

PALOSUOJAUKSELLA UUTTA LIIKE- TOIMINTAA LÄMPÖPUUKLUSTERILLE

Tutkimusraportti

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu
2017-2019



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO HANKKEESEEN	1
2	HANKKEEN TOIMINNAN TIIVISTELMÄ.....	2
3	THERMOWOOD -KOEMATERIAALIT	4
4	KOEKÄSITTELYT	8
4.1	Kyllästyskäsittely	8
4.2	Pintakäsittely	12
4.3	Hankkeen pienen mittakaavan koekäsittelyt	13
4.4	Ison mittakaavan koekäsittelyt SBI kokeisiin	18
5	ISO 5660-1 KARTIOKALORIMETRIKOKKEET	27
6	SÄÄRASITUS JA PALOKÄYTTÄYTYMISEN PITKÄAIKAISKESTO (EN 16755)	32
6.1	Hygroskooppisuustesti (NT BUILD 504)	34
6.2	EN 927-6 säärasitus ja ISO 5660-1	36
7	SBI JA PIENEN LIEKIN PALOKOKKEET	42
8	YHTEENVETOJA JA POHDINTAA	57
	LÄHTEET / STANDARDIT	60

LIITTEET

Thermo-D Pine Reference / ISO 5660-1 tulokset

Thermo-D Spruce Reference / ISO 5660-1 tulokset

Sisäpuolisten pintojen luokkavaatimukset (848/2017)

Ulkoseinän ulkopinnan ja tuuletusvälin pintojen luokkavaatimukset (848/2017)

Thermo-D Spruce TGV-profile (EN 13501-1 luokitusraportti)

SBI-tulokset: Thermo-D pine UTV (vertical)

SBI-tulokset: Thermo-D pine UTV (horizontal)

1 JOHDANTO HANKKEESEEN

Puu on palava materiaali, mutta puun palaessa, sen pintaan syntyy paloa hidastava hiilikerros. Puu syttyy 250...300 °C:ssa, mutta syttymislämpötilaan vaikuttaa lämmölle altistumisaika. Puu on kuitenkin paloturvallinen rakennusmateriaali, koska sen käyttäytyminen palotilanteessa tunnetaan hyvin. Suomessa rakennusten palokuormaa, eli tilassa olevan aineen palaessa vapautuvaa kokonaislämpömäärää, on säännöksillä rajoitettu lähes kaikissa rakennuksissa lukuun ottamatta omakotitaloja ja muita pienrakennuksia. Palokuorma on myös merkittävä puun käyttöä rajoittava tekijä julkisissa rakennuksissa sekä työpaikka- että teollisuusrakennuksissa etenkin sisätiloissa. Rakenteille asetetut palonkestovaatimukset ovat kuitenkin samat materiaalista riippumatta ja näin ollen palonsuojauksella voidaan lisätä puun käyttöä merkittävästi.

Rakennusten sisä- ja ulkopinnoille on asetettu luokkavaatimuksia. Rakennustarvikkeen pintaluokalla on suuri merkitys palon leviämiseen, lämmöntuottoon, lieskahduksen alkamishetkeen sekä savun ja palavien pisaroiden muodostumiseen. Rakennustarvikkeella saavutettavaan pintaluokkaan vaikuttaa suuresti asennustapa, tuotteen tiheys ja paksuus sekä alustarakenne. Palosuojaamaton sahatavara saa yleensä pintaluokaksi D-s2, d0. Palosuojauksella voidaan saavuttaa puumateriaaleille B-s1,d0 luokka. B-luokan palosuojaus laajentaa puumateriaalien käytettävyyttä julkisessa rakentamisessa.

Lämpöpuulla on kaksi iso etua normaaliin puutavaraan verrattuna: keveytensä vuoksi lämpöpuutuotteiden palokuorman tiheys, eli palokuorma pinta-alayksikköä kohden, on pienempi kuin muilla puutuotteilla. Toinen etu on, että lämpöpuu on kyllästettävissä palosuoja-aineilla huomattavasti helpommin kuin normaalit puutuotteet. Tähän saakka lämpöpuun palokäyttäytymistä sellaisenaan tai palosuoja-aineilla suojattuna on tutkittu vain vähän. Siksi tämän hankkeen tavoitteena onkin kehittää lämpöpuun palosuojausta. Tässä hankkeessa keskityttiin tutkimaan Thermo-D männyn sekä Thermo-D kuusen palo-ominaisuuksia ulkoverhoustuotteena. Hanke toteutettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoululla Mikkeliissä (Xamk).

Hanketta rahoittivat Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta sekä Lämpöpuuyhdistys Ry, Kiilto Oy, Nordtreat AS, Multipro system, Teknos Oy ja Palonot Oy.

2 HANKKEEN TOIMINNAN TIIVISTELMÄ

Palosuojauksella uutta liiketoimintaa lämpöpuuklusterille-hankkeessa oli pääasiassa kyse lämpökäsittelyn puun palo-ominaisuuksien tutkimisessa sekä niiden parantamisessa erilaisilla palonsuoja-aineilla. Hankkeessa keskityttiin Thermo-D mäntyyn ja kuuseen, joiden käyttö sekä rakennustuotteena että palosuojauksen kannalta oli kiinnostavinta. Puumateriaalien lisäksi hankkeessa tutkittiin myös palonsuoja-aineiden käyttäytymistä modifiointiprosesseissa. Palonsuoja-aineina käytettiin jo markkinoille kehitettyjä tai kehitteillä olevia ympäristöystävällisiä kemikaaleja. Hankkeen aikana tuli myös selvittää ja huomioida eri standardinmukaiset testausmenettelyt sekä rakennusmääräysten asettamat vaatimukset tutkittaville materiaaleille. Nämä menettelyt ja vaatimukset on osattava ottaa huomioon tuotekehityksen jokaisessa vaiheessa, jos tavoitteena on hyödyntää laajemmin saatuja tuloksia tuotteiden markkinoinnissa.

Hankkeen tutkimus eteni vaiheittain. Alussa selvitettiin mahdollisia palotestauslaboratorioita sekä testausmenetelmiä maailmalla, jotta saatiin kokonaiskuvaa palotestausmenetelmistä. Ensimmäisessä vaiheessa kartoitettiin ja rajattiin myös koemateriaalit sekä kiinnostavimmat markkina-alueet. Kartoitus ja rajaaminen toteutettiin lämpöpuuyhdistyksen jäsenyrityksille laaditun markkinakyselyn perusteella. Kyselyn perusteella päätettiin tutkittavat dimensiot ja profiilit sekä markkina-alueeksi valittiin Euroopan markkinat. Samalla laadittiin kysely myös hankkeessa mukana oleville palonsuoja-ainetta valmistaville yrityksille. Tällä kyselyllä kartoitettiin kemikaalien ominaisuuksia ja niiden mahdollisia vaatimuksia koemateriaalille tai käsittelymenetelmille. Näiden kartoitusten pohjalta alettiin selvittää palo- sekä rakennusmääräyksiä ajatellen valittuja tuotteita. Lämpöpuuyhdistyksen jäsenyritysten kanssa perustettiin materiaalityöryhmä, jossa sovittiin koemateriaalien toimittamisesta hankkeen tutkimuksiin puulaboratoriolle. Ensin sovittiin koemateriaalit alustaviin pienen mittakaavan koekäsittelyihin ja myöhemmässä vaiheessa koemateriaalien toimittamisesta isomman mittakaavan koekäsittelyihin. Koemateriaalit vastasivat teollista lämpöpuutuotantoa, joten tulosten hyödynnettävyys säilyy koko lämpöpuuklusterissa.

Varsinaiset koekäsittelyt aloitettiin ns. pienen mittakaavan koekäsittelyillä, jotka pystyttiin aloittamaan pienemmällä koekappaleilla sekä pienemmällä määrällä palonsuoja-aineita. Käsittelymenetelminä käytettiin pintakäsittelyä ja kyllästysmodifiointia. Pienen mittakaavan koekäsittelyillä tutkittiin pääasiassa palonsuoja-aineen käyttäytymistä erilaisissa prosesseissa. Prosessiparametreja muuntele-

malla pyrittiin myös haarukoimaan optimaalista ainemäärää ajatellen lopullista paloluokkaa. Haaru-
koinnin yhteydessä koekappaleita lähetettiin palokokeisiin. Palosuojauskäsittelyiden optimoinnin
sekä tämän yhteydessä tehtyjen pienen mittakaavan palokokeiden perusteella toteutettiin koemateri-
aalien ison mittakaavan koekäsittelyt. Ison mittakaavan koekäsittelyillä tuotettiin koemateriaalia pa-
loluokituskokeisiin. Käsittelymenetelmien tutkimisessa hyödynnettiin Kaakkois-Suomen ammatti-
korkeakoulun tutkimusympäristöä sekä puolaboratorion monipuolisia koekäsittelylaitteistoja.

Pienen mittakaavan palokokeena käytettiin kartiokalomietrikokeita, joka on yleisesti käytetty mene-
telmä tuotekehityksessä. Kartiokalomietrikokeilla saatiin pääasiassa testattua tuotteesta vapautuvaa
lämpöä (heat release rate ja total heat release), kun tuotetta altistetaan lämpösäteilylle. Kartiokalori-
metrikokeen tulosten perusteella on kuitenkin vaikea ennustaa lopullista paloluokkaa, koska koekap-
paleet ovat pieniä ja testausmenetelmä poikkeaa varsinaisista liekillä tehtävistä paloluokituskokeista.
Tästä syntyi hyvä mahdollisuus kehittää tulosten vertailua ja viedä niistä kokemuksia yrityksiin.
Näillä palokokeilla saatiin myös vertailutulokset palosuojauksen pitkäaikaistestien tutkimiselle.
Hankkeen aikana testattiin myös uusien palotestausmenetelmien soveltuvuutta. Näissä tuotteiden ha-
joamislämpötiloja, massahäviöitä ja lämmönvapautumista tutkittiin TGA ja DCS menetelmillä. Palo-
luokituskokeena toimivat standardienmukaiset SBI- sekä pienen liekin polttokokeet. Kokeissa mita-
taan mm. testattavasta tuotteesta vapautuvaa lämpöä, liekin etenemistä, savun muodostumista ja mah-
dollisia palavien pisaroiden esiintymistä palotilanteessa. Näillä palokokeilla saatiin myös lopullinen
varmistus palosuoja-aineen sekä koemateriaalin käyttäytymisestä palotilanteessa. Palonsuoja-aineilla
saatiin nostettua lämpöpuun paloluokka D/E-luokasta B luokkaan. Ensimmäisten SBI-palokokeiden
perusteella alettiin myös optimoida kemikaalivalmistajien toimesta palonsuoja-aineita ajatellen palo-
suojattua ThermoWood tuotetta. Varsinaiset standardienmukaiset SBI sekä pienen liekin polttokokeet
suoritettiin akkreditoidussa palolaboratoriossa.

Tulosten hyödynnettävyyden kannalta on tärkeää osata koko ketju alkaen testattavan tuotteen valmis-
tusmenetelmistä sekä koekappaleiden valinnasta aina lopulliseen testaamiseen asti. Tulisi myös tietää
kuinka tuote tullaan asentamaan loppukäyttökohteessa tai ohjeistamaan asennus riittävällä tarkkuu-
della, jotta palokokeet osattaisiin toteuttaa oikeilla menetelmillä. Palotestauksen osalta on myös osat-
tava valita tuotteelle oikeat testit ajatellen loppukäyttökohdetta ja sen mahdollista altistumista palolle.
Testattavien näytteiden valinta, valintamenettely ja merkitseminen ovat myös erittäin tärkeitä, jotta

tulokset olisivat laajemmin hyödynnettävissä. Hankkeen aikana päivittyi testausohjeistus markkinoille tuotavasta tuotteesta (Position paper:11/2018) sekä palosuojauksen pitkäaikaiskestoon liittyvä standardi. Myös ympäristöministeriö päivitti paloturvallisuusohjeita koskien asuin ja toimitilarakentamista ja päivitetty asetus astui voimaan 1.1.2018. Puuinfo on julkaissut Ympäristöministeriön asetuksen 848/2017 perusteella ”Paloturvallinen puutalo-Asuin ja toimitilarakentaminen”-ohjeen. Tämä ohje antaa käytännönläheisiä neuvoja ja ohjeita paloturvallisen puurakennuksen suunnitteluun. Markkinatutkimusten mukaan palosuojattujen tuotteiden markkinat tulevat kasvamaan lähivuosina, joten ison mittakaavan koekäsittelyistä sekä SBI-palokokeista saatiin yrityksille konkreettisia tuloksia hyödynnettäväksi tuotteiden markkinointiin.

3 THERMOWOOD -KOEMATERIAALIT

ThermoWood® on valmistettu täysin kemikaalivapaasti käyttämällä ainoastaan korkeita lämpötiloja sekä vesihöyryä. Lämpökäsittelyprosessi parantaa puun mittapysyvyyttä, lahonkestoa sekä tuote on myös pihkaton prosessin jälkeen. ThermoWood tuotteet soveltuvat sekä ulko- että sisäkäyttöön. ThermoWood materiaalit luokitellaan kahteen lämpökäsittelyluokkaan, jotka ovat Thermo-S (Stability) ja Thermo-D (Durability). Havu ja lehtipuut luokitellaan vielä erikseen omiin tuoteluokkiin, koska niiden ominaisuuden poikkeavat toisistaan. Thermo-D luokan materiaalin kosteus on käsittelyn jälkeen noin 4-7%. Hankkeessa keskityttiin tutkimaan Thermo-D kuusta sekä mäntyä (ulkoverhoustuotteet), koska niiden käyttö on tällä hetkellä yleisintä ajatellen lämpöpuutuotteiden puurakentamista ja palosuojausta.

Lämpöpuuyhdistyksen jäsenyritysten kanssa perustettiin ns. materiaalityöryhmä, jossa sovittiin tutkittavien materiaalien toimittamisesta Xamkin puulaboratoriolle (Mikkeli). Materiaalityöryhmässä valittiin myös lopulliset testattavat dimensiot ja profiilit. Hankkeen puumateriaalit saatiin Lunawood Oy:n lämpöpuutuotannosta. Lunawood Oy on Lämpöpuuyhdistys ry:n yksi jäsenyritys. Pienen mittakaavan kokeissa käytettiin sahapintaista 25 mm x 125 mm koemateriaalia (kuva1). Ison mittakaavan koekäsittelyihin saatiin puumateriaalit myös Lunawood Oy:ltä (kuva 2). Näistä materiaaleista valmistettiin SBI kokeiden koemateriaalit. Kaikki koemateriaalit olivat ThermoWood tuotemerkin mukaisesti valmistettuja ja niistä otettiin myös pakettinumerot ylös, jotta materiaalien alkupään prosessointi olisi jäljitettävissä.



Kuva 1. ThermoWood koemateriaalia. 25mm x 125 mm Thermo-D mänty (pakettinnumero: V1108940) ja Thermo-D kuusi (pakettinnumero: V1108938).



Kuva 2. ThermoWood koemateriaalia. 19 mm x 140 mm UTV Thermo-D mänty (pakettinnumero: V1109265) ja 19 mm x 140 mm TGV Thermo-D kuusi (pakettinnumero: V1109263).

Seuraavissa taulukoissa 1 ja 2 on esitettyä kokeisiin toimitettujen puumateriaalien keskimääräiset tiheydet. Tiheyden ovat laskettu kaikkien vertailumateriaalien sekä käsiteltävien koekappaleiden mitaustuloksista ennen käsittelyä. Taulukossa 1 ja 2 on esitettyä myös hankkeen koemateriaalien tiheyden maksimi ja minimiarvot sekä keskihajonta. Jokaisesta testierästä laskettiin ja merkattiin ylös kappalekohtaiset tiheydet.

Taulukko 1. Thermo-D (25 mm x 125 mm) männyn sekä kuusen keskimääräiset tiheydet.

Wood material density	Avarage kg/m ³	Max kg/m ³	Min kg/m ³	dev kg/m ³
Thermo-D pine	440,3	612,1	355,3	49,3
Thermo-D spruce	415,0	486,0	343,0	33,0

Taulukko 2. Thermo-D (19 mm x 140 mm) männyn sekä kuusen keskimääräiset tiheydet.

SBI Wood material density	Average kg/m³	Max kg/m³	Min kg/m³	dev kg/m³
Thermo-D pine UTV	398,2	520,4	319,1	33,0
Thermo-D spruce TGV	406,7	519,1	319,0	37,8

SBI-palokokeiden koemateriaalit olivat valmiiksi höylättyjä ennen palonsuojauskäsittelyjä. Myös palosuojaamattomat profiilit testattiin palokokeissa. Seuraavissa kuvissa 3 ja 4 on esitettyä hankkeen SBI koemateriaalien profiilit.



Kuva 3. Thermo-D mänty 19 mm x 140 mm UTV-profiili.



Kuva 4. Thermo-D kuusi 19 mm x 140 mm TGV-profiili.

Ison mittakaavan koekäsittelyissä Thermo-D männyn ja kuusen keskeisin ero oli käytetty profiili. Kaikki Thermo-D männyt olivat valmiiksi UTV-profiiliin höylättyjä, kun taas Thermo-D kuuset TGV-profiiliin. Profiileissa UTV ja TGV eroavaisuutena on pontinmitoitus. UTV-profiilissa yhtymäkohdassa jää profiilin ohuimmasta kohdasta suurempi alue näkyviin, kun taas TGV-profiili menee viistettä myöten yhteen. Näin UTV-profiilissa on palopinta-ala tuotteen ohuimmassa kohdassa suurempi. UTV-profiilissa olivat mukana myös tappourat. 19 mm paksun UTV- ja TGV-profiilin ohuin kohta on urospuntissa. UTV profiilissa se on noin 12 mm ja TGV profiilissa noin 13 mm. Seuraavassa kuvassa 5 on kuvat paneelien yhtymäkohdasta.



Kuva 5. Vasemmalla UTV profiilin yhtymäkohta ja oikealla TGV paneelin yhtymäkohta.

4 KOEKÄSITTELYT

4.1 Kyllästyskäsittely

Koekäsittelyissä kemikaalin kulutus on suurinta painekyllästyksessä. Esimerkiksi männyn pintapuuhun voidaan saada Bethel-prosessilla tunkeutumaan vesiliukoisia kemikaaleja jopa 700 kg/m^3 . Puulajin ominaisuuksilla on myös vaikutusta kemikaalin tunkeumaan ja jäämään, sillä tavallisesti kuusi kyllästyy mäntyä selvästi heikommin. Huomioitavaa on myös se, että esimerkiksi männyn pinta- ja sydänpuu käyttäytyvät eri tavalla kyllästyksessä, ja tällä voi olla suuri vaikutus lopulliseen imeytymään ja sen hajontaan.

Bethel-prosessin lisäksi muita yleisesti käytettyjä prosesseja ovat Lowry-, alipaine ja Ruping-prosessit. Kyllästyskäsittelyissä tunkeumaa ja jäämää voidaan säätää yli- ja alipaineen määrällä, kestolla sekä käyttöliuoksen väkevyydellä ja lämpötilalla. Kyllästyksissä kemikaalia tulee varata sen verran, että puut saadaan pysymään liuoksessa koko kyllästysjakson ajan. Kyllästyssylinterin täyttöasteeseen vaikuttaa kyllästyssylinterin tilavuuden lisäksi kuorman rimoitus. Jos tehdään useampi käsittely samalla kemikaalilla, niin tulee myös huomioda kemikaalin kulutus jokaista kyllästettävää erää kohden. Kyllästyskäsittelyissä on etuna se, että käsiteltävät materiaalit saadaan helposti ympärikäsiteltyä tuotteen profiilista riippumatta.

Bethel-prosessi

Bethel-prosessi on täyssolukyllästys, jossa puun soluseinäjä pyritään täyttämään kyllästeellä. Prosessi vaatii tyhjiön, ylipaineen ja kyllästeainetta kestävästä kyllästys sylinterin. Bethel-prosessi on yleisesti käytetty sahatavaran kyllästysmenetelmä.

Bethel-prosessin vaiheet ovat:

1. Alkutyhjiö
2. Ylipainejakso
3. Lopputyhjiö

Prosessi alkaa puumateriaalin siirrolla kyllästys sylinteriin, jonka jälkeen sylinteri suljetaan. Sylinteriin imetään alipaine alipainepumpun avulla, vaihetta kutsutaan yleisesti alkualipainejaksoksi. Prosessin mukaisen alipainearvon saavuttamisen jälkeen on pitovaihe, jossa saavutettu alipaine pidetään vakiona jakson vaatima aika. Jakson loputtua sylinteri täytetään kyllästeellä. Sylinterin täytyttyä alkaa ylipainejakso, jossa kylläste tunkeutuu puuhun pinta-, sivu- ja päätysuunnissa. Ylipaineen määrä ja jakson kesto määräytyvät halutun lopputuloksen mukaisesti. Ylipainejakson jälkeen sylinteri tyhjenetään kyllästeestä ja alkaa loppualipainejakso. Loppualipaineella poistetaan ylimääräinen kylläste puumateriaalin pinnalta, joka vähentää kyllästeen valumista ympäristöön sekä helpottaa kuivausta. Lopuksi paine tasataan ja puumateriaali poistetaan sylinteristä.

Lowry-prosessi

Lowry-prosessin vaiheet ja arvot ovat kuten Bethel-prosessissa, mutta siinä alkutyhjiö jätetään pois. Prosessi vaatii myös sekä ylipaineen että tyhjiön lisäksi kyllästeainetta kestävästä kyllästys sylinterin. Prosessissa on helpompi säädellä tunkeuman tarkempaa syvyyttä ylipainevaiheessa, koska puun solukosta ei imetä alkualipaineella ilmaa pois.

Lowry-prosessin painevaiheet ovat:

1. Ylipainejakso
2. Lopputyhjiö

Alipaine-prosessi (Double vacuum)

Double vacuum -prosessissa tarvitaan alipaineen ja joissain tilanteissa pienen ylipaineen, sekä kyllästysainetta kestävää kyllästysylinteriä. Double vac-prosessissa käytetään alku- ja lopputyhjiötä hyväksi kyllästeen tunkeutumisessa. Menetelmää käytetään lähinnä saamaan käytettävälle kemikaalille vain muutaman millimetrin tunkeuma puussa.

Double vacuum -prosessin vaiheet ovat:

1. Alkualipaine
2. Kyllästysvaiheessa normaali ilmanpaine tai pieni ylipaine
3. Loppualipaine.

Ruping-prosessi

Ruping-prosessissa kyllästyksen alussa painetaan puun sisään ilmaa, jonka suuruudella voidaan säädellä lopullista jäämää kemikaalille puussa. Prosessi vaatii tyhjiön, ylipaineen ja kyllästeainetta kestävän kyllästysylinterin. Ruping-prosesseissa voidaan käyttää myös selvästi korkeampia lämpötiloja, joten käytettävät prosessilämpötilat saattavat asettaa lämpötilanmukaisia vaatimuksia laitteistolle. Ruping-prosessi on yleisesti käytetty kyllästysmenetelmä esimerkiksi öljykyllästyksissä, kuuma- vaha- ja kuumaöljykyllästyksissä.

Ruping-prosessin vaiheet ovat:

1. Alkupaine
2. Painejakso
3. (Temperointijakso)
4. Lopputyhjiö

Dippausprosessi

Dippaus -prosessissa ei tarvita painetta kestävää laitteistoa, koska prosessi tapahtuu ainoastaan normaalin ilmanpaineen alaisena. Prosessissa kyllästettävä puutavara upotetaan muutamiksi minuuteiksi väkevään kyllästysliuokseen. Puutavara tulee varastoida tiiviissä paketissa dimensiosta riippuen (ns. diffuusiovaihe). Diffuusiovaiheen aikana tapahtuu kyllästysaineen tunkeutuminen ja kiinnittyminen.

Puulaboratorion kyllästyslaitteisto

Hankkeen koekyllästyksket tehtiin Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulun (Xamk) puulaboratoriossa (Teollisuuskatu 3-5, Mikkeli). Kyllästyslaitteistoilla pystytään koeajamaan teollisia prosesseja. Puulaboratorion isommalla kyllästyssylinterillä voidaan tehdä koekäsittelyjä käyttäen ns. Bethel-, Lowry- tai alipaine-prosessia. Koekäsittelyt voidaan tehdä joko täydessä mittakaavassa tai käyttäen erikokoisia kyllästysaltaita. Kyllästysaltailta voidaan toteuttaa tarvittaessa koekäsittelyjä pienemmällä määrällä kemikaalia sekä puumateriaalia. Kuumakyllästäjän pienemmällä sylinterillä voidaan toteuttaa aiempien prosessien lisäksi myös Ruping-prosesseja sekä käsittelyjä korkeammassa lämpötilassa. Seuraavassa kuvassa 6 on esitettyä puulaboratorion toinen koekyllästyslaitteisto.



Kuva 6. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) puulaboratorion koekyllästyslaitteisto. Sylinterin halkaisija 750 mm, koemateriaalin maksimi pituus on 4,3 m ja tilavuus tyhjänä 2050 litraa.

Koekyllästyslaitteiston tietoja:

- Käyttölämpötila 0...75°C ja paine -1...15 bar
- Sylinterin pituus 4,4 m ja halkaisija 750 mm. Tilavuus tyhjänä 2050 litraa
- Kuorman maksimi ulkomitat: 450 mm x 480 mm x 4300 mm.
- Jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmä sekä erikseen lämmitettävä 1000 L IBC-kontti

- Paineistus nestepainepumpulla (15 bar) tai paineilmakompressorilla (13,2 bar)
- Alipainepumpun maksimi 23 mbar
- Bethel-, Lowry- ja Alipaine-prosessit
- Koekyllästyksen paineilmalla:
 - o Voidaan tehdä joko täydellä sylinterillä tai erikokoisissa altaissa. Käsittelyt pienille kappaleille tai vähäisellä määrällä kemikaalia (esim. lähtien 1 litrasta kemikaalia).

