

**LASKENNALLINEN ANALYYSI
PELTIVUORATTUJEN FF-PIR AL -ERISTEISTEN
JULKISIVUJEN PALOTURVALLISUUDESTA**

Laadittu 23.4.2026



REVISIOT

Revisio	Selitys	pvm.	suun./tark.

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	3
2	MÄÄRÄYSPERUSTA	3
3	TARKASTELEVAT RAKENTEET	6
3.1	SP Fire 105 koejärjestely ja koepoltettu vertailurakenne.....	6
3.2	Tarkastettava peltivuorattu julkisivurakenne.....	8
4	LASKENTAMENETELMÄT	8
4.1	Palosimulointimenetelmät ja -mallit	8
4.2	Mitoituspalo ja rakenteiden palamisen mallintaminen.....	10
5	HYVÄKSYMISKRITEERIT	11
6	PALOSIMULOINTIEN TULOKSET	12
6.1	Laskentamallien validointi ja kalibrointi polttokokeeseen	12
6.2	Tarkastettavan julkisivun palosimulointien tulokset	13
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO	16
	KIRJALLISUUSLÄHTEET	17

1 JOHDANTO

Tässä raportissa otetaan kantaa peltivuorattujen Finnfoam Oy:n FF-PIR AL -eristeisten julkisivujen paloturvallisuuteen. Tarkastelut perustuvat täyden mittakaavan julkisivupolttokokeeseen sekä sitä täydentäviin palosimulointeihin.

Tarkasteluissa simuloidaan toiselle FF-PIR AL -eristeiselle julkisivulle tehty SP Fire 105 täyden mittakaavan polttokoe, jossa julkisivuverhouksena ja koolauksena on ollut B-s1,d0 luokkaan palosuojattu puu (**vertailujulkisivu**), ja jonka simulointimalli validoidaan polttokoetuloksiin. Tämän jälkeen julkisivuverhoukseksi vaihdetaan teräspellitys ja koolauksiksi teräksiset kiinnitystarvikkeet (**tarkasteltava julkisivu**), ja vertaillaan saatuja simulointituloksia vertailurakenteeseen sekä SP Fire 105 testin asettamiin hyväksymiskriteereihin.

2 MÄÄRÄYSPERUSTA

Suomen rakentamislain [1] § 32:n mukaan rakennusten on täytettävä seuraavat olennaiset palotekniset vaatimukset:

- Palon syttymisen vaaraa on rajoitettava.
- Rakennuksen kantavien rakenteiden tulee palon sattuessa kestää niille asetetun vähimmäisajan.
- Palon ja savun kehittymisen ja leviämisen rakennuksessa tulee olla rajoitettua
- Palon leviämistä lähistöllä oleviin rakennuksiin tulee rajoittaa.
- Rakennuksessa olevien henkilöiden on voitava palon sattuessa päästä poistumaan rakennuksesta tai heidät on voitava pelastaa muulla tavoin.
- Pelastushenkilöstön turvallisuus on rakentamisessa otettava huomioon.
- Rakennuksen rakentamisessa on käytettävä paloturvallisuuden kannalta soveltuvia rakennustuotteita ja teknisiä laitteistoja.

Ympäristöministeriön asetusten 848/2017 [2] ja 927/2020 [3] 3§ mukaan edellisten vaatimusten voidaan osoittaa täyttyvän, mikäli:

- Rakennus suunnitellaan ja rakennetaan noudattaen ko. asetuksessa esitetyt luokkia ja lukuarvoja (ns. taulukkomitoitus) **tai**
- Rakennus suunnitellaan ja rakennetaan perustuen oletettuun palonkehitykseen, joka kattaa kyseisessä rakennuksessa todennäköisesti esiintyvät tilanteet. Vaatimuksen täyttyminen todennetaan tapauskohtaisesti ottaen huomioon rakennuksen ominaisuudet ja käyttö (ns. toiminnallinen palomitoitus).

