermoWood®-tuotteesta (Turkki).



Kuva 61. Luontaisesti harmaantunut ThermoWood®-ulkoverhous (Portugal).



Kuva 62. ThermoWood®-ulkoverhous.



Kuva 63. ThermoWood®-ulkoverhous kauppakeskuksen seinässä (Espanja).



Kuva 64. ThermoWood®-sisäverhous pohjoismaisesta kuusesta, tuoteluokka Thermo-S.



Kuva 65. ThermoWood®-saunanlauteet.



Kuva 66. ThermoWood®-rimoitus parvekkeen kaitteessa.



Kuva 67. ThermoWood®-ulkoverhous kirkon seinässä (Portugal).



Kuva 68. ThermoWood®-ulkoverhous (Alankomaat).



Kuva 69. ThermoWood®-ulkoverhous (Belgia).



Kuva 70. ThermoWood®-ulkoverhous (Belgia).



Kuva 71. ThermoWood®-terassi (Suomi).

12 LISÄTIETOJA

Lämpöpuuyhdistys ry

Lämpöpuuyhdistyksen jäsenten yhteystiedot löytyvät Lämpöpuuyhdistyksen [www-sivuilta](http://www.sivuilta).
www.thermowood.fi

KÄSIKIRJASSA KÄYTETYT VALOKUVAT

- Kuva 1 Lunawood, Projekti: Centro Escolar de Mouriz, arkkitehti: CNLL Architects / Nuno Lacerda, Portugali 2010, valokuvaaja: Fernando Guerra FG+SG
- Kuva 2 Lunawood, Inspiroiva Creative
- Kuva 4 Lunawood, valokuvaaja: Sami Tirkkonen
- Kuva 6 Jartek Invest Oy
- Kuva 7 Jartek Invest Oy
- Kuva 8 Lunawood, valokuvaaja: STOODIO Oy
- Kuva 12 Lunawood, valokuvaaja: Lunawood
- Kuva 15 Lunawood, valokuvaaja: Lunawood
- Kuva 16 Lunawood, valokuvaaja: Lunawood
- Kuva 17 Lunawood, valokuvaaja: Lunawood
- Kuva 18 Lunawood, valokuvaaja: Lunawood
- Kuva 19 Tantimber
- Kuva 20 Tantimber
- Kuva 21 Tantimber, arkkitehti: Mustafa Cicek, valokuvaaja: Cicek Insaat, Turkey - Izmir 2018
- Kuva 33 Lunawood, Projekti: Hotel Gustavelund, Suomi 2019, valokuvaaja: Sami Tirkkonen
- Kuva 36 Lunawood, valokuvaaja: Lunawood
- Kuva 38 Lunawood, Projekti: Gerês house, arkkitehti: Carvalho Araújo, Portugali 2015, valokuvaaja: NUDO
- Kuva 40 Lunawood, Projekti: Café Geometry Of Taste, arkkitehti: Natalia Reznik, Venäjä 2019, valokuvaaja: Lunawood
- Kuva 44 SWM-Wood
- Kuva 47 Tantimber, Turkki
- Kuva 51 Lunawood, arkkitehti: Plusarkkitehdit, Suomi 2016, valokuvaaja: Kuvio Ltd
- Kuva 54 SWM-Wood
- Kuva 55 Lunawood, Projekti: Urban Furniture VDNH Park Moscow, Punto Design, Venäjä 2019, valokuvaaja: Lunawood
- Kuva 56 Lunawood, Projekti: Urban Furniture VDNH Park Moscow, Punto Design, Venäjä 2019, valokuvaaja: Lunawood
- Kuva 57 Tantimber
- Kuva 58 Tantimber, arkkitehti: Mustafa Cicek, valokuvaaja: Cicek Insaat, Turkey - Izmir 2018
- Kuva 59 Lunawood, Projekti: Foodcourt&Square, arkkitehti: Do Architects, Liettua 2014, valokuvaaja: Norbert Tukaj
- Kuva 60 Tantimber, valokuvaaja: Tantimber, Turkey -Istanbul, 2018
- Kuva 61 Lunawood, Projekti: RV House, arkkitehti: Marta Rocha & Fabien Vacelet, Portugali 2015, valokuvaaja: Tiago Casanova
- Kuva 62 SWM-Wood
- Kuva 63 Lunawood, Projekti: Mercat Barcelona, arkkitehti: Maria Manrique & Gisela Planas, Espanja 2016, valokuvaaja: Pere Virgili
- Kuva 64 Lunawood, valokuvaaja: Lunawood
- Kuva 65 SWM-Wood
- Kuva 66 SWM-Wood
- Kuva 67 Lunawood, Projekti: S. Pedro De Avioso Chapel, arkkitehti: Susana Carvalho, Portugali 2018, valokuvaaja: Fábio Silva, Banema
- Kuva 68 LDCwood, Projekti: Visiter centre A.Vogel, Zwaluwenburg, Netherlands, ThermoWood® fraké - Thermo-D, arkkitehti: Johan Hofman
- Kuva 69 LDCwood, Projekti: AG Campus, Brussels, Belgium, ThermoWood® pine - Thermo-D, palosuojakäsittely paikan päällä, arkkitehti: EVR Architecten
- Kuva 70 LDCwood, Projekti: Sports club, Ghent, Belgium, ThermoWood® pine - Thermo-D, palosuojakäsittely paikan päällä, arkkitehti: Servaas Vertongen
- Kuva 71 Lämpöpuuyhdistys ry



LämpöPuu

YHDISTYS RY

Tähän käsikirjaan on koottu keskeinen tieto ThermoWood®-tuotemerkin alla olevista lämpömodifioiduista puutuotteista. Tarkoituksena on antaa puolueetonta tietoa ThermoWood®-tuotteista ja niiden käytöstä.

Kohderyhminä ovat arkkitehti- ja rakennesuunnittelijat, jälleenmyyjät, komponentti- ja elementtivalmistajat, urakoitsijat, puusepät sekä oppilaitokset.

Rakennustuotteiden Laatu Säätiö SR on taloudellisesti tukenut käsikirjan laatimista.