Kuumakyllästämö:

- Kuumakyllästäimellä maksimi käyttölämpötila 200 °C ja paine -1...16 bar
- Kyllästyssylinterin pituus noin 2 m ja halkaisija 380 mm.
- Maksimikuorma noin 0,3 m x 0,24 m x 2,2 m (kelkka: 0,3 m x 0,24 m x 2,0 m)
- Sylinterin sekä nestesäiliön lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä
- Paineistus tyypellä (11 bar), paineilmalla (13 bar) tai vesihöyrynpaineella (15,5 bar).
- Laitteistossa myös alipainejärjestelmä (alipainepumppu max. 33 mbar)
- Varastosäiliön tilavuus 256 litraa
- Järjestelmään voidaan yhdistää myös erillinen lämmitettävä 1000 litran IBC-kontti
- Automaatio sekä käsiajo-ohjaus mahdollista
- Ruping-, Bethel-, Lowry-, Alipaine- ja lämpökäsittelyprosessit

4.2 Pintakäsittely

Pintakäsittelyllä tarkoitetaan yleensä pinnan suojausta pintakäsittelyaineilla, jotka yleensä sivellään tai ruiskutetaan suojattavan tuotteen pintaan. Pintakäsittelyssä käytetään tavallisesti erilaisia maaleja ja lakkoja riippuen käyttökohteesta. Myös palonsuoja-aineita on kehitetty käytettäväksi pintakäsittelyinä. Nämä muodostavat joko kalvon tuotteen pinnalle tai imeytyvät puun pintaosiin. Pintakäsittelyissä levitysmäärät ovat tavallisesti ilmoitettuna g/m². Pintakäsittelyissä kemikaalin kulutusta on helppoa säädellä kuin painekyllästyksissä, koska kappaleiden pintaan levitettävien kerrosten tai aineen määrää voidaan säätää tavoitteen mukaisesti. Pintakäsittelyissä ei myöskään tarvita samanlaisia laitteistoja kuin painekyllästyksissä. Kaikkien sivujen pintakäsittely vaatii kuitenkin helposti suurilla levitysmäärillä useamman käsittelykerran.

Hankkeen koemateriaalien pintakäsittelyt toteutettiin Xamkin puulaboratorion maalaamossa. Hankkeessa käytettiin kalvon muodostavaa palonsuojamaalia sekä puuhun imeytyvää väritöntä palonsuoja-ainetta. Hankkeen kaikki pintakäsittelyt tehtiin sivelykäsittely tai telakäsittelynä. Maalaamossa voidaan toteuttaa myös pintakäsittelyjä ruiskuttamalla (hajoitusilma- tai air-mix korkeapaineruisku). Seuraavassa kuvassa 7 on esimerkki SBI materiaalien pintakäsittelystä värittömällä palonsuoja-aineella ja palonsuojamaalilla maalattu koekappale. Kaikki pintakäsittelyt toteutettiin ympärikäsitte- lynä, eli kaikki sivut käsiteltiin palonsuoja-aineella.



Kuva 7. Esimerkki kuvissa vasemmalla väritön palonsuoja-aine ja oikealla kalvon muodostava palonsuojamaali. Pintakäsittelyt sivelykäsittelynä.

4.3 Hankkeen pienen mittakaavan koekäsittelyt

Pienen mittakaavan koekäsittelyjä lähdettiin suunnittelemaan ja toteuttamaan palonsuoja-ainevalmistajille suunnatun alustavan kyselyn perusteella. Kyselyn perusteella pyrittiin selvittämään myös alustavat tavoitteet ainemäärille. Alustavissa koekyllästyksissä käytettiin 1 m mittaisia koekappaleita (kuva 8). Ajatellen pienen mittakaavan palokokeita 1 m mittaisista koekappaleista voitiin huomioida vielä päätyvaikutukset kyllästyskäsittelyissä. Koemateriaalit valittiin käsittelyihin satunnaisesti hankkeelle toimitetuista paketeista. Thermo-D männyt sahattiin paketista V1108940 ja Thermo-D kuuset paketista V1108938. Kaikki koemateriaalit punnittiin ja myös merkittiin ennen käsittelyä. Näillä koe-

kappaleilla tutkittiin eri prosessiparametrien vaikutukset palonsuoja-aineiden retentioihin sekä koe-kappaleiden ulkonäköön käsittelyn jälkeen. Retentiot (kg/m^3) määritettiin punnitsemalla koekappaleet ennen käsittelyä sekä heti käsittelyn jälkeen. Kappaleista otettiin myös kuvia.



Kuva 8. Thermo-D mäntyä (M) sekä kuusta (K) sahattuna 1 m mittaiseksi koekappaleeksi ennen kyllästyskäsittelyä. Thermo-D männyn pakettista V1108940 ja Thermo-D kuuset pakettista V1108938.

Kyllästyskäsittelyissä tavoiteainemääristä keskusteltiin palonsuoja-ainevalmistajien kanssa. Koska lämpökäsittely puu on vähemmän tutkittu, niin lähdettiin hakemaan tavoitteita käsittelemättömän sahataran mukaisesti. Jos selkeää ainemäärää ei osattu arvioida lämpöpuulle, niin sitä lähdettiin haarukoimaan eri prosessiparametreilla ja kartiokolorimetrikokeilla. Pääasiassa prosessit toteutettiin muuntelemalla Bethel- tai Lowry-prosessin parametreja.

Painekyllästysten parametrit eri kyllästyserissä vaihtelivat:

- Alkutyhjiöt 150 mbar - 500 mbar tai ei tyhjiötä/ normaali ilmanpaine
- Ylipaineet 4 bar...12 bar
- Lopputyhjiöt 150 mbar...normaali ilmanpaine

Keskimääräiset eräkohtaiset retentiot vaihtelivat eri kyllästyserissä:

- Thermo-D mänty keskimäärin noin 230 kg/m³ ... 600 kg/m³
- Thermo-D kuusi keskimäärin noin 33 kg/m³ ... 450 kg/m³

Alkuvaiheessa samassa prosessissa oli sekä Thermo-D mäntyä sekä kuusta samassa kyllästyserässä. Näillä tutkittiin eroja puumateriaalien välillä sekä haettiin ns. maksimi retentioita täyssolukyllästyksellä. Myöhemmässä vaiheessa prosessiparametreja optimoitiin käytettävän kemikaalin sekä puulajin mukaisesti. Seuraavassa taulukossa 3 on esitettyä esimerkki erät, jossa on ollut TW mäntyä sekä kuusta samassa kyllästyserässä.

Taulukko 3. Prosessiparametrit ja retentiot (kg/m³) Thermo-D mäntyä sekä kuusta samassa kyllästyserässä.

Process parameters 1:			Process parameters 2:		
Initial vacuum	150 mbar / 30 min		Initial vacuum	No	
Pressure	10 bar / 60 min		Pressure	4 bar /60 min	
Final vacuum	150 mbar / 15 min		Final vacuum	No	
TW Pine av.	597,0	kg/m ³	TW pine av.	243,1	kg/m ³
TW Spruce av.	252,9	kg/m ³	TW Spruce av.	96,4	kg/m ³

Taulukon 3 tuloksista nähdään, että kyseisissä erissä TW mäntyyn on imeytynyt enemmän palonsuoja-ainetta, mutta myös eri parametreilla saadaan säädettyä palonsuoja-aineen lopullista määrää puussa. Taulukon 3 tulokset ovat pienen mittakaavan koekäsittelyistä, joissa koemateriaalin dimensiot olivat 25 mm x 100 mm. SBI koemateriaalit olivat 19 mm x 140 mm ja näissä, etenkin Thermo-

D kuusen eräkohtaisesti suurimpia retentioita, saatiin kasvatettua $250 \text{ kg/m}^3 \rightarrow 450 \text{ kg/m}^3$. Tähän saattaa vaikuttaa koemateriaalien sahaustapa tai mahdollisesti tukkikoko, koska merkittävin ero materiaalien välillä oli dimensioiden lisäksi pinta- ja sydänpuuosuuksien vaihtelu (vrt. 2-exlog ja 4-exlog). Thermo-D männyllä ero suurimpien retentio keskiarvojen välillä ei ollut niin merkittävä materiaalien välillä kuin kuusella.

Prosessiparametreilla saatiin hyvin haarukoitua eri ainemääriä, mutta myös tuotteen ulkonäkö oli tärkeä, koska alustavasti tuotteet tulisivat sellaisenaan loppukäyttökohteeseen asennettavaksi. Lopullisen tuotteen ulkonäköön voidaan vaikuttaa prosessiparametreilla sekä kuorman ladonnalla kyllästykseen, mutta suuri vaikutus on käytettävän kemikaalin ominaisuuksilla (mm. kiintoaineiden partikkelikoko, viskositeetti, aineen sekoittuvuus jne).

Koekyllästysten jälkeen kappaleiden annettiin kuivua pääasiassa puuntyöstöhallissa. Kuitenkin yhdellä erällä testattiin myös 4 vuorokauden koekuivausta ($T: +60 \text{ °C} / 96\text{h}$). Kuivauksessa ei havaittu ongelmia kyseisellä erällä ja näin materiaalin kuivaus voisi olla mahdollista teollisestikin. Koekappaleiden kuivuttua niistä sahattiin näytteet kartiokaloremetrikokeisiin (ISO 5660-1) sekä alustaviin säärasituskokeisiin (EN 927-6). Seuraavassa kuvassa 9 on esitettyä jatkotesteihin sahattuja näytteitä.



Kuva 9. Hankkeen koemateriaalia katkottuna jatkotesteihin. Thermo-D männyt paketista V1108940 ja Thermo-D kuuset paketista V1108938.

Pintakäsittelyihin koekappaleet sahattiin suoraan haluttuun mittaan ajatellen jatkotestejä, koska pintakäsittelyissä ei tarvitse huomioida päätyvaikutuksia samalla tapaa kuin kyllästyskäsittelyissä. Pintakäsittelyt toteutettiin valmistajan ohjeiden mukaisesti. Jokaiselle koekappaleelle levitettävän palonsuoja-aineen levitysmäärät (g/m^2) varmistettiin punnitsemalla koekappaleet käsittelyn aikana. Palonsuoja-aineiden levitysmäärät ovat yleensä suurempia verrattuna tavallisiin pintakäsittelyaineisiin. Hankkeessa levitysmäärien tavoitteet olivat $150 \text{ g}/\text{m}^2$ tai $350 \text{ g}/\text{m}^2$. Pintakäsittelyä kokeiltiin useammalla levityskerralla, mutta myös suoraan lopullisella levitys määrän tavoitteella. Pintakäsittelyt useammalla kerroksella havaittiin helpommaksi toteuttaa, jos levitysmäärät ovat suuria. Seuraavassa kuvassa 10 on esitettynä pienen mittakaavan koekäsittelyissä palonsuojamaalilla maalattuja koekappaleita.



Kuva 10. Palonsuojamaalilla maalattuja Thermo-D koekappaleita.

4.4 Ison mittakaavan koekäsittelyt SBI kokeisiin

Ison mittakaavan koekäsittelyt aloitettiin pienen mittakaavan koekäsittelyiden tulosten perusteella. Kaikki koemateriaalit tulivat lämpöpuutuotannosta ja olivat Thermo-D laadun mukaisia. Koemateriaalit olivat myös valmiiksi höylättyjä ennen käsittelyä. Koemateriaaleissa oli silmämääräisesti katsottuna 4-exlog mukaisesti sahattua sahatavaraa, joissa sydänpuu osuudet vaihtelivat. Pääsääntöisesti käyttölappeena oli sydän lape, mutta muutamia poikkeuksia löytyi. Käsittelyeristä otettiin kuvia päädyistä, jotta pystyttiin arvioimaan koekappaleiden ominaisuuksia myös silmämääräisesti (sahaustapaa, pinta- ja sydänpuu osuuksia jne). SBI kokeisiin käsiteltävät koemateriaalit valittiin satunnaisesti seuraavan taulukon 4 mukaisista koemateriaaleista. Kaikki koemateriaalit katkottiin, merkattiin ja punnittiin ennen käsittelyä, joten jokaisesta koe-erästä saatiin kappalekohtaiset tiheydet ja ainemäärät laskettua. Samoilla koemateriaaleilla tehtiin paloluokituksen yhteydessä myös standardin EN

11925-2 mukainen pienen liekin polttokoe sekä vertailuksi ISO 5660-1 kartiokaloremetrikoe. Tällä kartiokaloremetrikokeella haettiin vertailutulos samoista materiaaleista SBI kokeen rinnalle.

Taulukko 4. Ison mittakaavan koekäsittelyiden koemateriaalit.

Wood material	Profile	Dimensions	Package number	Density (kg/m ³)
Thermo-D Pine	UTV	19 x 140 mm	V1109265	398,2
Thermo-D spruce	TGV	19 x 140 mm	V1109263	406,7

SBI koemateriaalien kyllästyskäsittelyt toteutettiin kyllästysylinterin sisään mahtuvissa altaissa ja pintakäsittelyt toteutettiin puulaboratorion maalaamossa. Kyllästyskäsittelyissä imeytymät/retentiot määritettiin jokaisesta koekappaleesta punnitsemalla ne ennen kyllästystä ja sen jälkeen. Kyllästyskäsittelyissä käytettiin vaakaa, jonka tarkkuus on 0,1 g. Pintakäsittelyissä jokainen levityskerta punnittiin ja ainemäärät määritettiin 0,01 g tarkkuudella. Seuraavassa kuvassa 11 on esiteltynä koemateriaalia ennen palonsuojakäsittelyä.



Kuva 11. Thermo-D kuusi koemateriaalia SBI vaaka-asennettavaan nurkkaan ennen käsittelyä.

Kyllästyskäsittelyiden jälkeen koemateriaalien annettiin kuivua rimoitettuna puuntyöstöhallissa. Kylästetyt materiaalit saivat kuivua vähintään 4 viikkoa ennen pakkaamista ja lähettämistä palotesteihin, koska liian suuri kosteuspitoisuus vaikuttaisi palotestien tulokseen. Kuvassa 12 on vertailuksi koemateriaalia heti käsittelyn jälkeen ja yhden vuorokauden hallikuivauksen jälkeen. Kuvasta 12 nähdään, että pinnat kuivuivat melko nopeasti, mutta kappaleiden täytyi tasaantua myös sisältä. Palonsuoja-aineiden ominaisuus sitoa vettä hidasti jonkin verran kuivumista. Näytteitä tasaannutettiin myös palolaboratoriolla ennen varsinaista SBI koetta (T: 23 °C / rh 50 %).

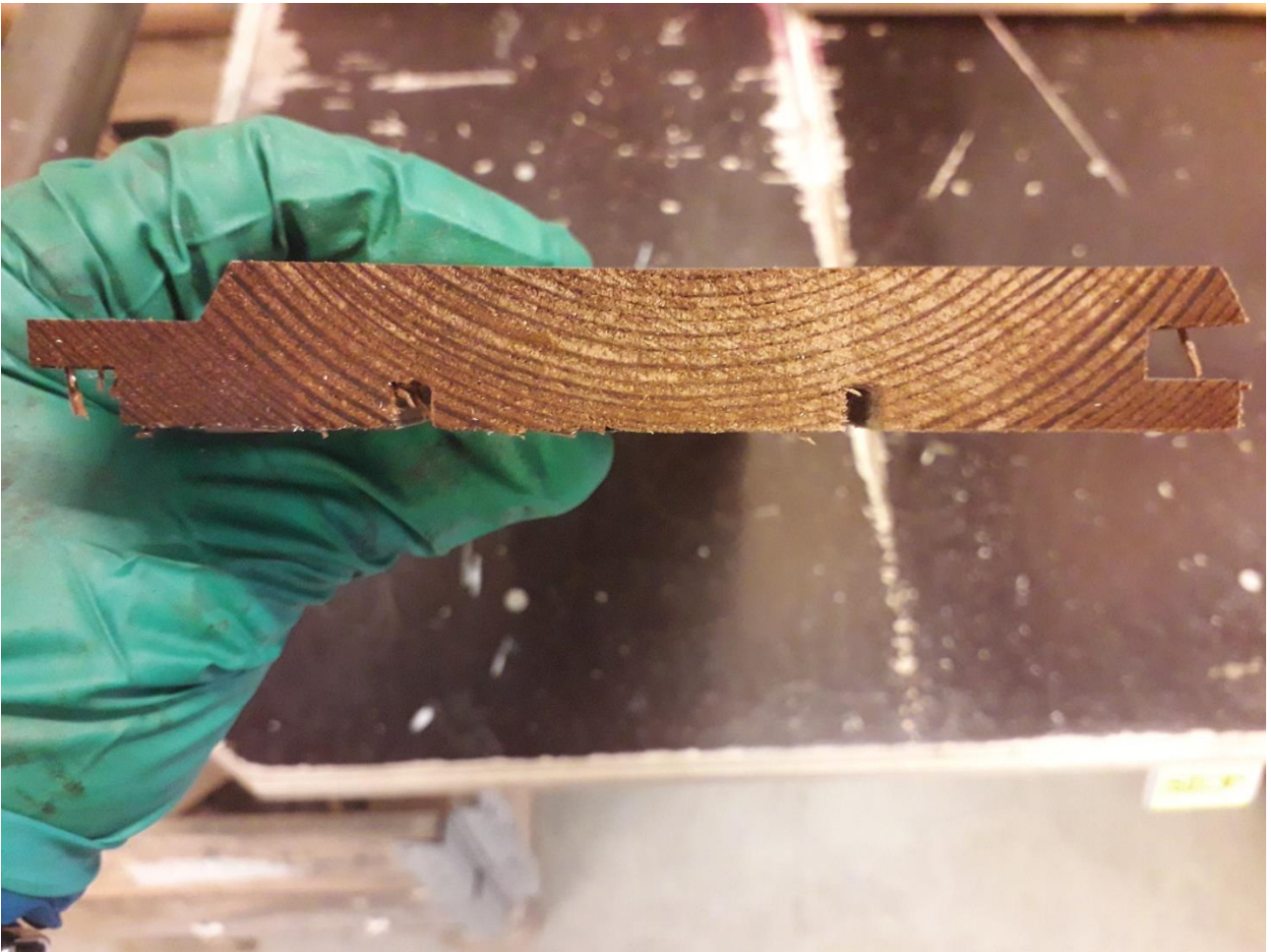


Kuva 12. Palonsuoja-aineella kyllästettyä Thermo-D mäntyä. Nipun oikeassa reunassa koemateriaalia kyllästykseen jälkeen märkänä ja alemmassa rimavälissä vuorokauden kuivumisen jälkeen.

Prosessiparametreilla pystytään hieman vaikuttamaan siihen, että kuinka märkää materiaalin pinta on heti prosessin jälkeen. Esimerkiksi lopputyhjiöllä on suuri merkitys tihkuvan kemikaalin määrään kyllästysprosessissa painejakson jälkeen. Jos lopputyhjiö jätetään pois, niin pinnoilla saattaa olla vielä reilusti kemikaalia, kun puun sisään jäänyt paine työntää vapaata kemikaalia pintaosiin. Myös

kuorman kallistuksella voidaan tehostaa ylimääräisen kemikaalin valumista pois pinnoilta, näin vähennetään samalla ylimääräisen kemikaalin valumista muualle kuin kyllästysylinteriin.

Palonsuoja-aineen tunkeuman syvyyttä tarkasteltiin silmämääräisesti katkaisupinnoilta (kuva 13 ja 14). Värittömillä kemikaaleilla tarkkaa tunkeuman syvyyttä on kuitenkin vaikea havaita. Tarkasteleissa tuli todettua, että SBI koemateriaalien ohuimmat kohdat ovat ponttien kohdalla ja ne yleisesti olivat koekappaleissa pintapuuosuudella. Näin täyssolukyllästyksessä varmistuu ainakin ponttien kohdalta suurimmat tunkeumat ja ainemäärät. Tällä voi olla palonsuojauksen ja aineen kulutuksen optimoinnin kannalta hyvä vaikutus, koska tuotteen ohuimpaan kohtaa imeytyy näin eniten kemikaalia. Toisaalta suuret pinta- ja sydänpuuosuuden vaihtelut näkyivät kyllästyskäsittelyissä retentiotulosten hajonnassa ja vaikeuttavat näin tulosten tarkastelua ja tunkeuman optimointia isossa mittakaavassa. Samalla suuret sydänpuuosuudet saattavat vaikuttaa hajontaan palokoetuloksissa, koska sydänpuu on niiltä osin verrattavissa käsittelemättömään puuhun jossa ei ole kemikaalia. Palon alkuhetkillä saattaa kuitenkin riittää, että sydänpuussa on palonsuoja-ainetta vain muutaman millimetrin syvyydellä hidastamaan palon alkua. Käsiteltävät koemateriaalit valittiin satunnaisesti teollisesti tuotetusta raaka-aineesta, joten koemateriaalien lajittelua ei tehty pinta- ja sydänpuuosuuksien mukaan.



Kuva 13. Tunkeuman tarkastelu katkaisupinnalta heti kyllästyksen jälkeen (Thermo-D mänty/UTV). Täysin kyllästyneet pintapuosuudet näkyvät uros- ja naarasponttien kohdalla selvästi tummempana kohtana. Tunkeuman syvyyttä sydänpuussa on vaikeampi erottaa värittömillä kyllästeillä.



Kuva 14. Tunkeuman tarkastelu katkaisupinnalta koekappaleen kuivuttua (Thermo-D kuusi/TGV). Katkaisupinnalta nähdään, että koekappaleessa on keskellä vain muutaman millimetrin levyinen kylästymätön kohta. Kuvassa olevan koekappaleen retentio on ollut 530 kg/m^3 .

SBI koemateriaalien pontteja sovitettiin myös heti kyllästyksen jälkeen. Lämpökäsitellyn puun hyvä mitta- ja muotopysyvyys tuli hyvin esiin, koska ponttien sovituksissa ei esiintynyt ongelmia käsittelyn jälkeen. Koemateriaalit pysyivät myös suorina käsittelyn eri vaiheessa. Seuraavassa kuvassa 15 on esimerkki Thermo-D kuusen pontin sovituksista kyllästyksen jälkeen.



Kuva 15. Thermo-D kuusi TGV pontin sovitus heti kyllästyksen jälkeen. Sovituksissa ei esiintynyt ongelmia.

SBI koekappaleiden pintakäsittelyt toteutettiin aina lape kerrallaan, jotta käsittelyaine sai imeytyä ja kuivua enne kappaleen kääntämistä. Pintakäsittelyt toteutettiin samoilla levitysmäärillä kuin pienen mittakaavan koekäsittelyissä. Levitysmäärät varmistettiin punnitsemalla koekappaleet jokaisen levityksen aikana. Pintakäsittelyt koekappaleet saivat kuivua maalaamossa ennen pakkaamista ja lähettämistä palokokeisiin (kuva 16 ja 17). Myös pintakäsittelyjä koekappaleita tasaannutettiin EN 13823 standardinmukaisesti palolaboratoriolla ennen varsinaista palokoetta.



Kuva 16. Palonsuojamaalilla maalattua Thermo-D kuusta kuivumassa pintakäsittelyn jälkeen.



Kuva 17. Palonsuojamaalilla maalattua koemateriaalia kuivumassa maalaamossa.

Palonsuoja-aineet saattavat muodostaa valkoisia kiteitä tuotteen pintaan, niin siksi käsiteltyjen koekappaleiden pintoja tarkasteltiin myös kuivana. Suolakiteiden muodostumista tarkasteltiin myös hygroskooppisuuskokeessa. Thermo-D materiaalin pinnoilta oli helposti havaittavissa mahdolliset jäämät, koska koemateriaalit ovat väriltään ruskeita. Palonsuojamaali oli väriltään valkoista ja se peitti lämpöpuun ruskean värin. Maalatujen kappaleiden pinnoilta ei havaittu kiteitä/jäämiä silmämääräisessä tarkastelussa. Silmämääräistä tarkastelua tehtiin hankkeen jokaisesta erästä käsittelyjen eri vaiheissa. Tarkastelua tehtiin myös ennen koekappaleiden lähettämistä SBI-palokokeisiin. Tällä haluttiin myös varmistaa, että koekappaleet ovat kaikki merkattuja sekä ehjiä. Seuraavissa kuvissa 18 ja 19 on esitettyä kyllästettyjen SBI koemateriaalien pintoja materiaalien kuivuttua.



Kuva 18. Palonsuoja-aineella kyllästettyä Thermo-D kuusta. Ei havaittavissa jäämiä pinnoilta.



Kuva 19. Palonsuoja-aineella käsiteltyä Thermo-D mäntyä. Havaittavissa pieniä jäämiä pinnoilta.

5 ISO 5660-1 KARTIOKALORIMETRIKOEET

ISO 5660-1 (ISO 5660: Fire test- Reaction to fire – Heat release (cone calorimeter method)) standardin mukainen koe kertoo koekappaleen lämmöntuoton kehittymistä sinä aikana, kun sitä altistetaan lämpösäteilylle. ISO 5660 kartiokalorimetrikoe on usein käytetty menetelmä palonsuoja-aineiden toimivuutta testattaessa. Kokeessa näytteet altistetaan säteilyvuolle, jonka tiheys on tavallisesti 50 kW/m². Tässä menetelmässä näytteet ovat pieniä (100 mm x 100 mm), joten sillä voidaan helposti ja nopeasti haarukoida useita eri käsittelyjä ja tuotevaihtoehtoja. Kartiokalorimetrikokeesta saadaan kuitenkin vain suuntaa antavia tuloksia ja lopullinen paloluokitus testataan muilla menetelmillä, kuten esimerkiksi SBI palonurkkakokeella ja pienen liekin polttokokeella.