Paloasetusten perustelumuuistoissa on lisäksi annettu lisäohjeita [4, 5] asetusten vaatimusten tulkinnoille. Tässä raportissa käsitellään rakenteita, joiden paloturvallisuus suunnitellaan käyttäen taulukkomitoitusta.

Ympäristöministeriön paloasetuksissa on esitetty vaatimuksia mm. ulkoseinän eristemateriaaleille, seinän sisäpinnalle sekä seinän ulko- ja tuuletusvälien pinnoille koskien näiden rakenteiden palosuojausta ja niiltä vaadittuja pintaluokkia. Nämä

ulkoseinärakenteen vaatimukset voidaan karkeasti jakaa kahtia sisäpuolen vaatimukseen (eristekerroksesta sisäänpäin) ja ulkopuolen vaatimukseen (eristekerroksesta ulospäin). Tässä raportissa käsitellään ulkoseinien ulkopuolen vaatimuksia.

YMa 848/2017 Taulukossa 8 on listattu ulkoseinän ulkopuolen luokkavaatimuksia, mutta tätä lähestymistapaa ei hyödynnetä näissä tarkasteluissa vaan tarkastelut tehdään käyttäen vaihtoehtoista tapaa, joka YMa 848/2017 25 §:n (Ulkoseinän yleiset vaatimukset) viimeisen momentin mukaan on:

”Enintään 56 metriä korkean rakennuksen ulkoseinärakenteen toimivuus palotilanteessa voidaan osoittaa myös täyden mittakaavan kokeella.”

YMa 848/2017 perustelumuistion [4] 25 § täydentää edellistä seuraavasti:

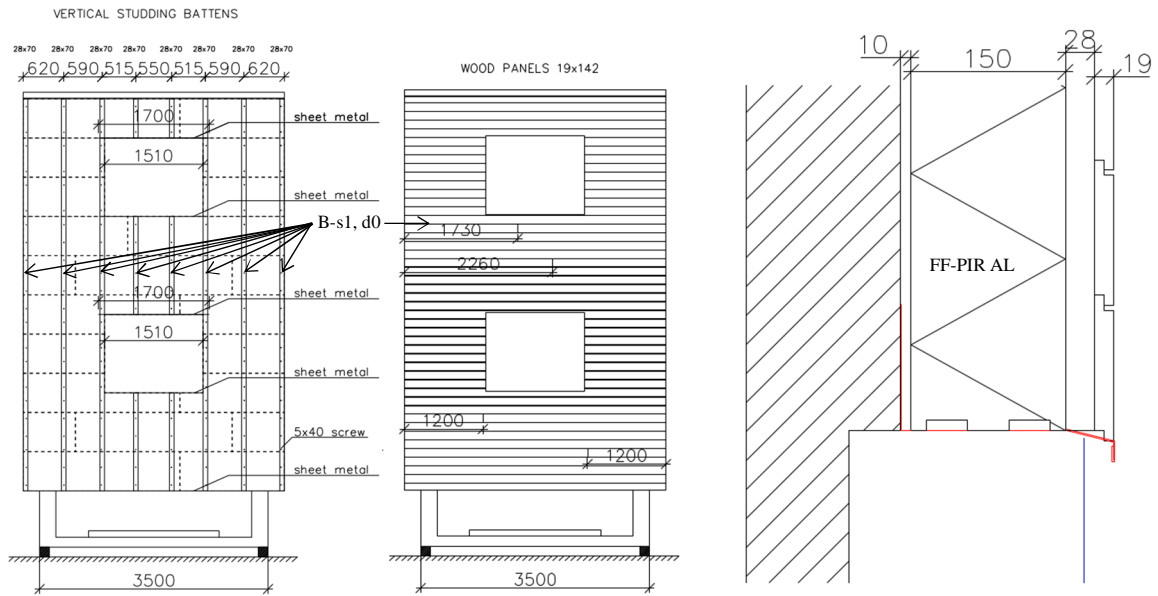
”Enintään 56 metriä korkean rakennuksen ulkoseinärakenteen ulkopinnan toimivuus palotilanteessa voidaan osoittaa myös yleisesti hyväksytyllä täyden mittakaavan kokeella, esimerkiksi SP 105 Fire ja BS 8414. Kokeella voidaan osoittaa, että valittu rakenne (detaljeineen, kuten aukkojen ja tuuletusvälien suojauksineen) ei lisää palo-osastosta toiseen eikä rakennuksesta toiseen tapahtuvaa palon leviämisen riskitasoa verrattuna luokkiin ja lukuarvoihin. Täyden mittakaavan kokeen ulkoseinän ulkopintaan kohdistuvan lämpörasituksen on oltava tunnettu ja tulipalon rasisusta vastaava sekä seurausvaikutusten riskejä vastaava. Esimerkiksi rakennuksen korkeuteen liittyen SP 105 Fire testiä voitaisiin käyttää järjestelmien testaamiseen kun julkisivujärjestelmän käyttötarkoitus on enintään 28 metriä korkeissa rakennuksissa ja BS 8414 testiä enintään 56 metriä korkeissa rakennuksissa. Koekappaleen koon on oltava riittävä mahdollisten mekaanisten vaurioiden ilmenemiseen. Testatun rakenteen ja testin suorituksen dokumentointi sekä kokeen tulokset on oltava hyväksyvän viranomaisen käytettävissä.”

Paloasetusten [1,2,3,4] mukaan SP Fire 105 täyden mittakaavan polttokoetta voidaan siis soveltaa enintään 28 metriä korkeisiin rakennuksiin. Paloasetuksissa on kuitenkin myös kohtia, joissa tietynlaisten palavien eristeiden käyttäminen eksplisiittisesti kielletään, ja joita ei voida sivuuttaa täyden mittakaavan polttokoetta soveltamalla tai edes eristeitä suojaverhoamalla. Tällaisia tapauksia ovat esimerkiksi yli kaksikerroksiset P2-paloluokan rakennukset (ks. Taulukko 1).

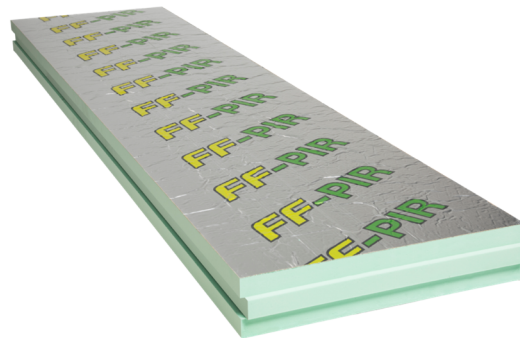
Lisäksi täyden mittakaavan polttokoetta sovellettaessa tulee muistaa, että polttokoe soveltuu vain ulkoseinärakenteen ulkopintojen (ml. ulkoseinän tuuletusvälin pinnat) paloteknisen toimivuuden osoittamiseen. Esimerkiksi lämmöneristeen palosuojauksessa rakennuksen sisäpuolelta tulee täyden mittakaavan polttokoetuloksista huolimatta edelleen noudattaa paloasetusten [1,2,3,4] niille asettamia vaatimuksia.

Taulukko 1. YMa 848/2017 [2] taulukko 3 (Kantavien ja jäykistävien rakenteiden luokkavaatimukset P1- ja P2-paloluokan rakennuksissa), jossa on esitetty vaatimuksia myös lämmöneristeille. Korostettuna vaatimukset, jotka tarkasteltavalla PIR-eristeellä täyttyvät ja vaatimukset, jotka eivät täyty.