Kartiokalorimetrikokeesta saadaan tuloksena mm:

- Lämmöntuotto (HRR: kW/m² ja THR: MJ/m²)
- Massahäviö (g)
- Syttymisherkkyys (s)
- Savuntuotto (m²/s)
- Savukaasut CO/CO₂

Lämpöpuun palosuojaus-hankkeessa on testattu palosuojattuja Thermo-D männystä sekä Thermo-D kuusesta valmistettuja koekappaleita. Koekappaleet ovat joko painekyllästetty tai pintakäsitelty palonsuoja-aineella. Painekeyllästyksissä käytettiin yhden metrin mittaisia koekappaleita, joista sahattiin lopullisen näytteet. Koemateriaalit lähetettiin ISO 5660 kartiokalorimetrikokeisiin 25 mm x 100 mm x 100 mm kokoisina koekappaleina (kuva 20). Testeissä on ollut myös käsittelemätöntä lämpöpuuta vertailuksi palosuojatuille tuotteille. Hankkeen ISO 5660 kokeissa koekappaleet altistettiin 50 kW/m² lämpösäteilylle ja testin kesto oli 1200 sekuntia. Kartiokalorimetrinäytteitä tasaannutettiin (T: 23 °C / rh 50 %) palolaboratoriolla ennen varsinaista palokoetta.



Kuva 20. Palonsuoja-aineella käsiteltyjä ISO 5660-1 kartiokalorimetri koekappaleita.

Seuraavassa taulukossa 5 on koottuna keskimääräisiä ISO 5660-1 tuloksia palosuojaamattomalle sekä palosuojuatulle Thermo-D männylle sekä kuuselle. Tulokset ovat laskettu viiden koekappaleen keskimääräisenä tuloksena. Taulukossa kannattaa vertailla etenkin lämmön vapautumisnopeuden piikkiä HRR (Heat Release Rate) ja kokonaislämmöntuottoa THR (Total Heat Release). Tuotteen syttymisaika on esitettyä $t(ig)$ ja mahdollinen sammuminen $t(fo)$. Arvot ovat sekuntia testin aloittamisesta. Liitteissä referenssimateriaalien ISO 5660-1 tulosraportit.

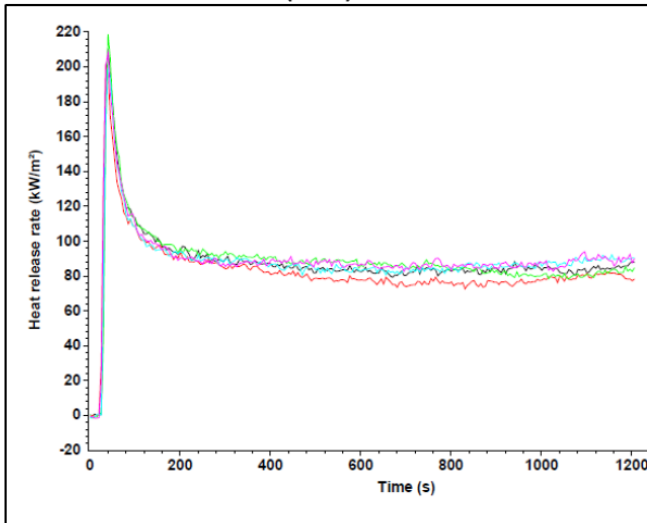
Taulukko 5. ISO 5660-1 kartiokalorimetri.

Thermo-D pine and spruce (25 mm x 100 mm x 100 mm)								
ISO 5660 Test Materials	$t(ig)$ s	$t(fo)$ s	HRR(peak) kW/m ²	t_{peak} s	THR MJ/m ²	SPR (av) m ² /s	Δm g/m ²	MAHRE kW/m ²
Thermo-D pine (ref)	15	0	207.06	39	105.19	0.0057	7249.3	103.55
Thermo-D spruce(ref)	51	0	191.64	70	94.03	0.0005	6639.4	98.50
Kiilto 1 / TW Pine	20.8	31.4	91.06	41	29.21	0.0037	6315.3	30.75
Kiilto 1 / TW Spruce	14	5.2	99.16	34	60.91	0.0008	5724.6	56.75
Nordtreat 2 / TW Pine	60.2	0	87.74	768	69.89	0.0004	7090.7	58.10
Nordtreat 2 / TW Spruce	29.8	0	107.06	61	72.68	0.0024	6091.3	63.19
Teknos / TW Pine	18.4	10.8	90.14	70	81.06	0.0069	6208.8	67.24
Teknos / TW Spruce	18	11	91.32	66	73.56	0,0025	5636.3	61.84
Nordtreat 1 / TW Pine	12.6	0	111.58	54	92.63	0.0046	6959.3	79.97
Nordtreat 1 / TW Spruce	13.4	0	124.76	48	83.07	0.0009	6499.9	78.79

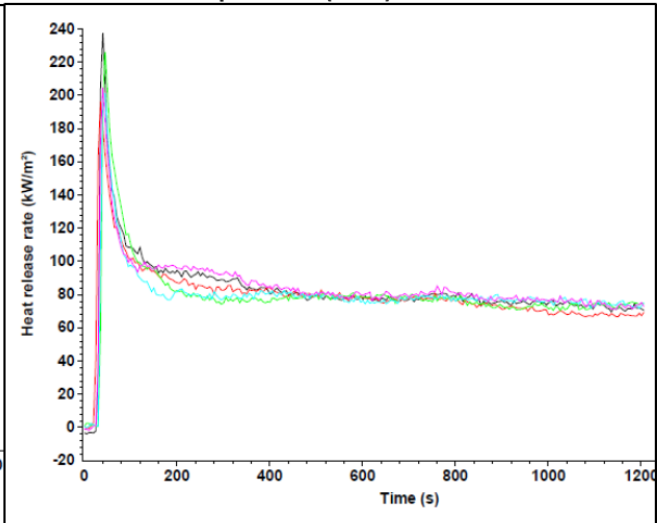
Taulukon 5 tuloksista nähdään, että palonsuoja-aineilla on saatu parannettua Thermo-D männyn sekä kuusen palo-ominaisuuksia kaikilla käsittelymenetelmillä. Esimerkiksi kokonaislämmöntuotto (THR) on palosuojuatuilla tuotteilla alhaisempi kuin palosuojaamattomalla Thermo-D männyllä ja kuusella. Toinen merkittävä ero näytteiden välillä on lämmönvapautuspiikit (HRR-peak). HRR-piikistä nähdään hetkellisesti suurimman lämmönvapautumisen arvo.

HRR-kuvaajasta voidaan arvioida palon etenemistä tuotteessa. HRR-piikki esiintyy yleensä ensimmäisen kerran mahdollisen syttymispisteen jälkeen ja tässä vaiheessa tuote palaa voimakkaimmin. Syttymishetken jälkeen tuotteen pinta alkaa hiiltymään, joka hidastaa myös lämmön vapautumista. Mahdollinen toinen selvä piikki kertoo pinnan hajoamisesta ja tässä vaiheessa palo alkaa edetä tuotteen sisäosiin. Palonestoaineet hidastavat myös lämmönvapautumista, joka näkyy selvästi alhaisempana HRR-piikkinä ja lämmönvapautumisena. Seuraavat kuvaajat 1-5 esittävät lämmönvapautumisnopeutta (HRR; kW/m²) ajan funktiona (s.). Kuvaajissa on esitettyä eräkohtaisesti taulukon 5 mukaiset viiden koekappaleen tulokset.

Thermo-D Pine (ref)

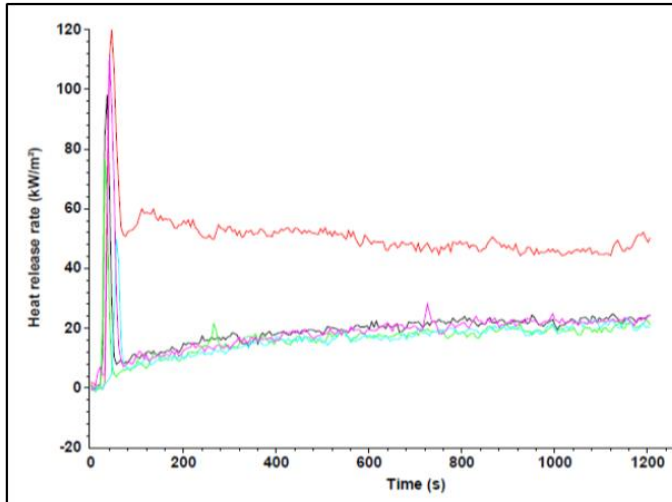


Thermo-D Spruce (ref)

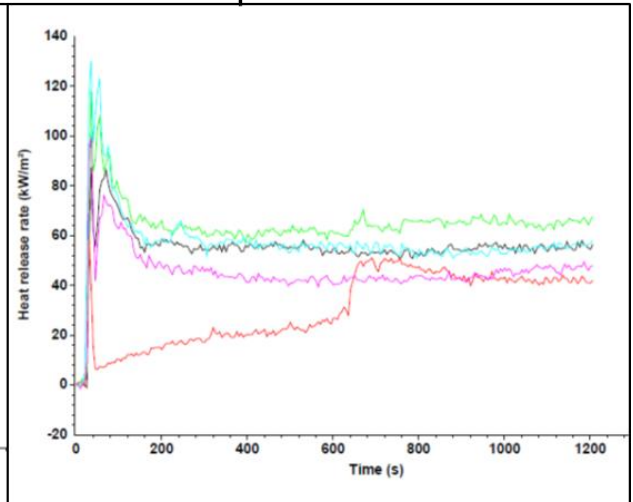


Kuvaaja 1. Käsittelemättömien Thermo-D mäntyjen sekä kuusien ISO 5660-1 lämmönvapautumisnopeudet (HRR) ajan funktiona (s).

Kiilto 1 TW Pine

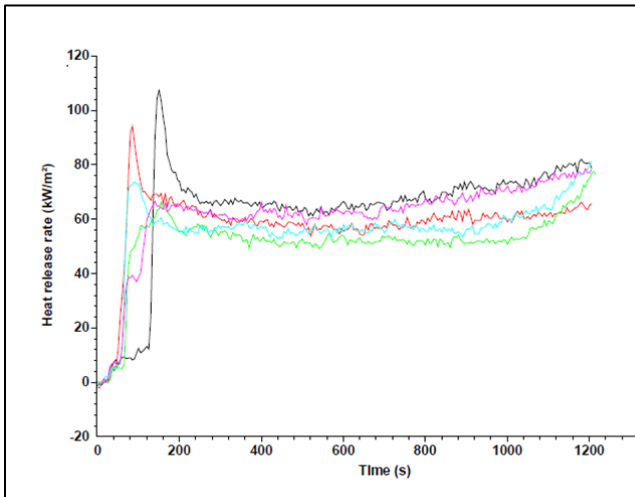


Kiilto 1 TW Spruce

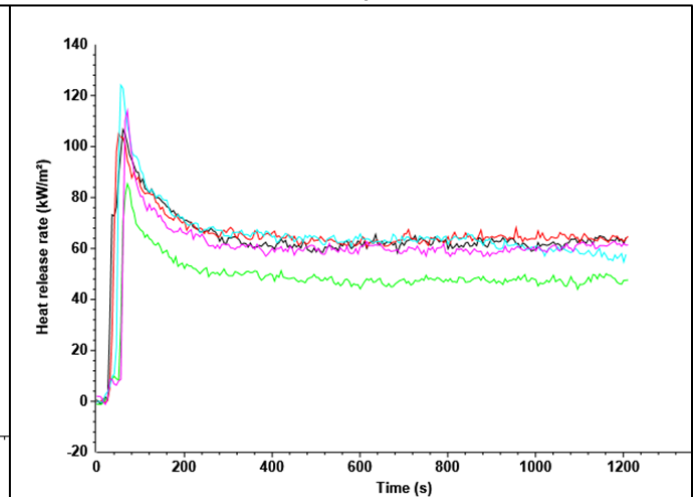


Kuvaaja 2. Palosuojattujen Thermo-D mäntyjen sekä kuusien ISO 5660-1 lämmönvapautumisnopeudet (HRR) ajan funktiona (s).

Nordtreat 2 TW pine

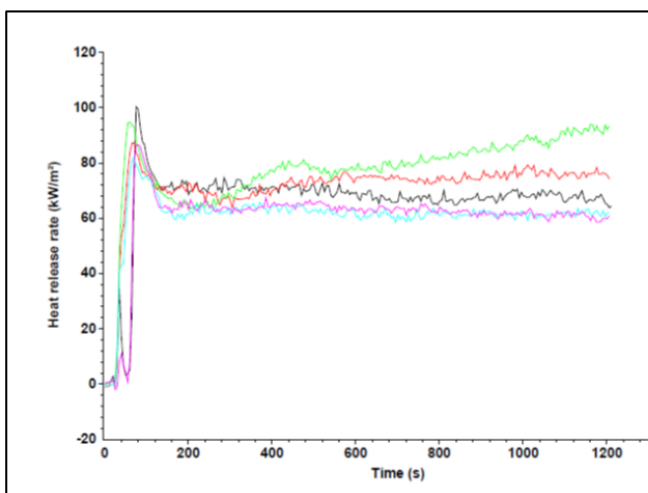


Nordtreat 2 TW Spruce

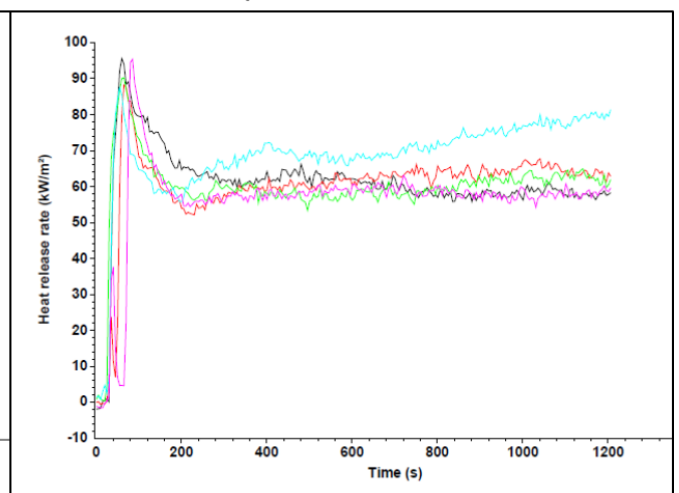


Kuvaaja 3. Palosuojattujen Thermo-D mäntysten sekä kuusien ISO 5660-1 lämmönvapautumisnopeudet (HRR) ajan funktiona (s).

Teknos TW Pine

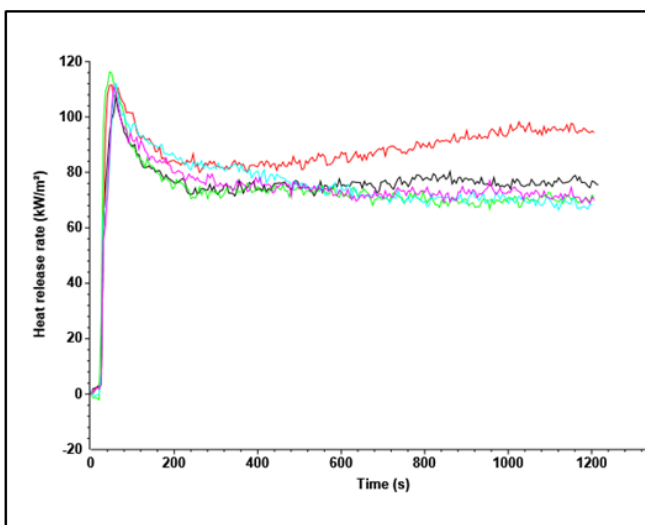


Teknos TW Spruce

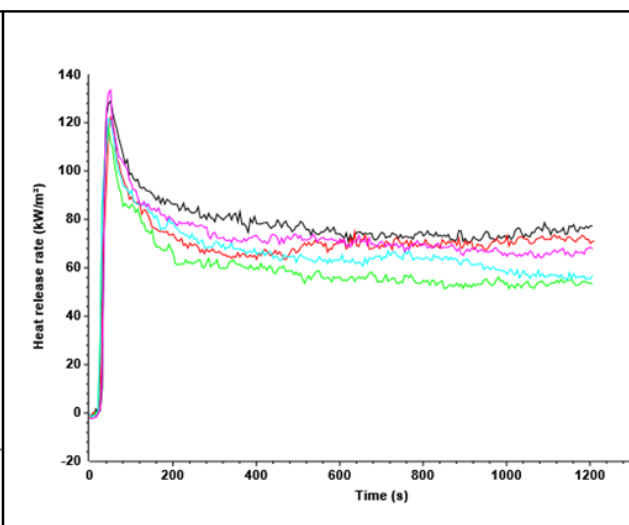


Kuvaaja 4. Palosuojattujen Thermo-D mäntysten sekä kuusien ISO 5660-1 lämmönvapautumisnopeudet (HRR) ajan funktiona (s).

Nordtreat 1 TW Pine



Nordtreat 1 TW Spruce



Kuvaaja 5. Palosuojattujen Thermo-D mäntyjen sekä kuusien ISO 5660-1 lämmönvapautumisnopeudet (HRR) ajan funktiona (s).

6 SÄÄRASITUS JA PALOKÄYTTÄYTYMISEN PITKÄAIKAISKESTO (EN 16755)

Säärasituskokeille on kehitetty useita eri standardinmukaisia menetelmiä, joissa tavallisesti simuloidaan syklisesti vaihtelevaa lämpötilaa, kosteutta, UV-valoa tai sadetusta. Laboratorio säärasituskokeilla pyritään tavallisesti selvittämään eri olosuhteiden vaikutuksia tutkittavaan koemateriaaliin nopeutetulla menetelmällä. Nopeutettujen säärasituskokeiden vastaavuutta luonnollisiin olosuhteisiin on kuitenkin erittäin vaikeaa arvioida. Esimerkiksi kokeen UV-säteily voidaan laskennallisesti määrittää, mutta vastaako se täysin luonnollisia olosuhteita. UV-säteilyn lisäksi myös sademäärät vaihtelevat alueittain sekä kasteen vaikutuksen huomioiminen on näissä hankalaa. Pakkasolosuhteiden vaikutukset jäävät UV + sadetus säärasituskokeissa yleensä huomioimatta.

Perinteiset palonsuoja-aineet ovat olleet vettä sitovia sekä siihen liukenevia kemikaaleja ja tämä onkin yksi haaste palosuojatun tuotteen pitkäaikaiskäytössä. Palosuojatuille puutuotteille on 2017 loka-kuussa vahvistettu EN 16755 standardi, jossa on kuvattuna palokäyttäytymisen pitkäaikaiskeston tutkimiseen liittyviä standardeja ja testausmenetelmiä. Standardissa tutkitaan palosuojattujen tuotteiden hygroskooppisuutta sekä palonsuojauksen säilyvyyttä säärasituksen jälkeen. EN 16755 standardinmukaiset testit eivät ole vielä pakollisia testejä paloluokituksen määrittämiselle, mutta palosuojatun puun markkinat alkavat vaatia tätä tutkittavaksi. Standardinmukaisesti hygroskooppisuuskoe voidaan

toteuttaa NT Build 504 menetelmän mukaisesti. Säärasitusmenetelminä voi toimia luonnolliset olosuhteet tai sääkaapissa toteutetut keinotekoiset säärasitusmenetelmät. Luonnolliset olosuhteet voidaan toteuttaa esimerkiksi EN 927-3 standardin mukaisesti yhden vuoden ulkoaltistuksena. Sääkaapissa toteutettavat säärasituskokeet kestävät 1000 – 2016 tuntia ja näissä käytetään sadetusta tai sadetusta ja UV-valoa. Sääkaappikokeena standardissa on esitetty mm. seuraavia menetelmiä: EN 927-6 ja NT FIRE 053.

EN 16755 standardimukaisissa kokeissa voidaan käyttää pienille koekappaleille ISO 5660-1 kartiokalorimetrikoetta tutkimaan palosuojauksen muutosta säärasituksen jälkeen. Isommille koekappaleille voidaan tehdä SBI kokeet standardin EN 13823 mukaisesti. Seuraavassa taulukossa on esitettyä EN 16755 standardin menetelmiä sekä raja-arvoja. Taulukossa on kuvattuna luokat sisä- ja ulkokäyttöön (INT1, INT2 ja EXT). Hankkeen koemateriaalit ovat suunnattu ulkokäyttöön, joten koemateriaalille tehtiin hygroskooppisuuskokeet sekä säärasituskokeet sääkaapissa.

Taulukko 6. EN 16755 Palokäyttäytymisen pitkäaikaiskesto.

EN 16755 Requirements for DFR Classes of fire-retardant wood products in interior and exterior end use applications				
DFR class		Existing fire requirements	Additional performance requirements at different end use of fire retardant wood-based products	
	Intended use	Reaction to fire class, initial	Hygroscopic properties	Reaction to fire performance after weather exposure
INT1	Interior dry applications	Relevant fire class		-
INT2	Interior humid applications	Relevant fire class	- Moisture content < 28 % - No exudation of liquid - Minimum visible salt with no increase at surface	-
EXT	Exterior applications	Relevant fire class	- Moisture content < 28 % - No exudation of liquid - Minimum visible salt with no increase at surface	Maintained reaction to fire claimed performance after - Accelerated ageing or - Natural weathering Application of specified maintenance may be included

6.1 Hygroσκοoppisuustesti (NT BUILD 504)

Palosuojattujen lämpöpuunäytteiden hygroσκοoppisuus tutkittiin standardin NT Build 504 mukaisesti. Koekappaleita altistettiin olosuhdekaapissa kahdessa eri olosuhteessa (23 °C / Rh 55 % ja 27 °C / Rh 90 %) niin pitkään, kun kappaleiden paino on tasaantunut (6 h aikana enintään 0,1 % muutos). Kappaleiden tasaannuttua olosuhteisiin, niiden painot mitattiin ja kappaleita arvioitiin visuaalisesti (hikoilu, pinnan kosteus, suolaisuus/kiteet yms). Tasaannutusjaksojen jälkeen kappaleet kuivattiin absoluuttisen kuiviksi, jotta kosteudet eri olosuhteissa saatiin laskettua tarkasti.

Hygroσκοoppisuuskokeessa oli palosuojaamattomia sekä palosuojattuja Thermo-D koekappaleita (kuva 21). Koekappaleiden dimensiot olivat 25 mm x 100 mm x 100 mm. Hygroσκοoppisuuskoe toteutettiin puolaboratorion sääkaapissa.



Kuva 21. Koekappaleita NT BUILD 504 hygroσκοoppisuuskokeeseen.

Seuraavassa taulukossa 7 on koottuna hygroskooppisuuskokeen tulokset. Tulokset on laskettu viiden näytteen keskiarvona. Taulukossa on ilmoitettu näytteiden kosteudet (MC %) eri olosuhteissa sekä havaitaanko pinnoilla lisääntyntä suolaa/suolakiteitä. Näytteet olivat sääkaapissa muovialustoilla, jotta nähtiin, että tihkuuko näytteistä nestettä.

Taulukko 7. NT BUILD 504 hygroskooppisuuskokeen tuloksia.

NT BUILD 504 Hygroscopic properties	23 °C/rh 50 % MC %	27 °C / rh 90 % MC %	Salt	Liquid
TW Pine ref.	4,4	9,5	no	No exudation of liquid
TW Spruce ref.	4,4	9,6	no	No exudation of liquid
TW Pine + Kiilto 1	8,8	25,4	no	No exudation of liquid, but increased surface moist
TW Spruce + Kiilto 1	7,6	16,6	no	No exudation of liquid, but increased surface moist
TW Pine + Kiilto 1+P	5,6	24,2	no	No exudation of liquid, but increased surface moist
TW Spruce + Kiilto 1+P	5,1	16,9	no	No exudation of liquid, but increased surface moist
TW Pine + Nordtreat 1K	7,1	27,9	no	No exudation of liquid, but increased surface moist
TW Spruce + Nordtreat 1K	5,1	13,0	no	No exudation of liquid, but increased surface moist
TW Pine + Nordtreat 1K	6,0	17,0	no	No exudation of liquid, but increased surface moist
TW Pine + Nordtreat 1	4,9	12,4	no	No exudation of liquid, but increased surface moist
TW Spruce + Nordtreat 1	4,3	12,5	no	No exudation of liquid, but increased surface moist
TW Pine + Nordtreat 2	8,6	23,4	no	No exudation of liquid, but increased surface moist
TW Spruce + Nordtreat 2	5,9	15,2	no	No exudation of liquid, but increased surface moist
TW Pine + Teknos	4,8	9,5	no	No exudation of liquid
TW Spruce + Teknos	4,4	9,4	no	No exudation of liquid
Requirements: Moisture content < 28 % No exudation of liquid Minimum visible salt with no increase at surface				

Lämpökäsitellyn puun alentunut tasapainokosteus antaa lämpöpuulle selvää etua hygroskooppisuuskokeessa verrattuna normaaliin sahatavaraan. Vertailuna käsittelemättömän sahatavaran kosteudet korkeammassa kosteudessa olisivat keskimäärin noin 18 % luokkaa, kun hankkeessa Thermo-D jäi

keskimäärin alle 10 %. Tällä voi olla merkittävä vaikutus myös palosuojatun lämpöpuun kosteuspi-toisuuksiin. Tuloksista nähdään, että kaikki sarjat täyttivät NT BUILD 504 hygroskooppisuuskokeen asettamat raja-arvot. Kosteuden lisääntymistä havaittiin, mutta kaikkien erien keskikosteudet jäivät alle raja-arvon (< 28 %). Kosteuden noustessa lähelle 28 % kasvaa kuitenkin riski mikrobikasvulle, sillä muutamassa näytteessä havaittiin pieniä kasvustoja.

6.2 EN 927-6 säärasitus ja ISO 5660-1

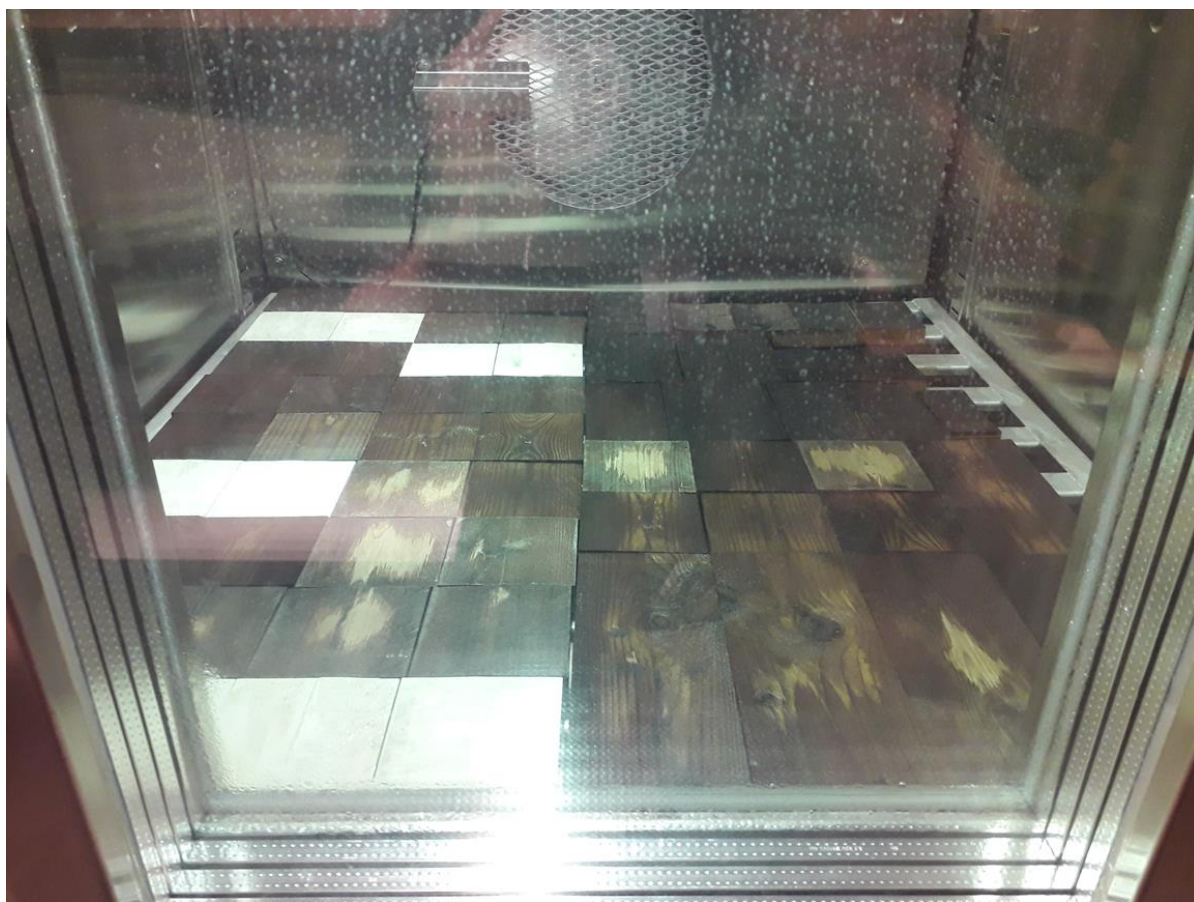
Säärasituskoe toteutettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoululla (Xamk) puulaboratoriossa. Puu-laboratoriolla on ohjelmoitava sääkaappi, johon voidaan ohjelmoida joko standardinmukaiset tai so-velletut sääsyklit sääkaapin raja-arvojen puitteissa (lämpötila, kosteus, UV ja sade). Sääkaapissa on mahdollista ohjata lämpötiloja -40... +100 °C asteen välillä. Kosteus on säädettävissä 10...98 % läm-pötila-alueella +20...90 °C. Kaapissa on ohjaus 1-3 UV-lampulle ja sadetus toteutetaan sadetussuut-timien kautta. Sääkaapin sisämitat ovat noin 1,0 m x 1,0 m x 1,5 m. Sääkaappiin ohjelmoitiin EN 927-6 standardinmukaiset sääsyklit (taulukko 8).

Taulukko 8. EN 927-6 standardinmukaiset säärasituksen syklit.

EN 927-6 Syklit (kesto: 2016 h)

Step	Function	Temperature	Duration	Condition
1	Condensation	(45 ± 3) °C	24 h	-
2	Subcycle step 3 + 4	-	144 h	-
3	UV	(60 ± 3) °C	2,5 h	irradiance set point 0,89 W/ (m ² nm) at 340 nm
4	Spray	-	0,5 h	6 L/min to 7 L/min, UV off

Alustavissa kokeissa näytteet olivat pieniä ja ne olivat vaakatasossa säärasituksessa (kuva 22). Stan-dardissa suositellaan käytettäväksi 500-800 mm pituisia näytteitä, mutta koekappaleiden suuresta määrästä ja testin kestosta johtuen alustavissa kokeissa käytettiin pieniä koekappaleita (25 mm x 100 mm x 100 mm). Kappaleet tulisi olla myös kallistettuna säärasituksessa, jotta liiallinen vesi valuisi pois koekappaleiden pinnoilta. Toisessa säärasituskokeessa oli muutama koekappale ja kappaleet oli-vat hieman pidempiä (25 mm x 100 mm x 300...500 mm) ja ne olivat kallistettuna säärasituksen ajan. Tässä toisessa erässä vertailtiin pidempien koekappaleiden sekä kallistuksen vaikutuksia tuloksiin pienemmillä koekappaleilla. Koekappaleiden päätyjä ei suljettu suoja-aineella, jotta saatiin mahdol-lisimman rankat olosuhteet koekappaleille.



Kuva 22. Thermo-D palosuojattuja koekappaleita sääkaapissa.

Seuraavassa taulukossa 9 on laskettuna ISO 5660-1 kartiokalomietrikokeen keskimääräiset kokonaislämmöntuotot (THR_{1200s}) ja niiden muutos-% säärasituksen vaikutuksesta pienillä koekappaleilla. Taulukossa 9 on myös vertailuksi käsittelemättömän Thermo-D materiaalin keskimääräiset kokonaislämmöntuotot. Tulokset ovat esitettynä Thermo-D männyn sekä kuusen keskimääräisinä tuloksina.

Taulukko 9. Thermo-D männyn sekä kuusen keskimääräiset kokonaislämmöntuotot (THR_{1200s}) ja niiden muutokset säärasituksen jälkeen. Säärasituksessa lyhyet koekappaleet.

Small specimens (25 mm x 100 mm x 100...250 mm)		
THR_{1200s} (MJ/m ²)	TW pine	TW spruce
TW Reference (no weathering)	105,19	94,03
FRT wood no weathering	74,07	77,05
FRT wood after EN 927-6 weathering	112,11	93,43
FRT wood THR change-%	51,4 %	21,3 %

Kartiokalorimetrikokeen tulokset säärasituksen jälkeen osoittavat, että pienillä koekappaleilla säärasituksen vaikutus on melko suurta. Tuloksista nähdään myös, että Thermo-D männyn tulokset heikentyivät keskimäärin enemmän kuin Thermo-D kuusen. Tämä saattaa osittain johtua siitä, että esimerkiksi kyllästettävillä palonsuoja-aineilla mäntyyn saadaan imeytymään enemmän palonsuojaainetta kuin kuuseen ja näin saadaan lähtötilanteessa myös parempia tuloksia. Mutta suurempi ainemäärä tarkoittaa myös sitä, että mahdollisesti liukenevaa kemikaalia on enemmän puussa, ja näin TW männyn prosentuaalinen muutos voi olla selvästi suurempi kuin TW kuusen.

Taulukossa 10 on esitetty pidempien koekappaleiden keskimääräiset kokonaislämmöntuotot (THR_{1200s}). Tällä vertailtiin säärasituksessa pidempien koekappaleiden vaikutuksia ISO 5660-1 tuloksiin.

Taulukko 10. Thermo-D männyn sekä kuusen keskimääräiset kokonaislämmöntuotot (THR_{1200s}) ja niiden muutokset säärasituksen jälkeen. Säärasituksessa pidemmät koekappaleet.

Longer specimens (25 mm x 100 mm x 300...500 mm)		
THR 0...1200s (MJ/m ²)	TW pine	TW spruce
FRT No weathering	74,07	77,05
FRT after the weathering	101,66	86,02
FRT THR Change-%	37,3 %	11,6 %

Tuloksia vertailtaessa lyhyempien ja pidempien koekappaleiden välillä nähdään, että pidemmällä kappaleilla keskimääräinen THR muutos ei ole niin suuri kuin pienillä koekappaleilla. Tulosten perusteella EN 927-6 säärasituskoe on melko rankka testi palosuojatuille koekappaleille ja siksi säärasituskoekappaleet kannattaa tehdä mahdollisimman pitkällä koekappaleilla (min 500 mm). Pidemmistä kappaleista voidaan myös päädyt sulkea helpommin, niin että sulkemiseen käytettävällä aineella ei ole vaikutusta kartiokalorimetrin koetukokseen.

EN 16755:2017 standardissa annetaan raja-arvoja, joilla pyritään tarkastelemaan palonsuojauksen toimivuutta säärasituksen jälkeen. Tarkastelua tehdään säärasittamattomien sekä säärasitettujen koekappaleiden välillä. Tällaisia raja-arvoja on kokonaislämmöntuoton THR_{600s} muutos ja HRR_{30s ave} lämmönvapautumisnopeus. THR_{600s} muutoksen raja-arvoksi annetaan < 20 %. HRR_{30s ave} raja-arvoiksi annetaan B luokassa ≤ 150 kW/m² ja C luokassa ≤ 220 kW/m².

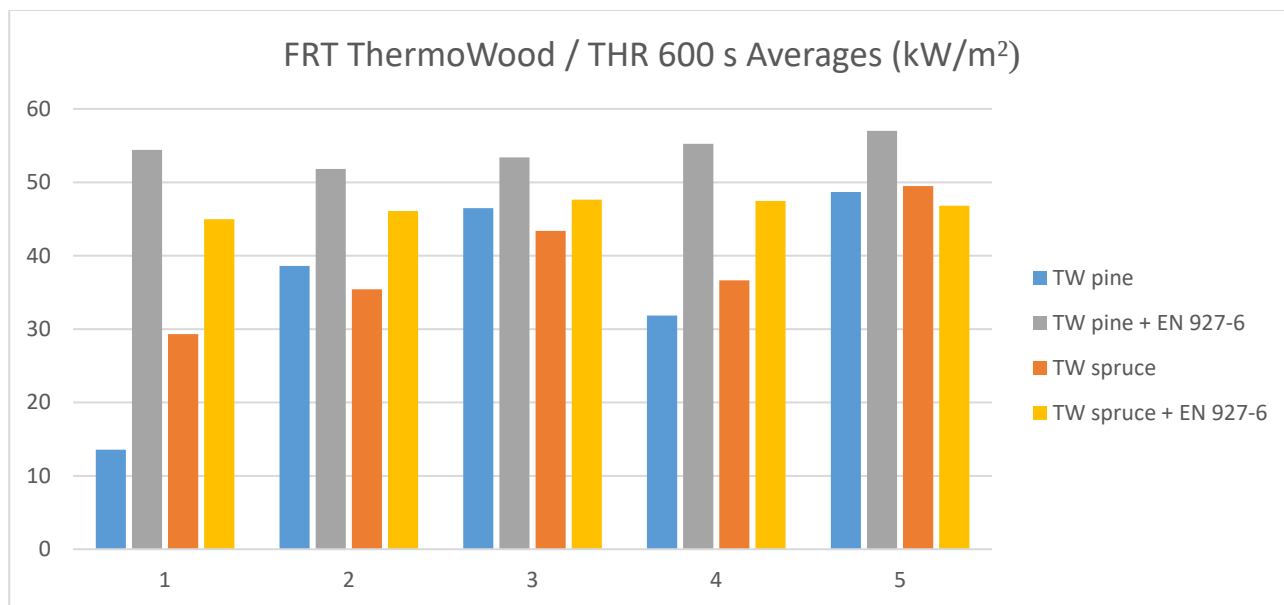
Seuraavassa taulukossa 11 on laskettuna Thermo-D männyn sekä Thermo-D kuusen keskimääräiset THR_{600s} lämmöntuotot sekä muutos %. Tulokset ovat esitettynä lyhyille koekappaleille sekä alla vertailuna pidemmille koekappaleille tehdyt kokeet.

Taulukko 11. ISO 5660-1 kartiokolorimetrikokeesta saadut THR_{600s} tulokset (FRT = palosuojattu).

Small specimens (25 mm x 100 mm x 100 mm)		
THR 0...600s (MJ/m ²)	TW pine	TW spruce
Reference no weathering	54,84	51,85
FRT No weathering	32,63	36,19
FRT After EN 927-6 weathring	54,38	46,60
FRT THR Change-% (limit: increace <20 %)	66,7	28,8
Longer specimens (25 mm x 100 mm x 300...500 mm)		
THR 0...600s (MJ/m ²)	TW pine	TW spruce
FRT No weathering	32,63	36,19
THR after the weathering	50,79	42,00
FRT THR Change-% (limit: increace <20 %)	55,7	16,1

THR_{600s} tuloksista nähdään myös, että Thermo-D männyn tulokset ovat heikentyneet keskimäärin enemmän kuin Thermo-D kuusen. Pidemmillä koekappaleilla on päästy Thermo-D kuusella keskimäärin alle 20 % muutokseen.

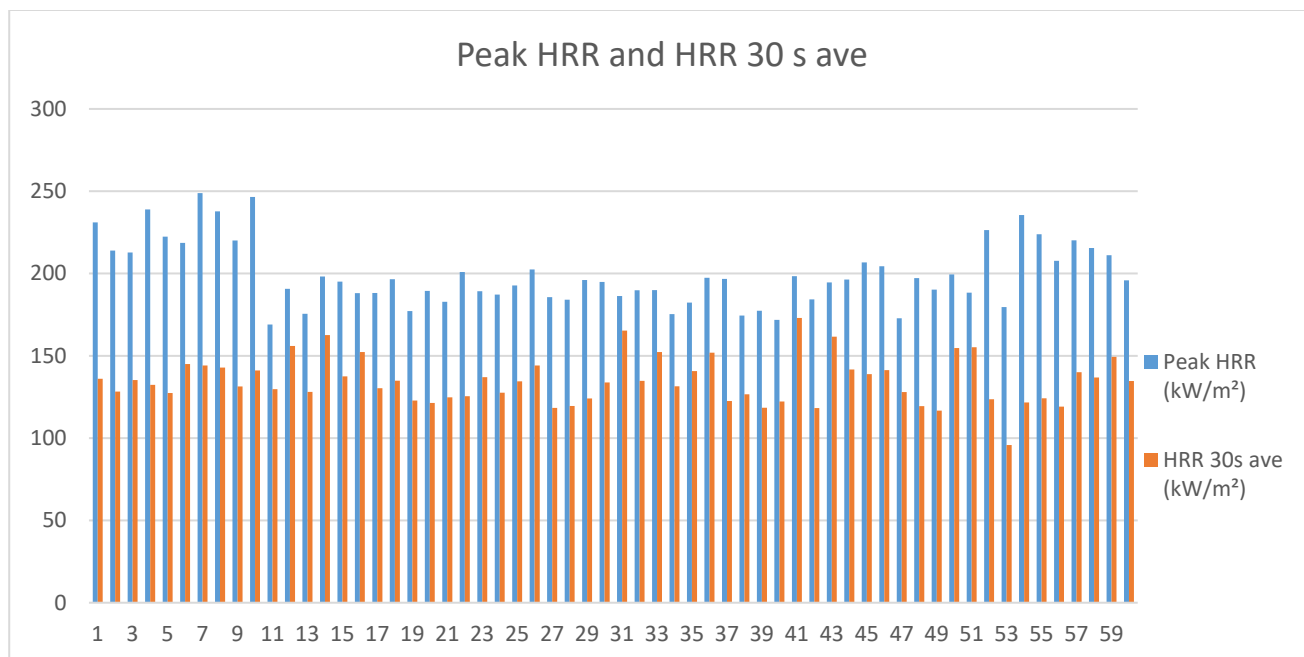
Seuraavassa kuvaajassa 6 on vertailuksi Thermo-D männyn sekä kuusen THR_{600s} eroja. Kuvaajassa on esitettynä viiden eri sarjan keskimääräiset tulokset ennen säärasitusta sekä EN 927-6 säärasituksen jälkeen.



Kuvaaja 6. THR_{600s} muutokset (%) palosuojatulla Thermo-D männyllä sekä kuusella.

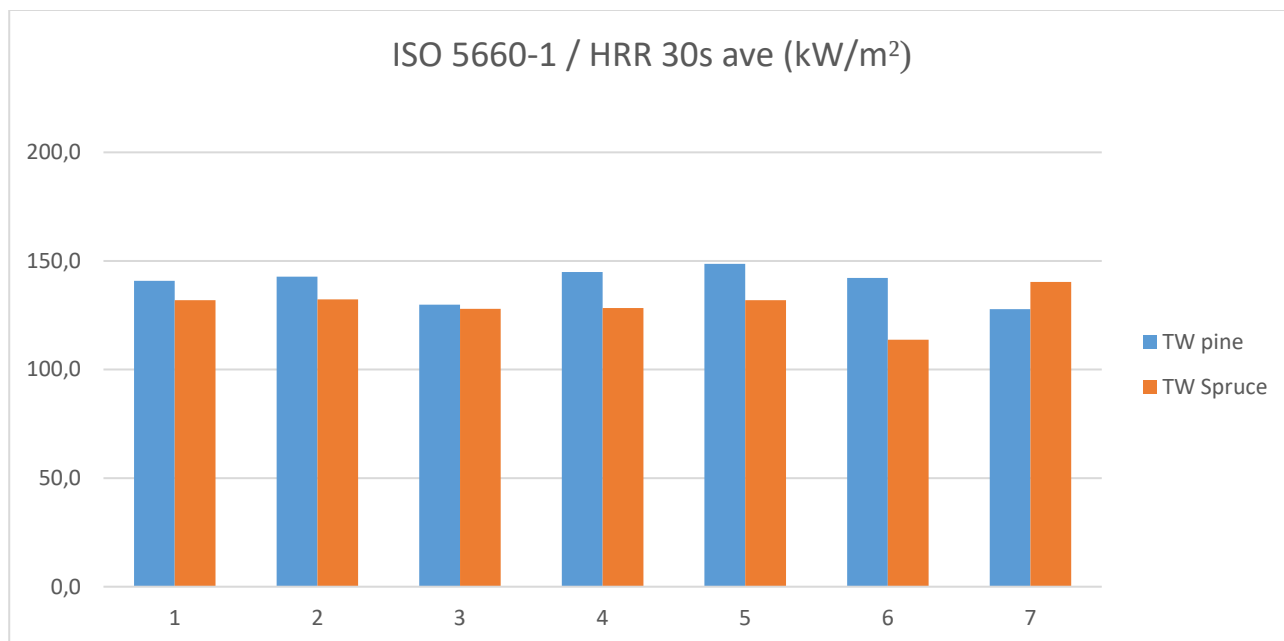
Käsittelymenetelmiä vertailtaessa havaitaan, että THR_{600s} muutokset kyllästetyillä koekappaleilla (sarjat 1 ja 4) ovat suurempia kuin pintakäsitellyillä koekappaleilla. Kuvaajasta nähdään, että säärasituksen jälkeiset tulokset ovat samaa tasoa Thermo-D männyllä sekä kuusella. Thermo-D männyn keskimääräiset THR_{600s} arvot olivat ennen säärasitusta 13-49 kW/m² välillä ennen säärasitusta ja säärasituksen jälkeen 54 ± 3 kW/m². Thermo-D kuusella ennen säärasitusta 29-50 kW/m² välillä ja säärasituksen jälkeen 42 ± 5 kW/m². Mutta tässä tulee taas huomioida säärasituksen suuri vaikutus pienillä koekappaleilla. Thermo-D männyllä tarvitsee vielä testata pidempiä (500...800 mm) koekappaleita säärasituksessa, jotta saadaan säärasituksen vaikutukset THR muutokseen tutkittua paremmin. Myös Thermo-D kuusella saataisiin todennäköisesti vielä parempia THR tuloksia pidemmällä koekappaleilla.

HRR_{30s ave} tulokset lasketaan kartiokalorimetrikokeessa saadun HRR-piikin mukaisesti. Laskentaan valitaan kolme HRR-arvoa ennen piikkiä sekä kolme arvoa piikin jälkeen. Valitut arvot lasketaan yhteen ja saatu summa jaetaan seitsemällä. Seuraavassa kuvaajassa on esitettyä kaikkien sarjojen koekappaleiden HRR-piikit sekä HRR_{30s ave} tulokset. HRR_{30s ave} arvot on laskettu 30 sekunnin jakson ajalta.



Kuvaaja 7. ISO 5660-1: HRR-piikit ja HRR 30s ave kappalekohtaiset tulokset säärasituksen jälkeen.

Kuvaajasta 7 nähdään, että lähes kaikki yksittäiset koekappaleet jäivät $HRR_{30s\ ave}$ arvoiltaan alle 150 kW/m². Standardissa vaaditaan vähintään kolmen koekappaleen testaamista ja tässä tutkimuksessa testattavat sarjat olivat 3-5 koekappaletta. Vaikka koekappaleet olivat säärasitukseen pieniä, niin kaikkien testattujen sarjojen keskimääräiset tulokset osoittavat, että kaikkien sarjojen keskimääräiset $HRR_{30s\ ave}$ tulokset jäivät alle B-luokkaan asetetun raja-arvon (≤ 150 kW/m²). Seuraavassa kuvaajassa on eriteltynä vertailuksi Thermo-D männyn sekä kuusen keskimääräiset tulokset.



Kuvaaja 8. ISO 5660-1 / HRR 30s ave keskimääräiset tulokset säärasituksen jälkeen palosuojatuille Thermo-D materiaaleille.

Säärasituskokeissa THR_{600s} arvot olivat osalla eristä yli standardin asettaman raja-arvon, mutta kaikilla erillä kuitenkin HRR_{30s ave} keskimääräiset arvot olivat silti jopa B luokkaan hyväksyttäviä. Toisaalta yksittäiset HRR-piikit olivat selvästi yli 150 kW/m², joka pelkän HRR-piikin tuloksena ei lupaisi paloluokan säilymistä. Tässä tulee esiin menetelmän haasteellisuus, sekä myös säärasituksen rajua vaikutus palonsuojaukseen. EN 16755 standardissa on myös eri vaihtoehtoja säärasitusmenetelmälle, jotka poikkeavat selvästi toisistaan. Esimerkiksi menetelmien välillä veden määrä sadetusyksikissä saattaa vaihdella 0,3-12 L/min x kappaleiden pinta-ala, mutta myös UV-valon käytössä on eroja menetelmien välillä. Hankkeen säärasitus tehtiin EN 927-6 sääsykleillä, jossa oli käytössä UV-valo ja sadetus (6-7 L/min). Laboratoriosäärasituskokeet ovat yleisestikin haastavia vertailussa luonnollisiin olosuhteisiin, koska olosuhteet poikkeavat eri maanosien välillä (auringonsäteily, lämpötila, sade, kaste jne).

7 SBI JA PIENEN LIEKIN PALOKOKEET

Ulkoverhouksissa palo etenee nopeitten tuuletusraossa. Palon nopea eteneminen johtuu hormivaikutuksen ansiosta, ja siksi onkin tärkeää, että SBI palokokeissa ulkoverhoukseen tarkoitetut tuotteet testataan rimavälin kanssa. SBI kokeessa on muutenkin tärkeää testata tuote sellaisella asennustavalla

kuin se tulisi lopullisessa käyttökohteessa. Myös puulaji ja dimensiot vaikuttavat lopullisten tulosten käytettävyyteen, sillä paksummalla dimensiolla saadut tulokset eivät päde ohuemmille tuotteille, mutta toisin päin tuloksia voidaan hyödyntää. Koemateriaaleja valittaessa onkin tärkeää kirjata ylös testattavien tuotteiden lähtötiedot sekä miten kyseiset kappaleet on valmistettu ja valittu testattavaksi (Sampling in AVCP systems 1 and 1+).

Varsinaisessa SBI palokokeessa testataan kahdesta pystysuorasta siivestä koostuvan suorakulmaisen nurkan palo-ominaisuuksia. Tällä kokeella arvioidaan tuotteen mahdollinen myötävaikutus palon kehittymiseen palo-olosuhteissa. Testattavasta materiaalista rakennettavien siipien dimensiot ovat $495 \pm 5 \text{ mm} \times 1500 \pm 5 \text{ mm}$ ja $1000 \pm 5 \text{ mm} \times 1500 \pm 5 \text{ mm}$. Koemateriaalit altistetaan propaanikaasupolttimen liekille, jonka lämpöteho on $30,7 \pm 2 \text{ kW}$. Polttimella jäljitellään yksittäisen esineen palamista huoneen nurkassa. Varsinainen palokoe kestää 20 minuuttia ja sen aikana tutkitaan kappaleista vapautuva lämmöntuotto, liekin leviäminen, savuntuotto sekä putoilevien osien tai pisaroiden esiintyminen. SBI palokoe on yksi standardinmukainen menetelmä, jolla määritetään tuotteen paloluokka. Raja-arvot eri paloluokille löytyvät standardista SFS EN 13501-1.