Rakennus	Rakennuksen paloluokka ja palokuormaryhmät MJ/m ²			
	P1			P2
	yli 1 200	600–1 200	alle 600	-
1–2-kerroksinen rakennus, yleensä	R 120 (R60 *)	R 90 (R60 *)	R 60	R 30
– hoitolaitokset, majoitustilat	R 120, A2 (R60 *, A2)	R 90, A2 (R60 *, A2)	R 60, A2	R 30
– ylin kellarikerros	R 120, A2 (R90 *, A2)	R 90, A2 (R60 *, A2)	R 60, A2	R 60, A2
– yläpohja rakennuksessa, jossa ei ole ullakkoa ja rakenne on kantavan rungon olennainen osa ¹⁾	R 60	R 60	R 60	R 30
– yksikerroksinen tuotanto- ja varastorakennus	R 60 (R30 *) (R15, A2 *)	R 60 (R30 *) (R15, A2 *)	R 60 (R30 *) (R15, A2 *)	R 30 (R15 *) (R15, A2)
– yläpohja rakennuksessa, jossa ei ole ullakkoa ja rakenne ei ole kantavan rungon olennainen osa ¹⁾	R 15	R 15	R 15	R 15
Yli 2-kerroksinen rakennus, jonka korkeus on enintään 28 m, yleensä	R 180, A2 (R90 *, A2)	R 120, A2 (R60 *, A2)	R 60, A2	R 60 * # ^{3) 4)}
– ylin kellarikerros	R 180, A2 (R90 *, A2)	R 120, A2 (R60 *, A2)	R 60, A2	R 60 * A2
– asuinrakennus, asunto, ylin kerros	R 60 +	R 60 +	R 60 +	R 60 * # ³⁾
– asuinrakennus, asunto, kaksi ylintä kerrosta ²⁾	R 60 * #	R 60 * #	R 60 * #	R 60 * # ³⁾
– yli 2-kerroksinen asuinrakennus, jonka korkeus on enintään 14 m ja jonka kerrokset kuuluvat asunnoittain samaan huoneistoon	R 45, A2 (R30, A2 *)	R 45, A2 (R30, A2 *)	R 45, A2 (R30, A2 *)	R 45 # (R30 * #)
Yli 2-kerroksinen rakennus, jonka korkeus on yli 28 m mutta enintään 56 m	R 240, A2 (R180 *, A2)	R 180, A2 (R120 *, A2)	R 120, A2 (R90 *, A2)	ei mahdollinen
Yli 2-kerroksinen rakennus jonka korkeus on yli 56 m	R180 *, A2	R120 *, A2	R 120 *, A2	ei mahdollinen
Ylimmän kellarikerroksen alapuolella sijaitsevat kellarikerrokset	R 240, A2 (R180 *, A2)	R 180, A2 (R120 *, A2)	R 120, A2	R 120, A2 (R90 *, A2)
<p>Parvekkeiden palonkestävyysvaatimus on puolet kerroksen kantavien rakenteiden vaatimuksesta.</p> <p>Kantavien rakenteiden on oltava vähintään D-s2, d2 -luokan tarviketta, ellei taulukossa toisin mainita.</p> <p>Uloskäytävän porrassyöksyn ja -tasanteen luokkavaatimus on R 30. Ylimmän kellarikerroksen alapuolella sijaitsevan kellarikerroksen uloskäytävän porrassyöksyn ja -tasanteen luokkavaatimus on R 60. Jos kantaville rakenteille on asetettu luokkavaatimus A2-s1, d0, tämä koskee myös porrassyöksyjä ja -tasanteita. Yli 2-kerroksisen P1-paloluokan rakennuksen uloskäytävän porrassyöksyt ja -tasanteet on tehtävä vähintään A2-s1, d0 -luokan tarvikkeista.</p> <p>Ullakon tai ontelon vesikattorakenteille, jotka eivät ole rakennuksen rungon olennaisia kantavia tai palossa runkoa jäykistäviä rakenteita, ei aseteta palonkestävyysvaatimusta.</p> <p>¹⁾ Kantavan rungon tai jäykisteiden olennaisia osia ovat pääkannattajat, runkoa jäykistävät sekundäärikannattajat ja yläpohjan jäykisteet ja muut sellaiset yksittäiset rakenteet, jotka toimivat yläpohjan stabiliteetin säilyttämiseksi, sekä näiden väliset liitokset.</p> <p>²⁾ Kun kolme ylintä kerrosta, lukuun ottamatta uloskäytävää, on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla.</p> <p>³⁾ Huom. 24 § 3 momentissa esitetyt vaatimukset.</p> <p>⁴⁾ Jos käyttötarkoituksen mukainen palokuormaryhmä on 600–1200 MJ/m², luokkavaatimus on R 90 * #³⁾</p> <p>* Rakennus on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla.</p> <p># Lämmöneristeiden ja muiden täytteiden on oltava vähintään A2-s1, d0-luokkaa.</p> <p>+ Lämmöneristeiden ja muiden täytteiden on oltava eristävältä osaltaan vähintään D-s2, d2-luokkaa.</p> <p>A2 Kantavien rakenteiden on oltava vähintään A2-s1, d0-luokkaa.</p>				