Rakennustarvikkeet jaetaan luokkiin sen perusteella, miten ne vaikuttavat palon syttymiseen ja sen leviämiseen sekä savun tuottoon ja palavaan pisarointiin.

Luokat:

- A1 Tarvikkeet, jotka eivät osallistu paloon.
- A2 Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on erittäin rajoitettu.
- B Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyvin rajoitettu.
- C Tarvikkeet, jotka osallistuvat paloon rajoitetusti.
- D Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyväksyttävissä.
- E Tarvikkeet, joiden käyttäytyminen palossa on hyväksyttävissä.
- F Tarvikkeet, joiden käyttäytymistä ei ole määritetty.

Savuntuotto, palavien osien ja pisaroiden esiintyminen:

- s1 Savuntuotto on erittäin vähäinen.
- s2 Savuntuotto on vähäinen.
- s3 Savuntuotto ei täytä aiempien luokkien vaatimuksia.
- d0 Palavia pisaroita tai osia ei ilmene.

- d1 Palavat pisarat tai osat sammuvat nopeasti.
- d2 Palavien pisaroiden tai osien tuotto ei yllä edellisten luokkien vaatimusten tasolle.

Lämpöpuu palosuojaus-hankkeessa kaikkien koekappaleiden SBI palokokeet toteutettiin Meka-palo-laboratoriolla (Latvia). Kaikki SBI poltot tehtiin tuuletusraon sekä taustalevyn kanssa (EN 13823:2010 / 5.2.2a). Polttokokeita tehtiin jokaisella testatulla sarjalla sekä vaaka että pystyasennuksella (kuvat 22 ja 23).



Kuva 23. Thermo-D kuusi / SBI vaaka-asennus (Horizontal). Luokka: D.



Kuva 24. Thermo-D kuusi / SBI pystyasennus (Vertical). Luokka: D.

Jokaisesta palokoenurkasta saatiin eräkohtainen tulos. Seuraavana on esimerkkinä SBI-palokokeista saadut raporttien 1 sivut kuvien 23 ja 24 mukaisille palokoenurkille. Raportissa on esitetty mm seuraavia luokitukseen vaikuttavia tietoja:

- $FIGRA_{0,2MJ}$ palon kehittymisnopeus THR-kynnysarvolla 0,2 MJ
- $FIGRA_{0,4 MJ}$ palon kehittymisnopeus THR-kynnysarvolla 0,4 MJ
- LFS sivusuuntainen leikin leviäminen
- THR_{600s} kokonaislämmöntuotto 600 s:n kuluttua
- SMOGA savun kehittymisnopeus
- TSP_{600s} kokonaissavuntuotto 600 s:n kuluttua
- FDP putoavat palavat pisarat tai osat, palo aika $\leq$ tai $> 10s$

Kuvan 23 tulokset Thermo-D kuuselle vaakaa-asennuksella (SBI test report 4001-1-2)

Report produced with the Fire Testing Technology SBIcalc software

page 1

SBI Test Report

Laboratory name MeKA Testing laboratory
 Operator Edgars Buksans
 Filename C:\SBI\CALC\Data\4001\4001-1-2.csv
 Report identification 4001-1-2
 Product identification Thermo -D Spruce TGV cladding profile

Test	Pre-test conditions	Specimen conditioning
Standard used EN 13823:2010	Baseline duct temperature 298.53 K	Method Fixed period
Date of test 30/09/2019	Ambient temperature 292.76 K	Time interval 24 hours
Date of report 30/09/2019	Ambient pressure 99.912 kPa	Mass 1 6757 g
E' 17.2 MJ/m ³	Relative humidity 57%	Mass 2 6756 g
		Temperature 23°C
		RH 50%
Apparatus specifications	Baseline conditions	
kt 0.87	Baseline ambient oxygen 20.562%	
kp 1.08	Baseline oxygen 20.951%	
Duct diameter 0.315 m	Baseline carbon dioxide 0.0428%	
O2 calibration delay time 12 s	Baseline smoke 100.11%	
CO2 calibration delay time 9 s		

Specimen information

Thickness 19 mm	Mounting method 5.2.2a) in EN 13823:2010
Density	Joints standard horizontal
Surface mass/area	Fixed to substrate? Yes
Specimen number 2	Fixing method screw
Date of arrival 10/09/2019	Substrate 40 mm wood studs and calcium silicate backing board
	Manufacturer
	Sponsor XAMK - South-Eastern Finland University of Applied Sciences Ltd

Test validity criteria

Test drifts	Initial	Final	Change	Burner details
Oxygen	20.951%	20.944%	0.007%	Burner HRR 31.892 kW
CO2	0.043%	0.044%	0.001%	Burner HRR std. dev. 0.605 kW
Smoke	100.11%	99.25%	0.009	Burner CO2/O2 ratio 0.606
				Burner SPR 0.025 m ² /s
				Burner SPR std. dev. 0.004 m ² /s
				Burner response time 9 s

Exposure time 1254 s

Synchronisation details

Duct temp. dropped by 2.5 K from baseline of 323.71 K at 303 s
 Oxygen rose by 0.05% from baseline of 20.666% at 303 s
 CO2 dropped by 0.02% from baseline of 0.216% at 303 s

Other checks	
Minimum duct flow	0.468 m ³ /s
Maximum duct flow	0.655 m ³ /s
Possible T/C1 failure	

Classification results

FIGRA(0.2)	626.0 W/s at 369 s
FIGRA(0.4)	626.0 W/s at 369 s
THR(600)	19.3 MJ
SMOGRA	4.1 m ² /s ² at 552 s
TSP(600)	63.4 m ²

Classification observations

LFS to edge?	No
FDP flaming <= 10s?	No
FDP flaming > 10s?	No

Potential classification

Class	D
Smoke production	s2
Flaming droplets/particles	d0

Recorded events

Surface flashes? No; Falling specimen parts? No; Smoke not entering hood? No
 Mutual fixing of backing board failed? No; Distortion/collapse of specimen? No

Pre-test comments

After-test comments

The test results relate to the behaviour of the test specimens of a product under the particular conditions of the test; they are not intended to be the sole criterion for assessing the potential fire hazard of the product in use.

Kuvan 24 SBI-tulokset Thermo-D kuuselle pystyasennuksella (SBI test report 4001-1-1)

Report produced with the Fire Testing Technology SBICalc software

page 1

SBI Test Report

Laboratory name MeKA Testing laboratory
 Operator Edgars Buksans
 Filename C:\SBICALC\Data\4001\4001-1-1.csv
 Report identification 4001-1-1
 Product identification Thermo -D Spruce TGV cladding profile

Test

Standard used EN 13823:2010
 Date of test 30/09/2019
 Date of report 30/09/2019
 E' 17.2 MJ/m²

Pre-test conditions

Baseline duct temperature 296.35 K
 Ambient temperature 292.82 K
 Ambient pressure 99.893 kPa
 Relative humidity 57%

Specimen conditioning

Method Fixed period
 Time interval 24 hours
 Mass 1 6757 g
 Mass 2 6756 g
 Temperature 23°C
 RH 50%

Apparatus specifications

kt 0.87
 kp 1.08
 Duct diameter 0.315 m
 O2 calibration delay time 12 s
 CO2 calibration delay time 9 s

Baseline conditions

Baseline ambient oxygen 20.611%
 Baseline oxygen 20.953%
 Baseline carbon dioxide 0.0425%
 Baseline smoke 100.07%

Specimen information

Thickness 19 mm	Mounting method 5.2.2a) in EN 13823:2010
Density	standard vertical
Surface mass/area	Fixed to substrate? Yes
Specimen number 1	Fixing method screw
Date of arrival 10/09/2019	Substrate 40 mm wood studs and calcium silicate backing board
	Manufacturer
	Sponsor XAMK - South-Eastern Finland University of Applied Sciences Ltd

Test validity criteria

Test drifts

	Initial	Final	Change
Oxygen	20.953%	20.949%	0.003%
CO2	0.043%	0.047%	0.004%
Smoke	100.07%	99.67%	0.004

Burner details

Burner HRR 31.291 kW
 Burner HRR std. dev. 0.740 kW
 Burner CO2/O2 ratio 0.613
 Burner SPR 0.025 m²/s
 Burner SPR std. dev. 0.005 m²/s
 Burner response time 9 s

Exposure time 1254 s

Synchronisation details

Duct temp. dropped by 2.5 K from baseline of 321.16 K at 303 s
 Oxygen rose by 0.05% from baseline of 20.671% at 303 s
 CO2 dropped by 0.02% from baseline of 0.215% at 303 s

Other checks

Minimum duct flow 0.495 m³/s
 Maximum duct flow 0.654 m³/s
 No T/C failure

Classification results

FIGRA(0.2) 698.1 W/s at 366 s
 FIGRA(0.4) 698.1 W/s at 366 s
 THR(600) 19.3 MJ
 SMOGRA 3.2 m²/s² at 1458 s
 TSP(600) 40.9 m²

Classification observations

LFS to edge? No
 FDP flaming <= 10s? No
 FDP flaming > 10s? No

Potential classification

Class D
 Smoke production s1
 Flaming droplets/particles d0

Recorded events

Surface flashes? No; Falling specimen parts? No; Smoke not entering hood? No
 Mutual fixing of backing board failed? No; Distortion/collapse of specimen? No

Pre-test comments

After-test comments

The test results relate to the behaviour of the test specimens of a product under the particular conditions of the test; they are not intended to be the sole criterion for assessing the potential fire hazard of the product in use.

Thermo-D kuusella tulokset ristesivät sen verran vaaka- ja pystyasennuksen välillä, joten tämä tar-
koitti kahta lisäpolttoa molemmissa suunnissa (taulukko 12). Thermo-D kuusen EN 13501-1 luoki-
tusraportti on nähtävissä liitteissä.

Taulukko 12. Thermo-D kuusi (TGV-profiili), dimensiot: 19 mm x 140 mm.

Wood material (ref)	Profile	Dimensions		SBI-fire test
		mm	Mounting	
Thermo-D Spruce	TGV	19 x 140	Vertical	D - s1 - d0
Thermo-D Spruce	TGV	19 x 140	Horizontal	D - s2 - d0
Thermo-D Spruce	TGV	19 x 140	Vertical	D - s2 - d0
Thermo-D Spruce	TGV	19 x 140	Vertical	D - s1 - d0
Thermo-D Spruce	TGV	19 x 140	Horizontal	D - s2 - d0
Thermo-D Spruce	TGV	19 x 140	Horizontal	D - s2 - d0
				D - s2 - d0

Thermo-D männyllä saatiin molemmissa asennussuunnissa SBI palokokeen tulokseksi luokka E (tau-
lukko 13). Tämä tarkoittaa, että lisää SBI- kokeita ei tarvita vaan luokitteluun riittää lisäkokeena pie-
nen liekin polttokokeet. Liitteissä Thermo-D männyn SBI raportit esimerkkinä SBI-polttokokeille.

Taulukko 13. Thermo-D mänty (UTV-profiili), dimensiot: 19 mm x 140 mm.

Wood material (ref)	Profile	Dimensions		SBI-fire test
		mm	Mounting	
Thermo-D Pine	UTV	19 x 140	Vertical	E - s2 - d0
Thermo-D Pine	UTV	19 x 140	Horizontal	E - s2 - d0
				E

Seuraavissa taulukoissa 14-19 on yhteenvedona tuloksia palosuojattujen koemateriaalien SBI poltto-
kokeista.

Taulukko 14. Palonsuoja-aineella kyllästetty Thermo-D kuusi.

Chemical	Wood	Dimensions		SBI-fire test
		Profile	mm	
Kiilto 2	Thermo-D Spruce	TGV	19 x 140	Vertical
Kiilto 2	Thermo-D Spruce	TGV	19 x 140	Vertical
Kiilto 2	Thermo-D Spruce	TGV	19 x 140	Vertical
Kiilto 2	Thermo-D Spruce	TGV	19 x 140	Horizontal
				B - s2 - d0

Taulukko 15. Palonsuoja-aineella kyllästetty Thermo-D mänty.

Chemical	Wood	Profile	Dimensions		SBI-fire test
			mm	Mounting	
Kiilto 2	Thermo-D Pine	UTV	19 x 140	Horizontal	A2/B - s2 - d0
Kiilto 2	Thermo-D Pine	UTV	19 x 140	Horizontal	A2/B - s2 - d0
Kiilto 2	Thermo-D Pine	UTV	19 x 140	Horizontal	A2/B - s2 - d0
Kiilto 2	Thermo-D Pine	UTV	19 x 140	Vertical	A2/B - s2 - d0
Kiilto 2	Thermo-D Pine	UTV	19 x 140	Vertical	A2/B - s2 - d0
Kiilto 2	Thermo-D Pine	UTV	19 x 140	Vertical	A2/B - s2 - d0
					B - s2 - d0

Kiilto 2 kemikaalilla saatiin Thermo-D männylle sekä kuuselle B-luokka.

Taulukko 16. Palonsuoja-aineella kyllästetty ja pintakäsitelty Thermo-D kuusi.

Chemical	Wood	Profile	Dimensions		SBI-fire test
			mm	Mounting	
Nordtreat 3	Thermo-D Spruce	TGV	19 x 140	Horizontal	C - s1 - d0
Nordtreat 3	Thermo-D Spruce	TGV	19 x 140	Horizontal	A2/B - s1 - d0
Nordtreat 3	Thermo-D Spruce	TGV	19 x 140	Horizontal	A2/B - s1 - d0
Nordtreat 3	Thermo-D Spruce	TGV	19 x 140	Vertical	A2/B - s1 - d0
Nordtreat 3	Thermo-D Spruce	TGV	19 x 140	Vertical	A2/B - s1 - d0
Nordtreat 3	Thermo-D Spruce	TGV	19 x 140	Vertical	C - s1 - d0
					B - s1 - d0

Taulukko 17. Palonsuoja-aineella kyllästetty ja pintakäsitelty Thermo-D mänty.

Chemical	Wood	Profile	Dimensions		SBI-fire test
			mm	Mounting	
Nordtreat 3	Thermo-D Pine	UTV	19 x 140	Horizontal	C - s2 - d0
Nordtreat 3	Thermo-D Pine	UTV	19 x 140	Horizontal	C - s2 - d0
Nordtreat 3	Thermo-D Pine	UTV	19 x 140	Horizontal	C - s2 - d0
Nordtreat 3	Thermo-D Pine	UTV	19 x 140	Vertical	C - s2 - d0
Nordtreat 3	Thermo-D Pine	UTV	19 x 140	Vertical	C - s1 - d0
Nordtreat 3	Thermo-D Pine	UTV	19 x 140	Vertical	C - s2 - d0
					C - s2 - d0

Nordtreat kemikaalilla 3 saatiin Thermo-D kuuselle B-luokka. Thermo-D mänty meni C-luokkaan. Tässä voisi pienellä kemikaalin määrän lisäyksellä kyllästyksessä tai pintakäsittelyssä saada B-luokka myös TW männyllä, sillä tulokset olivat lähellä B-luokkaa.

Taulukko 18. Palonsuoja-aineella pintakäsitelty Thermo-D kuusi.

Chemical	Wood	Profile	Dimensions		SBI-fire test
			mm	Mounting	
Teknos	Thermo-D Spruce	TGV	19 x 140	Horizontal	C - s2 - d0
Teknos	Thermo-D Spruce	TGV	19 x 140	Horizontal	C - s2 - d0
Teknos	Thermo-D Spruce	TGV	19 x 140	Horizontal	C - s2 - d0
Teknos	Thermo-D Spruce	TGV	19 x 140	Vertical	C - s1 - d0
					C - s1 - d0

Taulukko 19. Palonsuoja-aineella pintakäsitelty Thermo-D mänty.

Chemical	Wood	Profile	Dimensions		SBI-fire test
			mm	Mounting	
Teknos	Thermo-D Pine	UTV	19 x 140	Horizontal	C - s2 - d0
Teknos	Thermo-D Pine	UTV	19 x 140	Horizontal	C - s2 - d0
Teknos	Thermo-D Pine	UTV	19 x 140	Horizontal	C - s2 - d0
Teknos	Thermo-D Pine	UTV	19 x 140	Vertical	C - s2 - d0
					C - s2 - d0

Teknosin palonsuojamaalilla saatiin Thermo-D kuuselle luokaksi C, mutta arvot olivat lähellä B-luokkaa, joten pienellä levitysmäärän optimoinnilla voisi saada B-luokkaan palosuojattua materiaalia. Thermo-D mänty (UTV-profiili) oli taas hieman kauempana B-luokan tulosta, kuin Thermo-D kuusen (TGV-profiili), mutta tässäkin lisäämällä palonsuojamaalia voisi saada korotettua Thermo-D männyn pintaluokkaa.

Kaikilla hankkeessa käytetyillä palonsuoja-aineilla ja käsittelymenetelmillä saatiin parannettua Thermo-D männyn sekä kuusen luokitusta. Thermo-D mänty (E-luokka) oli lähtötilanteessa Thermo-D kuusta (D-luokka) heikompi ja tämä havaittiin TW männyllä heikompina tuloksina myös palosuojatuilla tuotteilla. Tähän on saattanut vaikuttaa erot 19 mm paksujen profiilien välillä (UTV vs. TGV), sillä profiilien yhtymäkohdat/saumat ovat hieman erilaisia (kuva 5). Yhdellä erällä saatiin kuitenkin myös Thermo-D männylle B-luokan tulos, kun kemikaalia optimoitiin alustavien kokeiden perusteella. Tämän tuloksen perusteella Thermo-D männylle

Asennussuunnalla ei näyttänyt olevan keskimääräisesti suurta vaikutusta, sillä keskimäärin tulokset olivat melko yhteneväisiä. Jos jotain eroja etsitään asennustavalle yksittäisissä palonurkissa, niin sa-

vuntuotto oli hieman pienempi käsittelemättömällä Thermo-D kuusella pystyasennuksena verrattaessa vaakasennukseen. Tämä toistui Thermo-D männyllä sekä kuusella myös parissa palosuojatussa palonurkassa. Seuraavissa kuvissa on esimerkkejä tämän tutkimuksen SBI-palokokeista eri luokissa.



Kuva 25. SBI-palokoe / Thermo-D mänty.



Kuva 26. SBI palokoe / Thermo-D kuusi.

ISO 5660 ja SBI tulosten keskinäinen vertailu

SBI koe-eristä valittiin satunnaiset koekappaleet ISO 5660-1 kartiokolorimetrikokeeseen. Tällä ko-
keella haluttiin saada vertailuarvoja ISO 5660-1 kokeen sekä SBI-palokokeen välille, sillä kartioka-
lorimetrikoe on paljon käytetty menetelmä haarukoimaan palonsuojauksen toimivuutta pienemmillä
koekappaleilla, mutta SBI koetuloksen ennustettavuus on niiden pohjalta haastavaa. Yhtenä suurena
haasteena on tässä yksittäisen koekappaleen kartiokolorimetri tuloksen vertailu useamman koekap-
paleen tulokseen SBI-palonurkassa. Seuraavassa taulukossa on esitetty kolmen koekappaleen ISO
5660-1 keskimääräiset tulokset sekä vertailuksi saman erän koekappaleiden SBI tulos.

Taulukko 20. ISO 5660-1 kartiokolorimetri tulosten vertailu SBI tulokseen

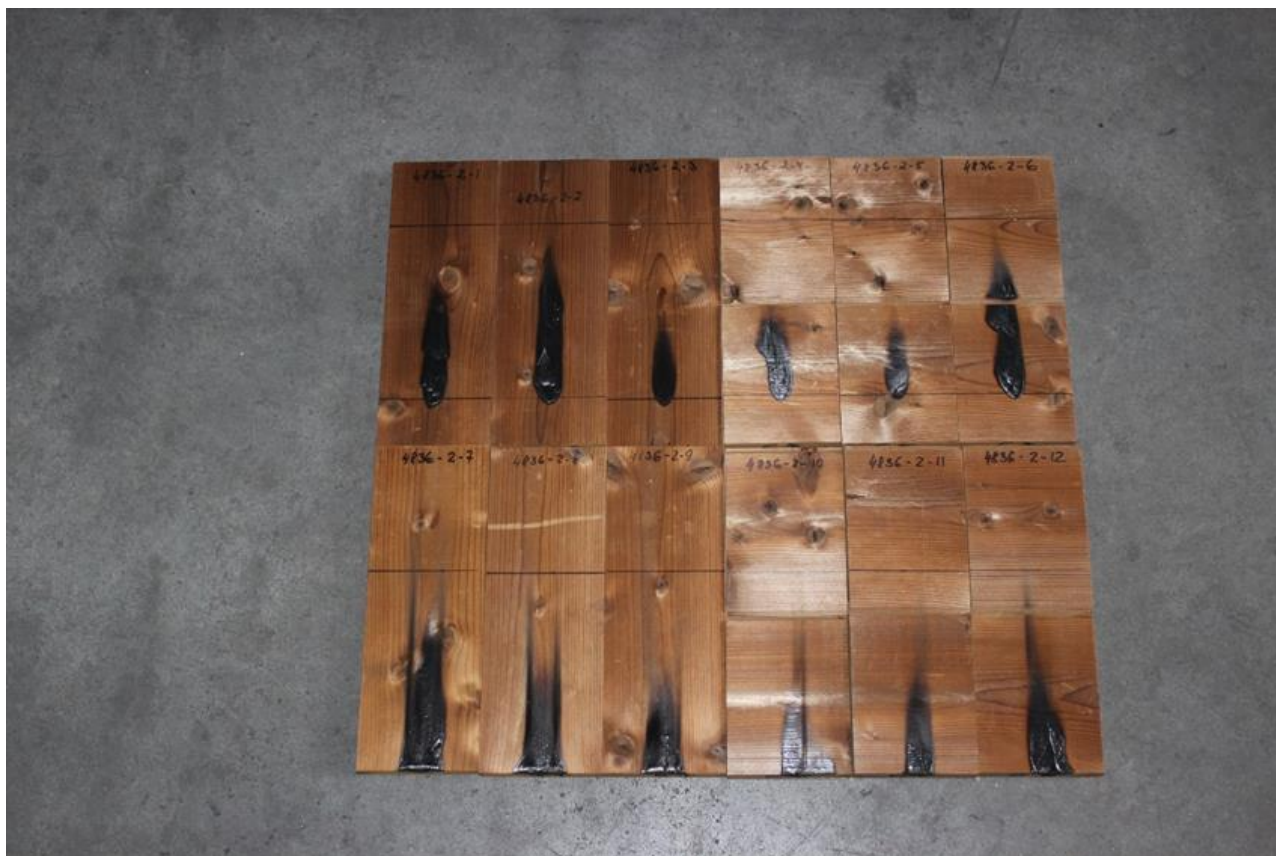
ISO 5660 vs. SBI Thermo-D pine and spruce (19x100x100mm)							
Materials	t(ig) s	t(fo) s	HRR(peak) kW/m ²	tpeak s	THR MJ/m ²	MAHRE kW/m ²	SBI
1. FRT / TW Pine no35	15	0	115,5	33,3	86,94	73,65	C
2. FRT / TW Spruce no36	11,7	0	112,2	35	63,82	65,98	B
3. FRT / TW Pine no1	0	0	35,42	1165	20,46	17,16	B
4. FRT / TW Pine no5	28,3	758,3	124,6	61,7	74,16	66,9	C
5. FRT / TW Spruce no5	37,7	396	108,7	400	81,17	67,81	B
6. TW spruce(ref) no4	17	0	193,3	40	98,78	92,03	D

Saatujen tulosten perusteella jonkinlainen raja-arvo HRR-piikissä asettuisi 112-115 kW/m² välille, sillä 112,2 kW/m² HRR-piikillä on saatu SBI kokeessa kyseiselle sarjalle B-luokan tulos, kun taas 115,5 kW/m² HRR-piikillä on saatu SBI kokeessa kyseiselle sarjalle C-luokan tulos (materiaalit 1 ja 2). Kokonaislämmöntuottoa tarkasteltaessa tulokset taas risteävät (materiaalit 4 ja 5), kun esimerkiksi THR 81,17 kW/m² tulos on antanut SBI kokeessa B-luokkaan ja matalampi THR 74,16 kW/m² tulos on taas mennyt C-luokkaan. Näitä eriä tarkasteltaessa HRR-piikki on B-luokan materiaalilla korkeampi kuin C-luokan, mutta C-luokat on saatu palokokeessa Thermo-D männyllä (UTV-profiili), joten profiilin vaikutusta ei voida suoraan arvioida tässä kartiokolorimetrikokeessa. Tässä tulee esiin menetelmien vertailun haasteellisuus, mutta kartiokolorimetrikokeesta saadaan kuitenkin suuntaa antavia tuloksia.

Pienen liekin polttokoe

EN ISO 11925-2 Pienen liekin polttokokeessa mitataan tuotteen syttymisherkkyyttä, liekin leviämistä ja etenemistä tuotteen pinnalla, sekä mahdollisesti testin aikana syntyvien palavien pisaroiden ja osien esiintymistä. Kokeessa propaanikaasuliekki kohdistetaan 45 °:n kulmassa koekappaleeseen nähden. Testattava tuote altistetaan liekille joko 15 sekunniksi tai 30 sekunniksi. Kokeen kokonaiskesto on 30 sekuntia tai 60 sekuntia. Luokituksissa liekki ei saa edetä yli 150 mm siitä kohdasta johon liekki on altistettu. Pienenliekintestissä koekappaleet ovat 90 mm x 250 mm ja tuotteen paksuus määrää liekin kohdistamisen tuotteen pinnalle tai alareunaan. Kokeessa tulee testata kolme kappaletta tuotteen pituussuuntaisesti ja kolme vaakasuuntaisesti. Pienen liekin polttokoe tehdään standardin mukaisesti paloluokissa B, C, D ja E. Luokassa F käyttäytymistä ei tarvitse määritellä ja luokassa E käytetään lyhyempää altistusaikaa. Raja-arvot eri paloluokille löytyvät standardista SFS EN 13501-1.

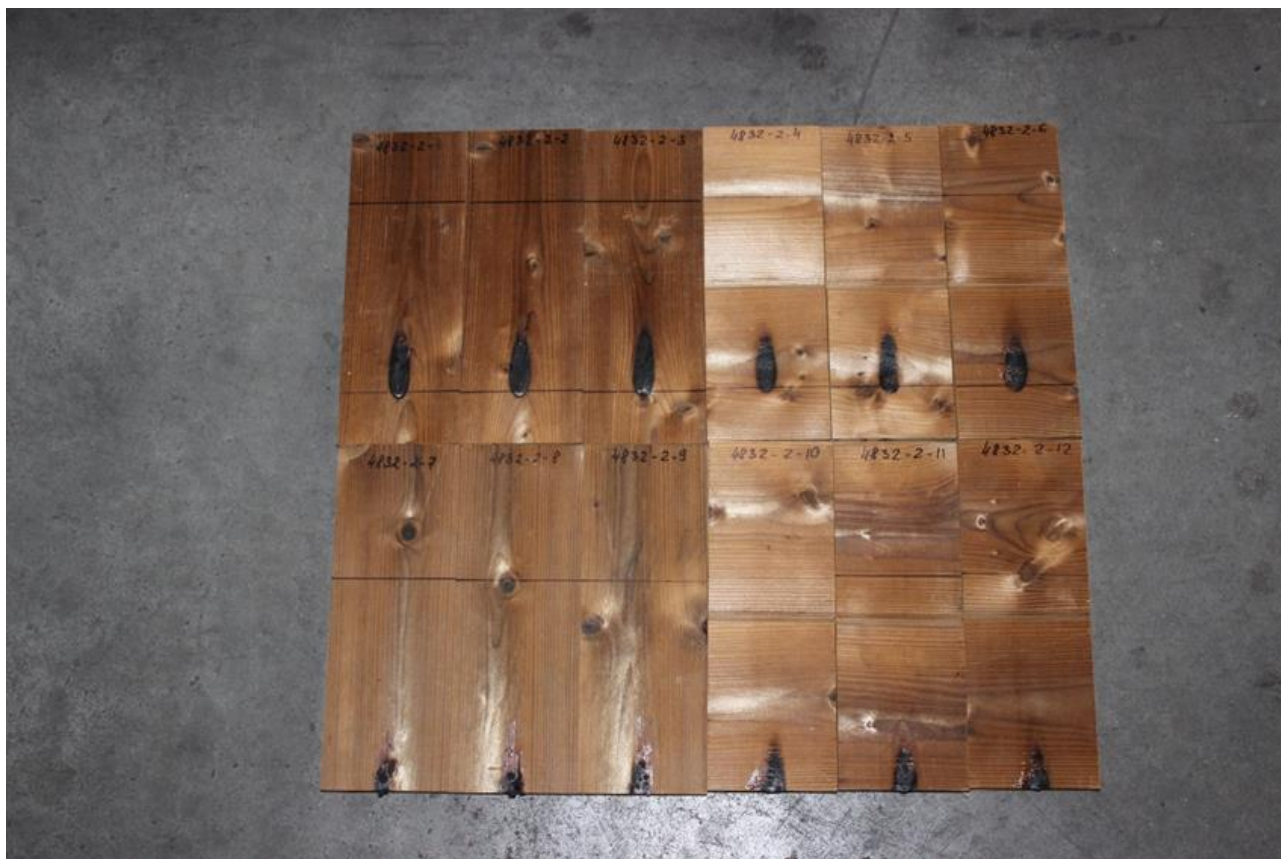
Seuraavissa kuvissa on esitettynä esimerkkinä koekappaleet pienen liekin polttokokeen jälkeen. Kuvassa liekki on kohdistettu 40 mm koekappaleen alareunasta sekä myös reunasytytys on testattu. Kaikille erille tehtiin palokokeet koemateriaalin pituus- sekä vaakasuuntaisesti. Koemateriaalit olivat satunnaisesti valittuja kappaleita samoista eristä kuin SBI polttokokeissa. Koemateriaaleista valmistettiin 19 mm x 90 mm x 250 mm kokoiset koekappaleet. Kuvien alapuolella on esitettynä taulukossa kyseisen sarjan tulokset.



Kuva 27. Thermo-D kuusi vertailukappaleet (EN ISO 11925-2).

Taulukko 21. Pienen liekin polttokokeen tulokset palosuojaamattomalle Thermo-D kuuselle.

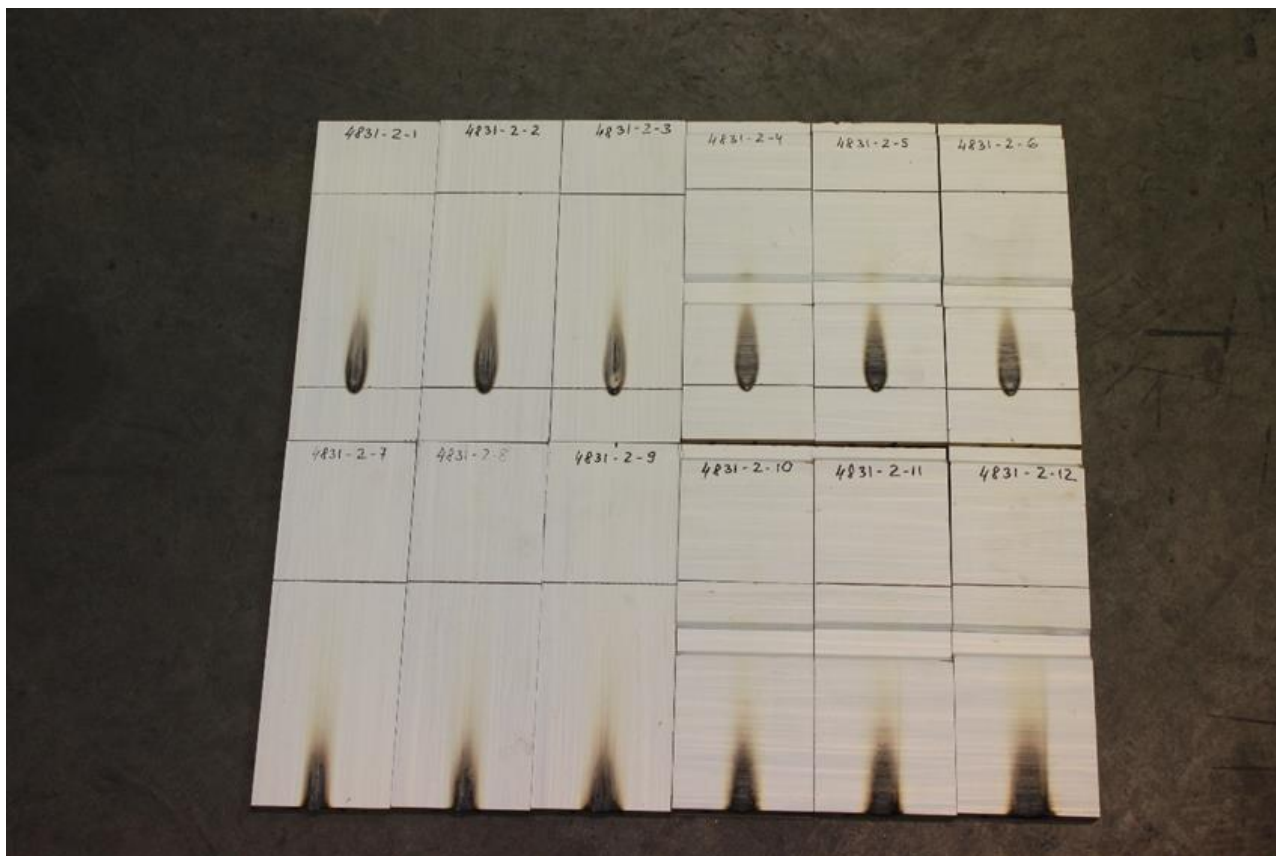
Specimen No	Orientation	Flame application	Flame application time, s	Flame reach 150 mm mark, time, s	Damage by flame, mm	Ignition of filter paper, yes/no	Ignition time, s	Flameout time, s
4836-2-1	↑	surface	30	-	100	no	5	-
4836-2-2	↑	surface	30	-	120	no	6	-
4836-2-3	↑	surface	30	-	65	no	6	30
4836-2-4	→	surface	30	-	75	no	6	-
4836-2-5	→	surface	30	-	70	no	7	32
4836-2-6	→	surface	30	-	130	no	5	-
4836-2-7	↑	bottom edge	30	-	120	no	1	-
4836-2-8	↑	bottom edge	30	-	85	no	1	-
4836-2-9	↑	bottom edge	30	-	80	no	1	-
4836-2-10	→	bottom edge	30	-	65	no	1	50
4836-2-11	→	bottom edge	30	-	80	no	1	41
4836-2-12	→	bottom edge	30	-	85	no	1	-



Kuva 28. Palosuojattu Thermo-D kuusi (EN ISO 11925-2).

Taulukko 22. Pienen liekin polttokokeen tulokset palosuojatulle Thermo-D kuuselle.

Specimen No	Orienta- tion	Flame aplication	Flame applica- tion time, s	Flame reach 150 mm mark, time, s	Damage by flame, mm	Ignition of filter paper, yes/no	Ignition time, s	Fla- meout time, s
4832-2-1	↑	surface	30	-	50	no	4	30
4832-2-2	↑	surface	30	-	55	no	3	30
4832-2-3	↑	surface	30	-	55	no	5	30
4832-2-4	→	surface	30	-	50	no	3	30
4832-2-5	→	surface	30	-	50	no	5	30
4832-2-6	→	surface	30	-	50	no	3	30
4832-2-7	↑	bottom edge	30	-	35	no	1	30
4832-2-8	↑	bottom edge	30	-	40	no	1	30
4832-2-9	↑	bottom edge	30	-	35	no	1	30
4832-2-10	→	bottom edge	30	-	35	no	1	30
4832-2-11	→	bottom edge	30	-	35	no	1	30
4832-2-12	→	bottom edge	30	-	35	no	1	30



Kuva 29. Palosuojattu Thermo-D mänty (EN ISO 11925-2).

Taulukko 23. Pienen liekin polttokokeen tulokset palosuojatulle Thermo-D männylle.

Specimen No	Orientation	Flame application	Flame application time, s	Flame reach 150 mm mark, time, s	Damage by flame, mm	Ignition of filter paper, yes/no	Ignition time, s	Flameout time, s
4831-2-1	↑	surface	30	-	65	no	5	30
4831-2-2	↑	surface	30	-	70	no	5	30
4831-2-3	↑	surface	30	-	65	no	5	30
4831-2-4	→	surface	30	-	70	no	5	30
4831-2-5	→	surface	30	-	65	no	4	30
4831-2-6	→	surface	30	-	65	no	5	30
4831-2-7	↑	bottom edge	30	-	55	no	1	30
4831-2-8	↑	bottom edge	30	-	50	no	1	30
4831-2-9	↑	bottom edge	30	-	55	no	1	32
4831-2-10	→	bottom edge	30	-	55	no	1	30
4831-2-11	→	bottom edge	30	-	55	no	1	33
4831-2-12	→	bottom edge	30	-	60	no	1	35

Pienen liekin polttokokeiden tulokset olivat kaikkien sarjojen osalta hyväksyttäviä liekin leviämisen tai putoavien palavien pisaroiden osalta.

8 YHTEENVETOA JA POHDINTAA

Lämpökäsitellyn puun palosuojaukselle on monia vaihtoehtoja. Palonsuojakäsittely voidaan toteuttaa painekyllästämällä tai pintakäsittelemällä. Paineekyllästyksessä voidaan käyttää valmiiksi profiloituja lämpöpuutuotteita helpommin kuin esimerkiksi tavallisella sahatavaralla. Lämpöpuun etuna on tässä sen parantunut mitta- ja muotopysyvyys, joten muodon muutoksia kyllästyksessä ei juurikaan synny. Vaikka lämpökäsitelty mänty ja kuusi on hieman helpommin kyllästettävissä pintapuuosuudelta kuin esimerkiksi tavallinen sahatavara, niin sydänpuuosuudet käyttäytyvät melko samalla tavalla kuin käsittelemättömällä sahatavaralla. Suuret pinta- ja sydänpuun vaihtelut aiheuttavat samalla tavalla hajontaa retentioissa kuin tavallisella sahatavaralla. Tästä johtuen painekyllästyksissä materiaalin esi-valinnalla saataisiin kyllästyskäsittelyissä tasaisemmat retentiojakaumat. Valmiin profiilin ohuimmat kohdat ovat yleensä pintapuuosuudella, joka on samalla helpointa kyllästää. Tästä voisi olla hyötyä palosuojauksen ja kemikaalin kulutuksen optimoinnin näkökulmasta kyllästyskäsittelyissä. Pintakäsittelyissä kemikaalin kappalekohtainen ainemääränsäätely on helpompaa kuin kyllästyskäsittelyissä. Pintakäsittelyissä ei myöskään tarvita painekäsittelyn kaltaisia laitteistoja. Paine käsittelyn etuna on kuitenkin se, että kemikaali saadaan tunkeutumaan syvemmälle ja tuotteet tulee ympärikäsiteltyä yhdellä käsittelykerralla profiilista riippumatta. Pintakäsittelyt on haastava toteuttaa yhdellä käsittelykerralla, jos levitysmäärät ovat suuria. Myös ympärikäsitelyvaatimus palosuojauksen näkökulmasta johtaa yleensä useampaan käsittelykertaan. Kyllästyskäsittelyissä painetaan puuhun yleensä melko suuri määrä kemikaalia. Tästä ja liuosvahvuudesta johtuen tuotteet saattavat olla todella märkiä kyllästyskäsittelyn jälkeen ja tämä tarkoittaa yleensä tuotteiden varastointia tai kuivausta ennen asennusta.

Hankkeen pienen mittakaavan käsittelyissä saatiin hyvin haarukoitua prosessiparametreja ja testattua käsittelymenetelmiä. Pienen mittakaavan palokokeista saatujen tulosten perusteella tehtiin valintoja ison mittakaavan palokokeisiin. Hankkeen tuloksia vertailtaessa on haasteellista sanoa pienen mittakaavan kokeiden perusteella saako tuote pintaluokaksi B vai C. Esimerkiksi kartiokaloremetrikoissa selvät tapaukset ovat nähtävissä, mutta rajatapauksissa ennustaminen on haastavaa. Edullisinta olisi kuitenkin valmistuskustannusten näkökulmasta saada optimoitua kemikaalin kulutus tasolle,

jolla saavutetaan käyttökohteen mukaisesti vaadittu minimi pintaluokka palotesteissä. Myös koemateriaalien profiilit aiheuttavat haastetta palokokeiden tulosten vertailtavuuteen, sillä kartiokalorimetrikokeissa profiilien vaikutukset eivät tule samalla tavalla esiin kuin SBI palokokeissa. Kartiokalorimetrikokeet pienemmällä säteilyteholla, tai käyttämällä profiilin ohuimman kohdan paksuisia koekappaleita, saattaisi saada paremmat vertailutulokset.

Tässä hankkeessa palosuojaamaton 19 mm paksu Thermo-D mänty (UTV-profiili) sai pintaluokaksi E ja Thermo-D kuusi (TGV-profiili) luokaksi D-s2-d0. Raaka-aineita vertailtaessa Thermo-D kuusi sai TGV-profiililla parempia tuloksia SBI kokeissa kuin Thermo-D männyn UTV-profiili, joten käytetty profiili voi aiheuttaa eron raaka-aineiden välille. Ulkoverhoustuotteet ovat yleisesti menneet ohuempaan dimensioon, joka aiheuttaa palotestauspuolella haasteita. Tuotteen ns. läpipalaminen voi tapahtua ohuemmilla tuotteilla nopeammin. Palosuojauksella on mahdollista saada 19 mm paksulle lämpöpuulle B- tai C-luokka. B- ja C-luokan materiaalilla on selvästi laajemmat käyttömahdollisuudet puurakentamisessa kuin D-luokan materiaalilla. Liitteissä sisäpuolisten sekä ulkopuolisten pintojen luokkavaatimuksia.

Saatuja pintaluokkia 19 mm paksuille koemateriaaleille:

- Thermo-D kuusi TGV-profiili: B-s1-d0
- Thermo-D mänty UTV-profiili: B-s2-d0
- Thermo-D kuusi TGV-profiili: C-s1-d0
- Thermo-D mänty UTV-profiili: C-s2-d0
- Käsittelemätön Thermo-D kuusi TGV-profiili: D-s2-d0
- Käsittelemätön Thermo-D mänty UTV-profiili: E

Säärasituskokeissa lämpökäsitellyn puun alentunut tasapainokosteus tuo lämpöpuulle etua verrattuna tavalliseen sahatavaraan. Palonsuoja-aineet sitovat yleensä helpommin kosteutta ja tätä testataan hygroskooppisuuskokeessa. Palosuojatun puun kosteus ei saa nousta yli 28 %, eikä pinnoille saa myöskään muodostua lisää suolakiteitä (INT 2 ja EXT luokat). Liiallinen kosteus voi myös aiheuttaa palonsuoja-aineen tihkumista puusta, lisätä korroosioriskiä kiinnikkeille sekä altistaa tuotteet mikrobikasvuille. Kosteuteen vaikuttaa myös suuresti palonsuoja-aineen määrä puussa. Tässä hankkeessa keskimääräiset kosteudet jäivät kaikilla testatuilla erillä alle raja-arvon (< 28 %). Ulkokäyttöön suun-

natuille tuotteille tehdään EXT-luokassa myös säärasituskokeita, joissa seurataan säärasituksen vaikutuksia palo-ominaisuuksien muutokseen. Menetelmässä on mahdollista toteuttaa säärasitus sääkaapissa (1000 – 2016 h) tai luonnollisissa olosuhteissa ulkona (1 vuosi). Laboratoriosäärasituskokeiden olosuhteet ovat kuitenkin todella rajut ajatellen palonsuoja-aineita ja niiden liukenemista veteen. Standardin mukaisia menetelmiä ja raja-arvoja on esitetty EN 16755 standardissa. Standardi ei ole vielä pakollisena testinä palosuojuille tuotteille, mutta palosuojuatun puun markkinoilla tätä aletaan vaatia. Palosuojuuksen ja palotestauksen näkökulmasta eri säärasitusvaihtoehdot tekevät menetelmästä haasteellisen. Standardista on myös jätetty yksi merkittäviä pintaluokan ennustettavuuteen vaikuttava arvo pois. Tällainen on esimerkiksi HRR-piikin maksimi arvo, jota käytetään SBI koetuloksen ennustamiseen. Hankkeen EN 927-6 säärasituskokeissa ei käytetty säältä erikseen suojaavia kemikaaleja, joten näillä saatettaisiin saada myös parannettua arvoja säärasituksen jälkeen. Toki säältä suojaavat kemikaalit tulisi testata myös palokokeissa, jotta varmistutaan sen vaikutukset pintaluokkaan.

Suomen palomääräykset antavat käyttää laajasti palosuojaamatonta puuta julkisessa rakennuksissa, jos käytössä on automaattinen sammutusjärjestelmä tai suojaverhous. Jos automaattista sammutusjärjestelmää ja/tai suojaverhousta ei ole, niin silloin vaihtoehtoina on yleensä käyttää palamatonta materiaalia tai palosuojuattua puumateriaalia. C-luokan materiaaleille on sisäkäytössä muutamia käyttökohteita mm kokoontumis- ja liiketiloissa. C-luokan materiaaleja voidaan myös käyttää siinä missä D-luokan materiaaleja, mutta tässä tuotteiden hintataso kasvaa yleensä liian suureksi. B-pintaluokan materiaaleille on laajemmat käyttömahdollisuudet julkisessa puurakentamisessa P1, P2 ja P3 paloluokan rakennuksissa. Ulkokäyttöön suunnattujen palosuojuattujen tuotteiden mahdollinen huoltoväli ja sen varmentaminen kohteessa on nykyisin vielä melko haastava toteuttaa. Palonsuoja-aineiden säänkestoa kehitetään kuitenkin koko ajan paremmaksi, kun testausmenetelmät kehittyvät. Myös palosuojuattujen tuotteiden tarkastusmenetelmiä olisi hyvä kehittää, joilla varmistettaisiin riittävä palosuoja-aineen määrä puussa. Maailmanlaajuisesti on arvioitu, että palosuojuatun puun markkinat tulevat kasvamaan sisä- että ulkokäytössä, joten palosuojuille tuotteille on haasteista huolimatta hyvät markkinanäkymät (Global FRT Wood Sales Market Report 2018).

Juho Peura

Tutkimusinsinööri

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu (Xamk)/ Mikpolis

LÄHTEET / STANDARDIT

SUOMEN SÄÄDÖSKOKOELMA. 848/2017 Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta.

PALOTURVALLINEN PUUTALO. Asuin ja toimitilarakentaminen (Puuinfo).

POSITION PAPER: Sampling in AVCP systems 1 and 1+

Global FRT Wood Sales Market Report 2018

ISO 5660-1 "Reaction to fire tests. Heat release, smoke production and mass loss rate. Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method) and smoke production rate (dynamic measurement)".

EN 13823:2010 "Reaction to fire tests for building products. Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item".

EN ISO 11925-2 "Reaction to fire tests. Ignitability of products subjected to direct impingement of flame. Part 2: Single-flame source test".

EN 13501-1 "Fire classification of construction products and building elements. Part 1: Classification using data from reaction to fire test".

EN 16755 "Durability of reaction to fire performance. Classes of fire-retardant treated wood products in interior and exterior end use applications".

NT BUILD 504 "Hygroscopic properties of fire-retardant treated wood and wood-based product".

SFS-EN 927-6 "Paints and varnishes. Coating materials and coating systems for exterior wood. Part 6: Exposure of wood coatings to artificial weathering using fluorescent UV lamps and water".

NT FIRE 053 "Accelerated weathering of fire-retardant treated wood for fire testing".

Thermo-D Pine Reference / ISO 5660-1 1/2

Report produced with the Fire Testing Technology ConeCalc software

page 1

Cone Calorimeter Test Report

Laboratory name	MeKA Testing Laboratory		
Operator	Edgars Buksans		
Sponsor	XAMK		
Manufacturer			
Sample description	TermoWood Pine reference	Report name	See individual reports
Material name/ID	See individual reports	Surface area	88.4 cm ²
Heat flux	50 kW/m ²	Retainer frame used?	Yes
Orientation	Horizontal		

Test averages

Test	t(ig) (s)	t(fo) (s)	t(end) (s)	HRR(peak) (kW/m ²)	tpeak (s)	THR (MJ/m ²)	HRR(60) (kW/m ²)	HRR(180) (kW/m ²)	HRR(300) (kW/m ²)
Mean	15	0	1205	207.06	39	105.19	129.65	110.84	102.43
1	16		1205	209.78	40	105.49	133.81	113.24	104.20
2	13		1205	200.44	35	99.57	123.18	107.43	99.50
3	17		1205	218.10	40	106.75	133.08	113.70	105.46
4	16		1205	199.51	40	106.21	129.52	109.13	101.28
5	13		1205	207.46	40	107.92	128.67	110.70	101.73

Test	Flux (kW/m ²)	t (mm)	Area (cm ²)	m(i) (g)	m(s) (g)	m(f) (g)	Δm (g/m ²)	MLR(av) (g/s·m ²)	$\dot{m}_{4,10-90}$ (g/s·m ²)
Mean		24.9		111.9	111.8	47.8	7249.3	6.09	5.91
1	50	25.1	88.4	117.0	116.9	55.0	7005.4	5.90	5.72
2	50	24.7	88.4	99.5	99.5	36.8	7091.4	5.93	5.76
3	50	24.9	88.4	118.0	118.1	54.0	7258.2	6.11	5.96
4	50	24.8	88.4	113.9	114.0	49.2	7333.0	6.18	5.96
5	50	24.8	88.4	111.1	110.7	43.9	7558.5	6.35	6.14

Test	THR(0-300) (MJ/m ²)	THR(0-600) (MJ/m ²)	THR(0-1200) (MJ/m ²)	EHC(av) (MJ/kg)	SPR(av) (m ² /s)	SEA(av) (m ² /kg)	Fuel load (MJ/kg)	MARHE (kW/m ²)
Mean	29.15	54.84	104.76	14.54	0.0057	106.68	8.33	103.55
1	29.50	55.08	105.05	15.08	0.0055	106.32	7.97	104.44
2	28.58	52.86	99.18	14.08	0.0057	108.12	8.85	102.06
3	29.79	56.53	106.34	14.75	0.0089	164.32	8.00	104.22
4	28.63	54.30	105.76	14.52	0.0016	28.63	8.24	100.55
5	29.24	55.44	107.48	14.28	0.0071	126.01	8.59	106.50

Test	Date	Specimen #	Line colour	Filename
1	12/02/2019	1		C:\CC5\Data\3561\3561-1.csv
2	12/02/2019	2		C:\CC5\Data\3561\3561-2.csv
3	12/02/2019	3		C:\CC5\Data\3561\3561-3.csv
4	12/02/2019	4		C:\CC5\Data\3561\3561-4.csv
5	12/02/2019	5		C:\CC5\Data\3561\3561-5.csv

The test results relate to the behaviour of the test specimens of a product under the particular conditions of the test; they are not intended to be the sole criterion for assessing the potential fire hazard of the product in use.

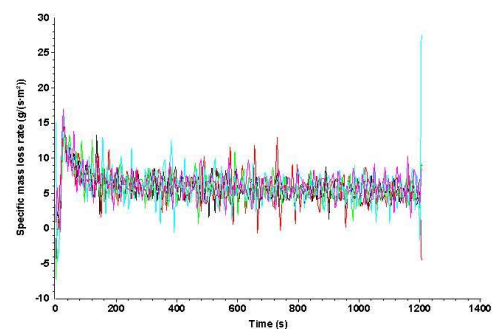
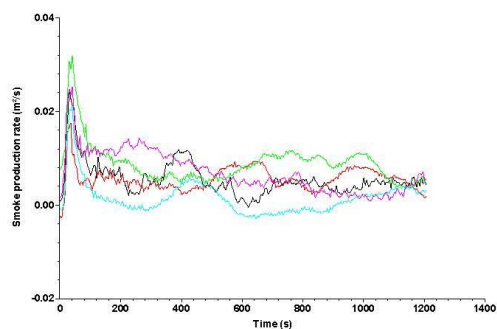
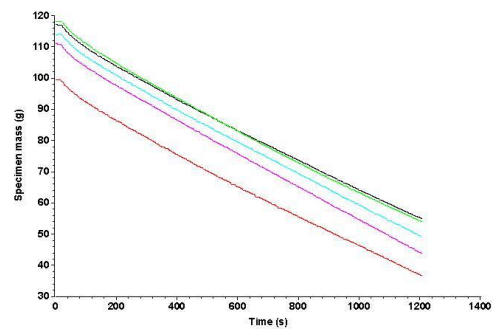
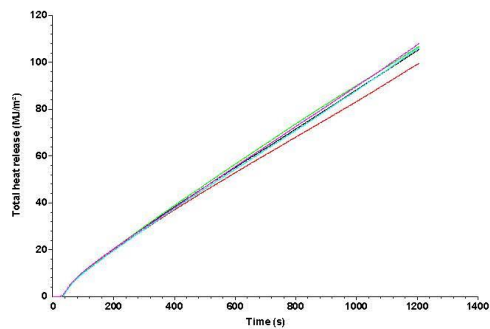
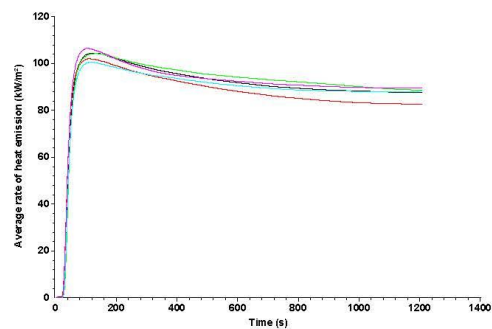
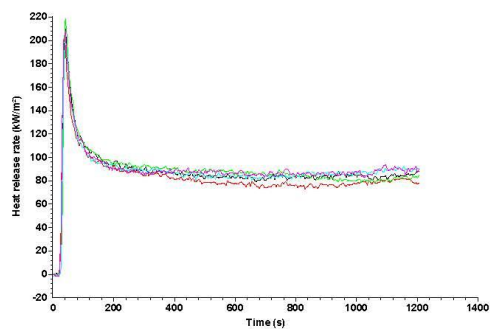
Thermo-D Pine Reference / ISO 5660-1 2/2

Report produced with the Fire Testing Technology ConeCalc software

page 2

Cone Calorimeter Test Report

Laboratory name	MeKA Testing Laboratory	Report name	See individual reports
Operator	Edgars Buksans	Surface area	88.4 cm ²
Sponsor	XAMK	Retainer frame used?	Yes
Manufacturer			
Sample description	TermoWood Pine reference		
Material name/ID	See individual reports		
Heat flux	50 kW/m ²		
Orientation	Horizontal		



The test results relate to the behaviour of the test specimens of a product under the particular conditions of the test; they are not intended to be the sole criterion for assessing the potential fire hazard of the product in use.

Thermo-D Spruce Reference / ISO 5660-1 1/2

Report produced with the Fire Testing Technology ConeCalc software

page 1

Cone Calorimeter Test Report

Laboratory name	MeKA Testing Laboratory		
Operator	Edgars Buksans		
Sponsor	XAMK		
Manufacturer			
Sample description	TermoWood Spruce reference		
Material name/ID	See individual reports	Report name	See individual reports
Heat flux	50 kW/m ²	Surface area	88.4 cm ²
Orientation	Horizontal	Retainer frame used?	Yes

Test averages

Test	t(ig) (s)	t(fo) (s)	t(end) (s)	HRR(peak) (kW/m ²)	tpeak (s)	THR (MJ/m ²)	HRR(60) (kW/m ²)	HRR(180) (kW/m ²)	HRR(300) (kW/m ²)
Mean	51	0	1205	191.64	70	94.03	123.52	104.03	95.81
1	18		1205	237.34	40	99.31	133.24	111.48	103.21
2	13		1205	196.06	35	96.06	122.45	105.39	97.28
3	22		1205	225.90	45	95.84	137.86	109.66	96.95
4	22		1205	201.32	40	95.48	127.72	100.06	91.81
5	180		1205	97.60	190	83.45	96.33	93.54	89.81

Test	Flux (kW/m ²)	t (mm)	Area (cm ²)	m(i) (g)	m(s) (g)	m(f) (g)	Δm (g/m ²)	MLR(av) (g/s·m ²)	$\dot{m}_{4,10-90}$ (g/s·m ²)
Mean		25.2		105.3	102.9	44.2	6639.4	5.75	5.63
1	50	25.3	88.4	109.6	109.1	45.7	7177.3	6.04	5.95
2	50	25.5	88.4	101.4	101.1	41.1	6793.1	5.72	5.57
3	50	25	88.4	115.3	115.0	55.9	6692.2	5.65	5.41
4	50	25.6	88.4	107.9	107.8	48.2	6745.0	5.70	5.56
5	50	24.6	88.4	92.3	81.2	30.0	5789.1	5.64	5.65

Test	THR(0-300) (MJ/m ²)	THR(0-600) (MJ/m ²)	THR(0-1200) (MJ/m ²)	EHF(av) (MJ/kg)	SPR(av) (m ² /s)	SEA(av) (m ² /kg)	Fuel load (MJ/kg)	MARHE (kW/m ²)
Mean	27.70	51.85	97.10	14.19	0.0005	9.75	7.91	98.50
1	29.22	53.58	98.96	13.83	0.0016	29.05	8.01	103.28
2	27.92	52.14	95.72	14.16	-0.0041	-80.74	8.37	100.42
3	27.21	50.55	95.50	14.39	0.0007	14.60	7.35	101.06
4	25.60	49.35	95.13	14.15	0.0032	62.37	7.82	92.37
5	28.53	53.63	100.19	14.42	0.0012	23.47	7.99	95.38

Test	Date	Specimen #	Line colour	Filename
1	12/02/2019	1	—	C:\CC5\Data\3561\3561-6.csv
2	13/02/2019	2	—	C:\CC5\Data\3561\3561-7.csv
3	13/02/2019	3	—	C:\CC5\Data\3561\3561-8.csv
4	13/02/2019	4	—	C:\CC5\Data\3561\3561-9.csv
5	13/02/2019	5	—	C:\CC5\Data\3561\3561-10.csv

The test results relate to the behaviour of the test specimens of a product under the particular conditions of the test; they are not intended to be the sole criterion for assessing the potential fire hazard of the product in use.

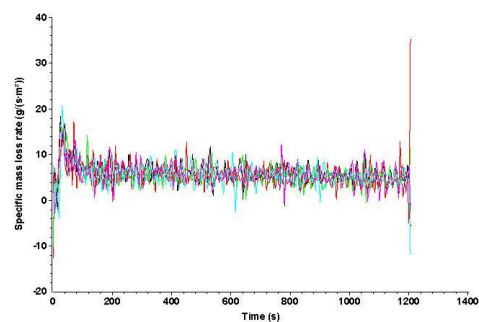
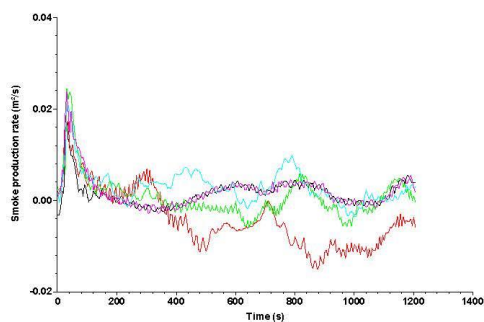
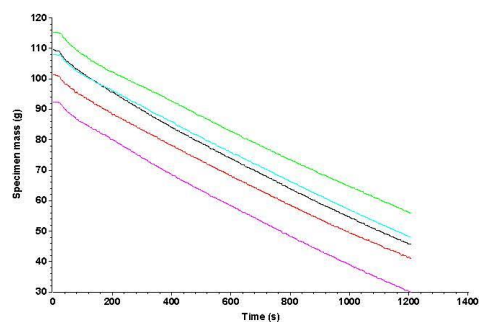
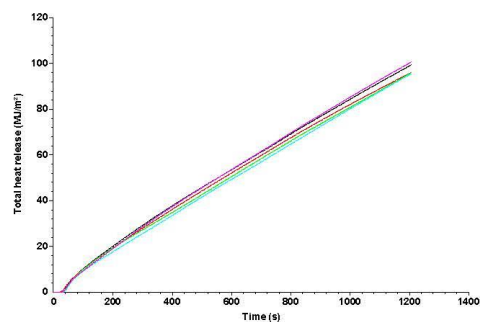
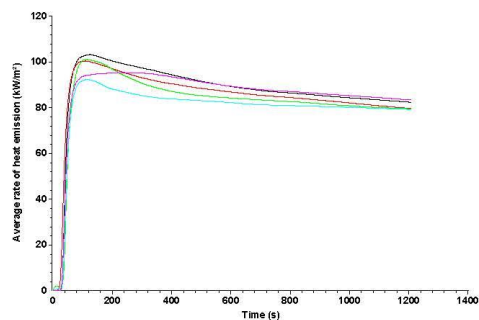
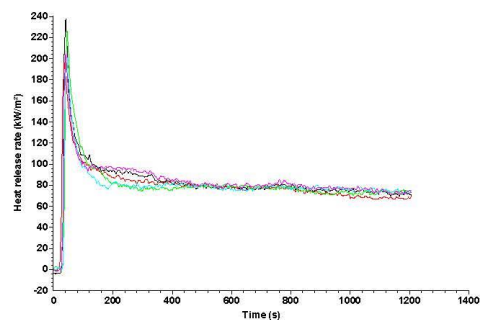
Thermo-D Spruce Reference / ISO 5660-1 2/2

Report produced with the Fire Testing Technology ConeCalc software

page 2

Cone Calorimeter Test Report

Laboratory name	MeKA Testing Laboratory		
Operator	Edgars Buksans		
Sponsor	XAMK		
Manufacturer			
Sample description	TermoWood Spruce reference	Report name	See individual reports
Material name/ID	See individual reports	Surface area	88.4 cm ²
Heat flux	50 kW/m ²	Retainer frame used?	Yes
Orientation	Horizontal		



The test results relate to the behaviour of the test specimens of a product under the particular conditions of the test; they are not intended to be the sole criterion for assessing the potential fire hazard of the product in use.

Sisäpuolisten pintojen luokkavaatimukset (848/2017)

Käyttötarkoitus	Pinta	Rakennuksen paloluokka		
		P1	P2	P3
Asunnot	seinät ja katot	D-s2, d2 ¹⁾	D-s2, d2 ⁴⁾	D-s2, d2 ¹⁾
Majoitustilat	seinät ja katot	D-s2, d2	B-s1, d0 ⁴⁾²⁾ (C-s2, d1 * ^{4) 2)})	D-s2, d2
Hoitolaitostilat	seinät ja katot lattiat	B-s1, d0 D _{FL} -s1	B-s1, d0 ⁴⁾ D _{FL} -s1	D-s2, d2 -
Kokoontumis- ja liiketilat				
- enintään 300 m ² palo-osasto: ravintolat, myymälät, koulut, liikuntahallit, teatterit, kirkot, päiväkodit ja päivähoitolaitokset	seinät ja katot	D-s2, d2	D-s2, d2 ⁴⁾	D-s2, d2
- yli 300 m ² palo-osasto: ravintolat, koulut, liikuntahallit, teat- terit, kirkot, päiväkodit ja päivähoitolaitokset	seinät ja katot	C-s2, d1 (D-s2, d2 *)	C-s2, d1 ⁴⁾ (D-s2, d2 * ⁴⁾)	D-s2, d2
- yli 300 m ² palo-osasto: myymälät, näyttelyhallit ja kirjastot	seinät ja katot lattiat	B-s1, d0 (C-s2, d1 *) D _{FL} -s1	B-s1, d0 ⁴⁾ (C-s2, d1 * ⁴⁾) D _{FL} -s1	B-s1, d0 (C-s2, d1 *) -
Työpaikkatilat	seinät ja katot	D-s2, d2 ¹⁾	B-s1, d0 ⁴⁾²⁾ (D-s2, d2 * ⁴⁾)	D-s2, d2 ¹⁾
Tuotanto- ja varastotilat				
- palovaarallisuusluokka 1	seinät katot lattiat	D-s2, d2 D-s2, d2 D _{FL} -s1	D-s2, d2 ⁴⁾ B-s1, d0 D _{FL} -s1	D-s2, d2 D-s2, d2 -
- palovaarallisuusluokka 2	seinät ja katot lattiat	B-s1, d0 A2 _{FL} -s1	B-s1, d0 A2 _{FL} -s1	B-s1, d0 A2 _{FL} -s1
Autokorjaamot ja -huollamot, autosuojat	seinät ja katot lattiat	B-s1, d0 A2 _{FL} -s1	B-s1, d0 A2 _{FL} -s1	B-s1, d0 ⁵⁾ A2 _{FL} -s1
Ullakot ja yläpohjan ontelot				
- ullakot sekä yläpohjan ontelot, jotka on osastoitu alapuoli- sesta tilasta	ullakon tai onte- lon sisäpinnat	D-s2, d2 ¹⁾	D-s2, d2 ¹⁾	-
- asuinrakennuksen irtaimiston säilytystä tai pyykinkuivausta var- ten tarkoitettu ullakko	lattiat	D _{FL} -s1	D _{FL} -s1	D _{FL} -s1
- yläpohjan ontelot, joita ei ole osastoitu alapuolisesta tilasta. Vaatimus ei koske lämmöneristeen tuuletusuria.	ontelon sisäpin- nat	B-s1, d0 ¹⁾	B-s1, d0 ¹⁾	-
Kellarit	seinät ja katot lattiat	C-s2, d1 D _{FL} -s1	B-s1, d0 D _{FL} -s1	D-s2, d2 D _{FL} -s1
Teknisen huollon tilat	seinät ja katot lattiat	B-s1, d0 D _{FL} -s1	B-s1, d0 ⁴⁾ D _{FL} -s1	B-s1, d0 D _{FL} -s1
Kattilahuoneet, syöttöhuoneet ja nestemäisen polttoaineen va- rastot	seinät ja katot lattiat	B-s1, d0 A2 _{FL} -s1	B-s1, d0 ⁴⁾ A2 _{FL} -s1	B-s1, d0 A2 _{FL} -s1
Kiinteän polttoaineen varastot	seinät ja katot lattiat	B-s1, d0 A2 _{FL} -s1	B-s1, d0 ⁴⁾ A2 _{FL} -s1	D-s2, d2 -
Uloskäytävät ja palosulut	seinät ja katot lattiat	A2-s1, d0 ³⁾ D _{FL} -s1	A2-s1, d0 ³⁾ D _{FL} -s1	B-s1, d0 D _{FL} -s1
Sisäiset käytävät majoitus ja työpaikkatiloissa	seinät ja katot lattiat	B-s1, d0 D _{FL} -s1	B-s1, d0 ⁴⁾ D _{FL} -s1	B-s1, d0 D _{FL} -s1
Saunat ja kylpyhuonetilat	seinät ja katot	D-s2, d2	D-s2, d2	D-s2, d2

Taulukon vaatimuksia sovelletaan myös putkien, ilmakeinien tai niiden eristeiden pintoihin, jollei näiden määrä ole vähäinen. Put- kimaisten eristeiden osalta taulukon arvoja sovelletaan siten, että seinä ja kattoja koskien paloon osallistumista kuvaavan luokan merkintään lisätään alain- deksi L. Savun tuottoa sekä palavaa pisarointia koskevat lisämäärät pysyvät samoina.

¹⁾ Vähäisiä osia pinnoista voidaan verhota tarvikkeilla, jotka eivätkäytä vaatimusta.

²⁾ Vähäisiä osia seinäpinnoista voidaan verhota D-s2, d2 -luokan tarvikkeilla. Koskee myös suojaverhottuja seinä.

³⁾ Vähäisten rakennusosien pintojen luokkavaatimus on B-s1, d0.

⁴⁾ Kun suojaverhous vaaditaan, pintaluokkavaatimus määräytyy suojaverhouksen tarvikeluokkavaatimuksen mukaan.

⁵⁾ Enintään 1000 neliömetrin erillisessä autosuojassa ja rakennuksen osana olevassa enintään 60 neliömetrin autosuojassa luokkavaa- timus on kellarikerrosta lukuun ottamatta D-s2, d2.

* Kun tila on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla

- ei vaatimusta

Ulkoseinän ulkopinnan ja tuuletusvälin pintojen luokkavaatimukset (848/2017)

Käyttötarkoitus ja paloluokka	Ulkoseinän ulkopinta	Tuuletusvälin ulkopinta	Tuuletusvälin sisäpinta	Ehdot luokkien käytölle
Yli 56 m korkea rakennus	A2-s1, d0	A2-s1, d0	A2-s1, d0	
P1-paloluokan enintään 56 m korkea rakennus, yleensä	B-s1, d0	B-s1, d0	B-s1, d0	1)
Enintään 28 m korkea asuin- ja työpaikkarakennus, yleensä	B-s2, d0	B-s2, d0	B-s1, d0	6)
- asuinrakennus, kun korjaus- ja muutostyössä on käy- tetty lisälämmöneristystä, joka ei täytä eristävältä osaltaan B-s1, d0 -vaatimusta ja jonka paksuus on enintään 100 mm	B-s2, d0	B-s2, d0	B-s1, d0	7)
- ulkoseinän ulkopinnan osa mikäli osaa ympäröivät raken- teet suojaavat seinäpintaa palonleviämiseltä	D-s2, d2	D-s2, d2	B-s1, d0	6)
- asuinrakennus, ylin kerros	D-s2, d2	D-s2, d2	A2-s1, d0	6) 4)
Yli 14 m ja enintään 28 m korkea asuin- ja työpaikkarakennus	D-s2, d2 *	D-s2, d2 *	B-s1, d0 *	1) 2) 3) 4) 5)
Enintään 14 m korkea asuin- ja työpaikkarakennus	D-s2, d2	D-s2, d2	B-s1, d0	1) 2) 3) 4)
1–2-kerroksinen ja enintään 28 m korkea tuotanto- tai varas- tora- kennus sekä kokoontumis- ja liikerakennus	D-s2, d2	D-s2, d2	B-s1, d0	3) 4) 5) 6) 8)
P2-paloluokan rakennus				
Yli 2-kerroksinen ja enintään 28 m korkea rakennus, yleensä	B-s2, d0 *	B-s2, d0 *	K2 10, A2-s1, d0 *	
- asuin-, majoitus- ja työpaikkarakennus sekä kokoon- tumis- ja liikerakennus	D-s2, d2 *	D-s2, d2 *	K2 10, A2-s1, d0 *	2) 3) 4) 5)
Yli 2-kerroksinen ja enintään 14 m korkea asuinrakennus, jonka kellari ja kerrokset kuuluvat asuinnoittain samaan asuinhuoneis- toon	D-s2, d2	D-s2, d2	B-s1, d0	2) 3) 4)
Enintään kaksikerroksinen rakennus, yleensä	D-s2, d2	D-s2, d2	D-s2, d2	
- hoitolaitokset	B-s2, d0 (D-s2, d2 *) 3)	B-s2, d0 (D-s2, d2 *) 3)	B-s1, d0	
P3-paloluokan rakennus	D-s2, d2	D-s2, d2	ei vaatimusta	

Parvekkeissa noudatetaan ulkoseinän ulkopinnan vaatimuksia. Kuitenkin enintään 28 metriä korkean rakennuksen varatiekäyttöön suunnitellun parvekkeen pintojen vaatimus, pois lukien lattiat, on B-s2, d0. Edellä mainitusta poiketen, P2-paloluokan yli 2-kerrok- sisen rakennuksen parvek- keen palkit ja pilarit voivat olla D-s2, d2 -luokkaa, jos parveke on varustettu tarkoitukseen sopivalla auto- maattisella sammutuslaitteistolla. Vaati- mukset eivät koske vähäisiä pintoja, kuten käsijohteita.

Avoimen luhtikäytävän osalta noudatetaan uloskäytävälle asetettuja vaatimuksia. Kuitenkin 2-kerroksisen P2-paloluokan rakennuk- sen luhtikäy- tävän seinät ja pilarit voivat olla D-s2, d2 -luokkaa. Yli 2-kerroksisen P2-paloluokan rakennuksen luhtikäytävän palkit ja pilarit voivat olla D-s2, d2 -luokkaa, jos luhtikäytävä on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla. Vaatimukset eivät koske vähäisiä pintoja, kuten käsijohteita.

Julkisivuverhoilun kiinnitystarvikkeet voivat vähäisessä määrin olla D-s2, d2 -luokkaa enintään 28 m korkeassa rakennuksessa.

1) Jos lämmöneriste ei eristävältä osaltaan täytä B-s1, d0-vaatimusta, ulkopinnan pintarakenteiden on suojattava eristettä palolta niin, että suo- jaus vastaa EI 30 rakennusosaa tai tuuletusvälin sisäpinta on varustettava K2 30, A2-s1, d0 suojaverhouksella.

2) Lukuun ottamatta ensimmäistä kerrosta ja varateiden ylä- ja alapuolella olevia pintoja, joiden osallistuminen paloon voi vaarantaa varatien käy- tön.

3) Palon leviämisen tuuletusväliä on oltava rajoitettu kerroksittain ja palon leviäminen vaakasuunnassa osastoidun porrashuoneen ulkoseinän tuuletusväliin on oltava estetty.

4) Palon leviämistä julkisivusta ullakkoon ja yläpohjaan on rajoitettava niin, että se vastaa EI 30-rakennusosaa.

5) Julkisivurakenteen laajojen osien putoamista palon sattuessa on rajoitettava.

6) Jos lämmöneriste ei eristävältä osaltaan täytä B-s1, d0-vaatimusta, ulkopinnan pintarakenteiden on suojattava eristettä palolta niin, että suojaus vastaa EI 15 rakennusosaa tai tuuletusvälin sisäpinta on varustettava K210, A2-s1, d0 suojaverhouksella.

7) 25 §:n mukaista eristekerroksen katkaisua vaakasuunnassa ei edellytetä, jos huomautuksen 6) vaatimukset täyttyvät.

8) Ulkoseinän ikkunoihin ja muine aukkoineen on täytettävä EI 30 vaatimus.

* Rakennus on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla.

Thermo-D Spruce TGV-profile (EN 13501-1) 1/4



FOREST AND WOOD PRODUCTS
RESEARCH AND DEVELOPMENT INSTITUTE

Page 1 of 4

„MEŽA UN KOKSNES PRODUKTU PĒTNIECĪBAS UN ATTĪSTĪBAS INSTITŪTS” SIA
VAT No. LV 43603022749
Dobeles iela 41, Jelgava, LV-3001, Latvia
Phone +371 63010605 * E-mail meka@e-koks.lv * Web www.e-koks.lv



Classification of reaction to fire in accordance with EN 13501-1:2018

Issue number: K34/2020

Date of issue: 06.07.2020.

Sponsor: XAMK - South-Eastern Finland University of Applied Sciences Ltd.

Address: PL 68 (Patteristontkatu 3 D), 50101 Mikkeli, Finland.

Reg. No. 2472908-2.

Owner of classification report: XAMK - South-Eastern Finland University of Applied Sciences Ltd.

Manufacturer: XAMK - South-Eastern Finland University of Applied Sciences Ltd./ Mikpolis

Prepared by: SIA “Meža un koksnes produktu pētniecības un attīstības institūts” (Forest and Wood Products Research and Development Institute Ltd).

Test performed at: SIA “Meža un koksnes produktu pētniecības un attīstības institūts” (Forest and Wood Products Research and Development Institute Ltd).

Product name: Thermo-D spruce cladding.

Laboratory involved in testing is accredited by the Latvian National Accreditation Bureau (LATAK) according to the standard LVS EN ISO/IEC 17025 under the terms of Latvian legislation with reg. No. T-316. Laboratory is a notified body with reg. No. NB 2040 under construction product regulation No. 305/2011.

Classification report refers only to these test objects. This classification report may not be reproduced otherwise than in full text, excepted with the prior written approval of the Forest and Wood Products Research and Development Institute

VL-87-04

Thermo-D Spruce TGV-profile 2/4



Report No. K34/2020

page 2 of 4

1. Introduction

This classification report defines the reaction to fire classification assigned to Thermo-D spruce cladding in accordance with the procedures given in EN 13501-1:2018.

2. Details of classified product**2.1. General**

Thermo-D spruce cladding is defined as fire retardant treated wood building product. Product can be defined as solid wood cladding according standard EN 14915:2013+A2:2020.

2.2. Product description

- Product name: Thermo-D spruce cladding.
- Manufacturer: XAMK - South-Eastern Finland University of Applied Sciences Ltd./Mikopolis
- Materials used for manufacturing:
 - spruce Thermo-D boards with TGV profile type;
- Nominal thickness tested: 19 mm.

3. Test reports and test results in support of classification**3.1. Specific conditions**

Not applicable

3.2. Test reports

Name of laboratory	Name of sponsor	Test reports	Test method
SIA „Meža un koksnes produktu pētniecības un attīstības institūts” Testing Laboratory	XAMK - South-Eastern Finland University of Applied Sciences Ltd	4836-1/2020	EN 13823:2010+A1:2014
SIA „Meža un koksnes produktu pētniecības un attīstības institūts” Testing Laboratory	XAMK - South-Eastern Finland University of Applied Sciences Ltd	4836-2/2020	EN ISO 11925-2:2020

VL-87-04

Thermo-D Spruce TGV-profile 3/4



Report No. K34/2020

page 3 of 4

3.3. Test results

Test method	Parameter	Number of tests	Results	
			Continuous parameter mean	Compliance parameters
EN 13823:2010+A1:2014	FIGRA _{0,2MJ} (W/s)	6	692.7	(-)
	FIGRA _{0,4MJ} (W/s)		692.7	Compliant
	THR _{600s} (MJ)		19.7	Compliant
	LFS		<1000 mm	Compliant
	SMOGRA(m ² /s ²)		3.4	Compliant
	TSP _{600s} (m ²)		53.0	Compliant
	Flaming droplets <10s Flaming droplets >10s		no no	Compliant Compliant
EN ISO 11925-2:2020 Exposure time 30 s. Test duration 60 s.	Flame spread (Fs)	12	Less than 150 mm	Compliant
	Ignition of filter paper		no	(-)
	Flaming droplets/particles		no	(-)
(-) not applicable				

4. Classification and field of application

4.1. Reference of classification

This classification has been carried out in accordance with clause 11 of EN 13501-1:2018.

4.2. Classification

Thermo-D spruce cladding in relation to its reaction to fire behaviour is classified:

D

The additional classification in relation to smoke production is:

s2

The additional classification in relation to flaming droplets/particles is:

d0

The format of the reaction to fire classification for construction product excluding floorings and linings is:

Fire behaviour		Smoke production			Flaming droplets	
D	-	s	2	,	d	0

Reaction to fire classification: D-s2, d0

VL-87-04

Thermo-D Spruce TGV-profile 4/4



Report No. K34/2020

page 4 of 4

4.3. Field of application

4.3.1 This classification is valid for the following product end use applications:

Product primary is intended to use as fire retardant treated wood building material.

4.3.2. This classification is also valid for following product parameters:

Thickness:	valid for product thickness as tested.
Wood species:	valid only for thermally modified spruce wood.
Density:	deviations within natural limits of spruce wood.
Cladding profiles:	valid for board profile with minimal profile thickness 13 mm and larger.
Coatings:	valid without additional coating.

4.3.3. Classification valid for installation parameters:

Mounting:	valid for product mounting with air gap between product and substrate. Valid also for product mounting on substrates without air gap.
Substrates:	product performance determined on gypsum plasterboard substrate A2-s1, d0 reaction to fire class and classification is valid for product mounting on substrates reaction to fire class A2-s1, d0 or A1.
Joints:	valid for claddings with tongue-groove joints only.
Orientation:	product tested with standard vertical and horizontal joints and classification is valid for all arrangements.

5. Limitations.

5.1. No restrictions on the duration of validity of this classification report as long as the product specifications remain unchanged.

5.2. This document does not represent type approval or certification of the product.



Prepared by

(signature)

E. Bukšāns

Reviewed by

(signature)

K. Būmanis

VL-87-04

SBI: Thermo-D pine UTV (vertical) 1/3

Report produced with the Fire Testing Technology SBICalc software

page 1

SBI Test Report

Laboratory name MeKA Testing laboratory
 Operator Edgars Buksans
 Filename C:\SBIC\Calc\Data\4000\4000-1-1.csv
 Report identification 4000-1-1
 Product identification Thermo -D Pine UTV cladding profile

Test	Pre-test conditions	Specimen conditioning
Standard used EN 13823:2010	Baseline duct temperature 293.76 K	Method Fixed period
Date of test 03/10/2019	Ambient temperature 293.64 K	Time interval 24 hours
Date of report 03/10/2019	Ambient pressure 101.36 kPa	Mass 1 6341 g
E' 17.2 MJ/m ²	Relative humidity 41%	Mass 2 6341 g
Apparatus specifications	Baseline conditions	Temperature 23°C
kt 0.87	Baseline ambient oxygen 20.743%	RH 50%
kp 1.08	Baseline oxygen 20.949%	
Duct diameter 0.315 m	Baseline carbon dioxide 0.0563%	
O2 calibration delay time 12 s	Baseline smoke 99.94%	
CO2 calibration delay time 9 s		

Specimen information

Thickness 19 mm	Mounting method 5.2.2a) in EN 13823:2010
Density	Joints standard vertical
Surface mass/area	Fixed to substrate? Yes
Specimen number 1	Fixing method screw
Date of arrival 10/09/2019	Substrate 40 mm wood studs and calcium silicate backing board
	Manufacturer
	Sponsor XAMK - South-Eastern Finland University of Applied Sciences Ltd

Test validity criteria

Test drifts

	Initial	Final	Change
Oxygen	20.949%	20.958%	0.009%
CO2	0.056%	0.047%	0.009%
Smoke	99.94%	98.67%	0.013

Exposure time 1254 s

Synchronisation details

Duct temp. dropped by 2.5 K from baseline of 318.21 K at 303 s
 Oxygen rose by 0.05% from baseline of 20.679% at 303s
 CO2 dropped by 0.02% from baseline of 0.223% at 303 s

Burner details

Burner HRR	31.667 kW
Burner HRR std. dev.	0.666 kW
Burner CO2/O2 ratio	0.617
Burner SPR	0.033 m ² /s
Burner SPR std. dev.	0.004 m ² /s
Burner response time	9 s

Other checks

Minimum duct flow	0.447 m ³ /s
Maximum duct flow	0.679 m ³ /s
Possible T/C1 failure	

Classification results	Classification observations	Potential classification
FIGRA(0.2) 757.9 W/s at 375 s	LFS to edge? No	Class E
FIGRA(0.4) 757.9 W/s at 375 s	FDP flaming <= 10s? No	Smoke production s2
THR(600) 28.8 MJ	FDP flaming > 10s? No	Flaming droplets/particles d0
SMOGR 13.6 m ² /s ² at 387 s		
TSP(600) 59.6 m ²		

Recorded events

Surface flashes? No; Falling specimen parts? Yes; Smoke not entering hood? Yes
 Mutual fixing of backing board failed? No; Distortion/collapse of specimen? No

Pre-test comments

After-test comments

The test results relate to the behaviour of the test specimens of a product under the particular conditions of the test; they are not intended to be the sole criterion for assessing the potential fire hazard of the product in use.

SBI: Thermo-D pine UTV (vertical) 2/3

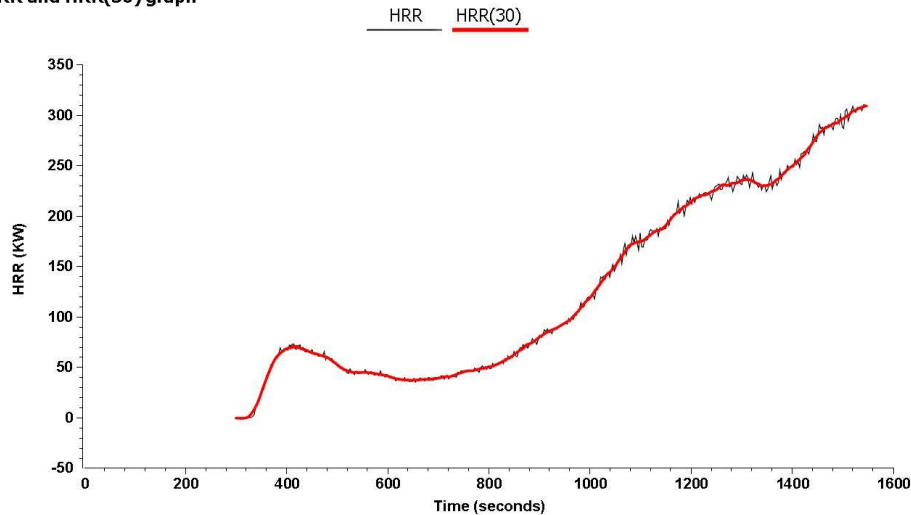
Report produced with the Fire Testing Technology SBICalc software

page 2

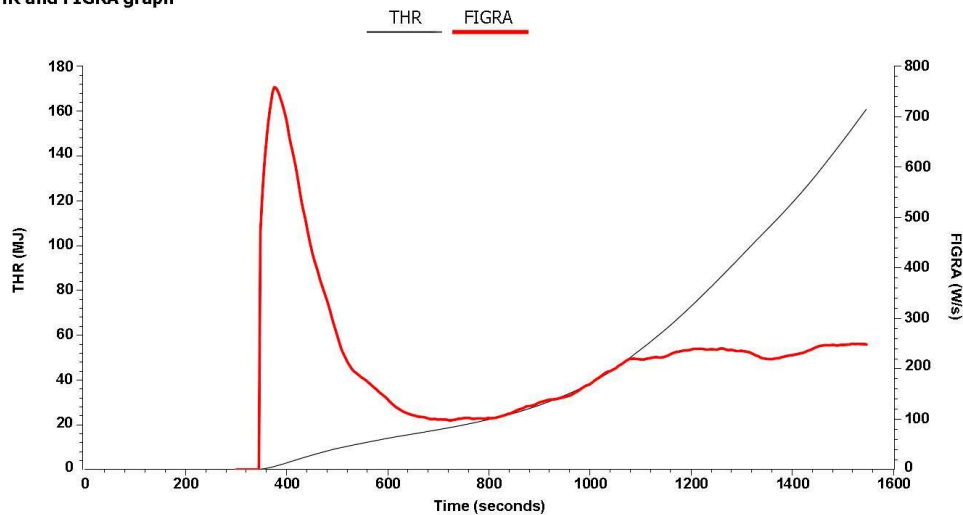
SBI Test Report

Laboratory name MeKA Testing laboratory
 Operator Edgars Buksans
 Filename C:\SBICALC\Data\4000\4000-1-1.csv
 Report identification 4000-1-1
 Product identification Thermo -D Pine UTV cladding profile

HRR and HRR(30) graph



THR and FIGRA graph



The test results relate to the behaviour of the test specimens of a product under the particular conditions of the test; they are not intended to be the sole criterion for assessing the potential fire hazard of the product in use.

SBI: Thermo-D pine UTV (vertical) 3/3

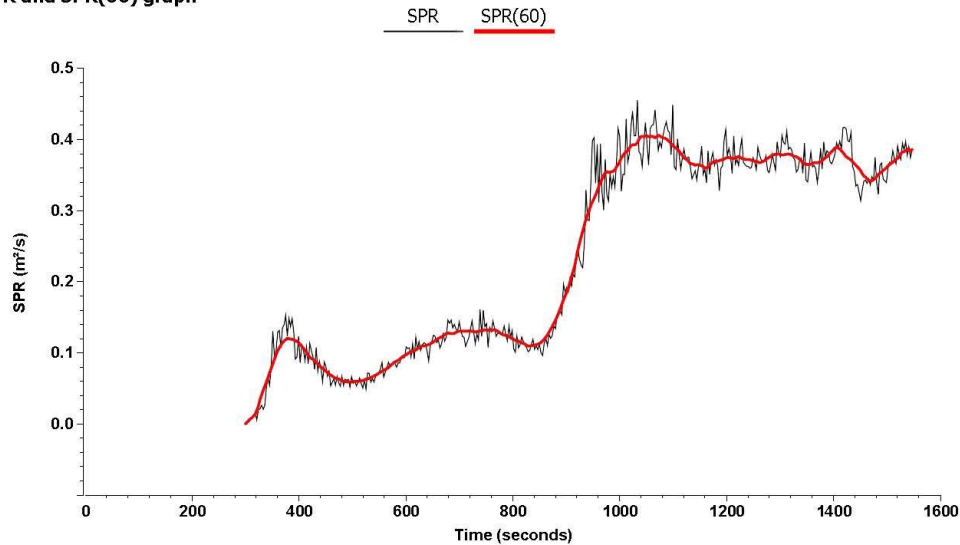
Report produced with the Fire Testing Technology SBICalc software

page 3

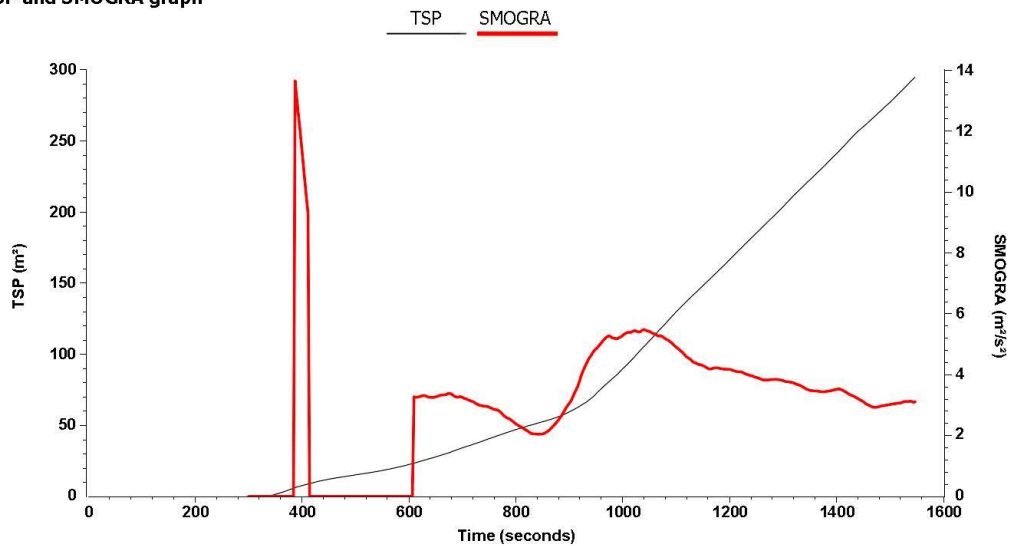
SBI Test Report

Laboratory name	MeKA Testing laboratory
Operator	Edgars Buksans
Filename	C:\SBICALC\Data\4000\4000-1-1.csv
Report identification	4000-1-1
Product identification	Thermo -D Pine UTV cladding profile

SPR and SPR(60) graph



TSP and SMOGRA graph



The test results relate to the behaviour of the test specimens of a product under the particular conditions of the test; they are not intended to be the sole criterion for assessing the potential fire hazard of the product in use.

SBI: Thermo-D pine UTV (horizontal) 1/3

Report produced with the Fire Testing Technology SBICalc software

page 1

SBI Test Report

Laboratory name MeKA Testing laboratory
 Operator Edgars Buksans
 Filename C:\SBIC\Calc\Data\4000\4000-1-2.csv
 Report identification 4000-1-2
 Product identification Thermo -D Pine UTV cladding profile

Test	Pre-test conditions	Specimen conditioning
Standard used EN 13823:2010	Baseline duct temperature 301.11 K	Method Fixed period
Date of test 03/10/2019	Ambient temperature 293.97 K	Time interval 24 hours
Date of report 03/10/2019	Ambient pressure 101.781 kPa	Mass 1 6341 g
E' 17.2 MJ/m ³	Relative humidity 40%	Mass 2 6341 g
Apparatus specifications	Baseline conditions	Temperature 23°C
kt 0.87	Baseline ambient oxygen 20.643%	RH 50%
kp 1.08	Baseline oxygen 20.955%	
Duct diameter 0.315 m	Baseline carbon dioxide 0.0506%	
O2 calibration delay time 12 s	Baseline smoke 100.03%	
CO2 calibration delay time 9 s		

Specimen information	
Thickness 19 mm	Mounting method 5.2.2a) in EN 13823:2010
Density	Joints standard horizontal
Surface mass/area	Fixed to substrate? Yes
Specimen number 2	Fixing method screw
Date of arrival 10/09/2019	Substrate 40 mm wood studs and calcium silicate backing board
	Manufacturer
	Sponsor XAMK - South-Eastern Finland University of Applied Sciences Ltd

Test validity criteria

Test drifts	Burner details
Initial Final Change	Burner HRR 31.481 kW
Oxygen 20.955% 20.952% 0.003%	Burner HRR std. dev. 0.679 kW
CO2 0.051% 0.048% 0.003%	Burner CO2/O2 ratio 0.607
Smoke 100.03% 99.17% 0.009	Burner SPR 0.028 m ² /s
	Burner SPR std. dev. 0.005 m ² /s
	Burner response time 9 s
Exposure time 1254 s	Other checks
	Minimum duct flow 0.376 m ³ /s
	Maximum duct flow 0.660 m ³ /s
	Possible T/C1 failure

Classification results	Classification observations	Potential classification
FIGRA(0.2) 988.3 W/s at 363 s	LFS to edge? No	Class E
FIGRA(0.4) 988.3 W/s at 363 s	FDP flaming <= 10s? No	Smoke production s2
THR(600) 39.7 MJ	FDP flaming > 10s? No	Flaming droplets/particles d0
SMOGRA 30.9 m ² /s ² at 354 s		
TSP(600) 67.2 m ²		

Recorded events Surface flashes? No; Falling specimen parts? No; Smoke not entering hood? No
 Mutual fixing of backing board failed? No; Distortion/collapse of specimen? No

Pre-test comments

After-test comments

The test results relate to the behaviour of the test specimens of a product under the particular conditions of the test; they are not intended to be the sole criterion for assessing the potential fire hazard of the product in use.

SBI: Thermo-D pine UTV (horizontal) 2/3

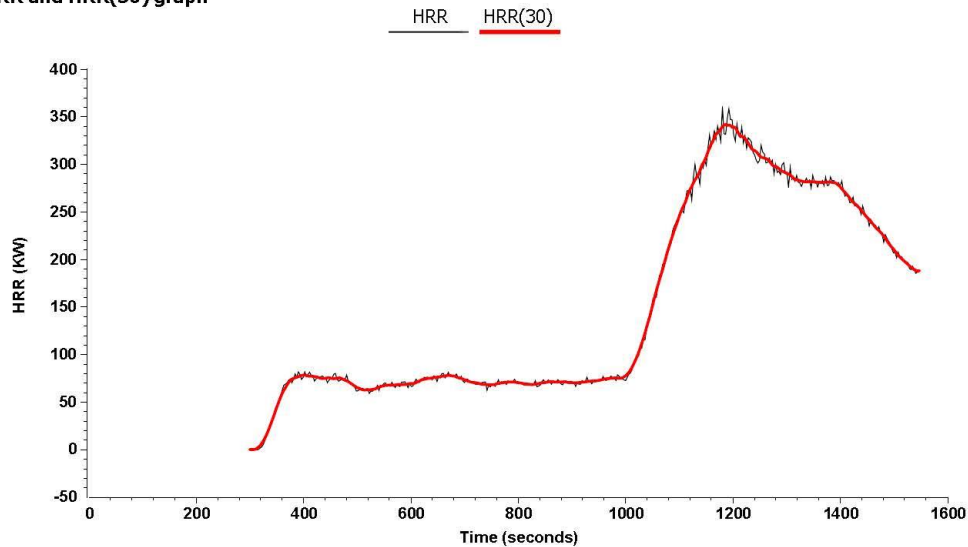
Report produced with the Fire Testing Technology SBICalc software

page 2

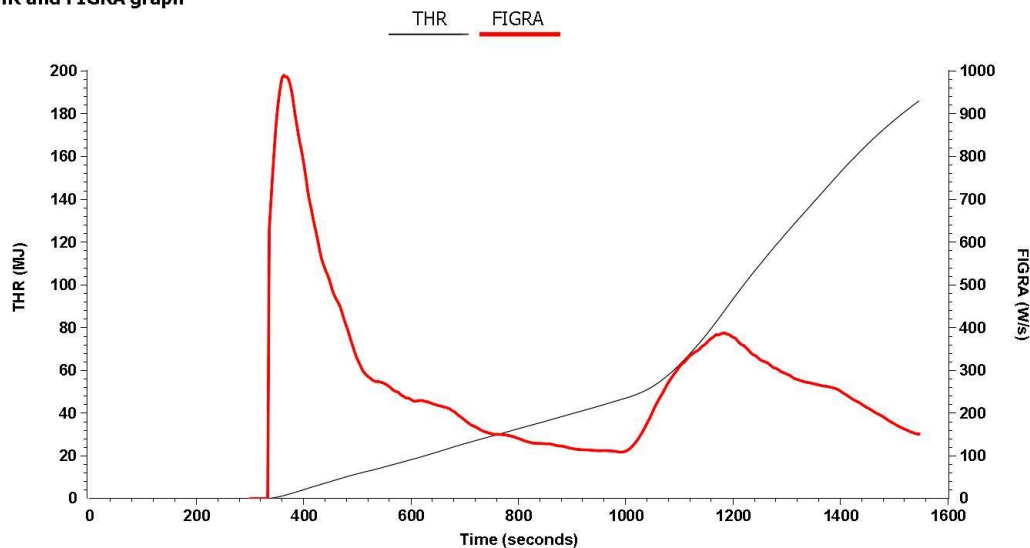
SBI Test Report

Laboratory name MeKA Testing laboratory
 Operator Edgars Buksans
 Filename C:\SBICALC\Data\4000\4000-1-2.csv
 Report identification 4000-1-2
 Product identification Thermo -D Pine UTV cladding profile

HRR and HRR(30) graph



THR and FIGRA graph



The test results relate to the behaviour of the test specimens of a product under the particular conditions of the test; they are not intended to be the sole criterion for assessing the potential fire hazard of the product in use.

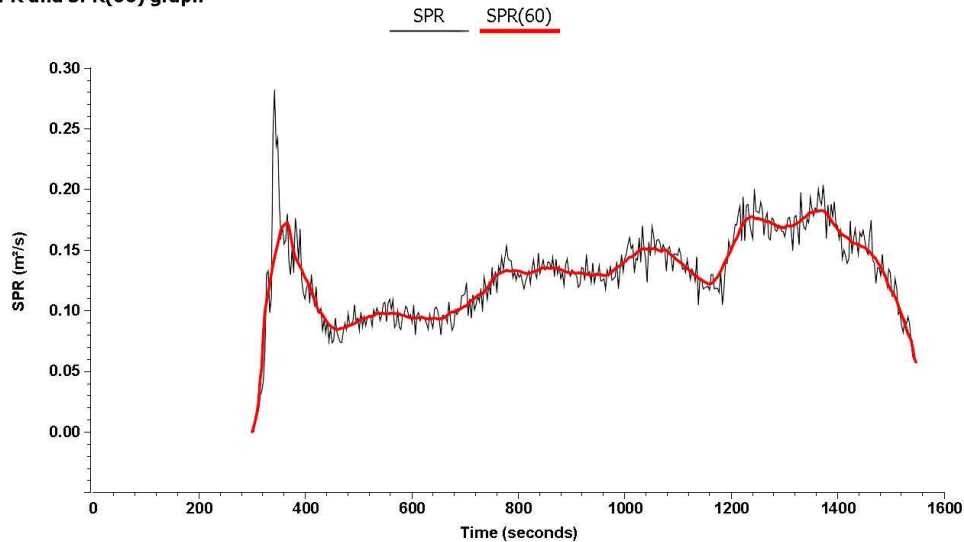
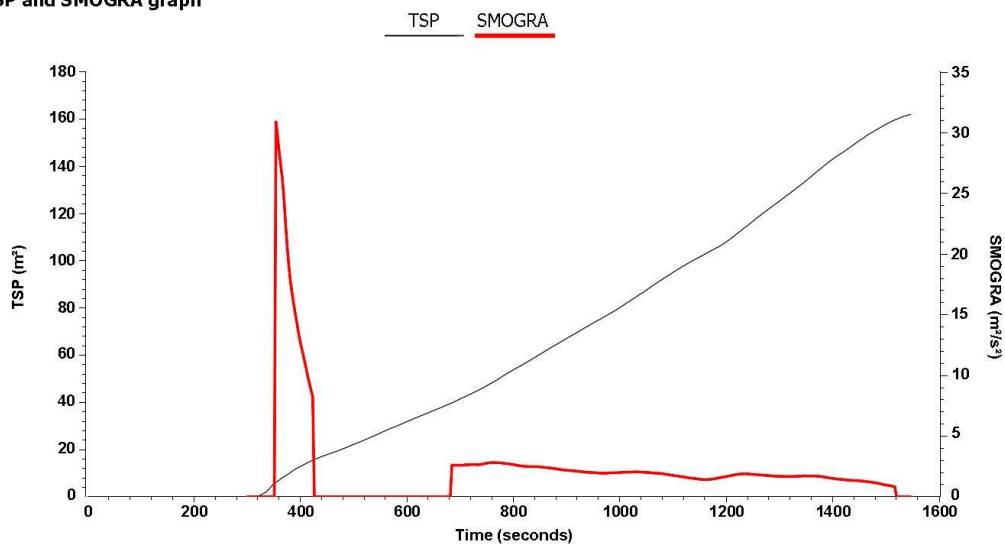
SBI: Thermo-D pine UTV (horizontal) 3/3

Report produced with the Fire Testing Technology SBICalc software

page 3

SBI Test Report

Laboratory name MeKA Testing laboratory
 Operator Edgars Buksans
 Filename C:\SBICALC\Data\4000\4000-1-2.csv
 Report identification 4000-1-2
 Product identification Thermo -D Pine UTV cladding profile

SPR and SPR(60) graph**TSP and SMOGRA graph**

The test results relate to the behaviour of the test specimens of a product under the particular conditions of the test; they are not intended to be the sole criterion for assessing the potential fire hazard of the product in use.