Kuva 2. SP Fire 105 polttokokeen läpäissyt vertailujulkisivu [6].



Kuva 3. Tarkasteltavissa rakenteissa käytetty Finnfoam Oy:n FF-PIR AL alumiinipintainen PIR eriste.

Summary of results

- The temperature below the eave did not exceed the maximum allowed temperature (500 °C during a continuous period longer than 2 minutes or 450 °C during a continuous period longer than 10 minutes) during the test. Maximum measured temperature below the eave was measured to 237 °C (thermocouple C1) after 12.5 minutes.
- The heat radiation towards the test specimen in the centre of the fictitious window in the floor above the fire room did not exceed 80 kW/m² during the test. Maximum measured heat radiation was measured to 33 kW/m².
- During the test, there was a drop-off from the test specimen. The drop-off consisted of charred pieces of facade panel. The pieces had a separate maximum size of approx. 20 x 30 cm and did burn on the floor in front of the test specimen for less than one minute. The total weight was estimated at less than 5 kg in total.
- The fire spread on the surface of the test specimen and inside the test specimen did not reach above the lower edge of the fictitious window two floors above the fire room.

Kuva 4. Yhteenvedo vertailurakenteen SP Fire 105 testin tuloksista [6].

3.2 Tarkasteltava peltivuorattu julkisivurakenne

Tarkasteltava peltivuorattu julkisivurakenne puolestaan seuraavanlainen (eroavaisuudet vertailurakenteeseen korostettu):

- 150 mm Finnfoam Oy:n FF-PIR AL alumiinipintainen PIR eriste
- 28 mm leveä tuuletusväli
- **Teräksiset julkisivukiinnikkeet**
- **Teräksinen julkisivuverhouspelti, paksuus 0,5 mm**
- Aukkojen ala- ja yläpuolella 0,6 mm paksu pellitys

4 LASKENTAMENETELMÄT

4.1 Palosimulointimenetelmät ja -mallit

Palosimulointi tehdään käyttäen FDS6 –palosimulointiohjelmaa (Fire Dynamics Simulator, versio 6.10.1), jonka toiminta perustuu virtauslaskentaan (CFD) ja Navier-Stokesin yhtälöiden numeeriseen ratkaisuun, ja se on optimoitu toimimaan tulipaloissa vallitsevissa olosuhteissa. FDS on perusteellisesti validoitu ja verifioitu laskentaohjelma sellaisten palorasitusten laskentaan, joita tässä raportissa tarkastellaan [7, 8, 9, 10]. FDS:n laskentamalli ja geometria on luotu Pyrosim -esikäsittelyohjelmalla.

Laskentahilan koko on tärkein yksittäinen FDS simuloinnin laatuun vaikuttava tekijä. Malleissa laskentahilan kooksi on valittu 0,025 m × 0,025 m × 0,025 m julkisivurakenteen läheisyydessä ja 0,05 m × 0,05 m × 0,05 m muualla mallissa.

Laskentahilan tarkkuuden riittävyttä voidaan arvioida esim. $D^*/\delta x$ suhteella [7, 10], missä δx on laskentahilan sivumitta ja D^* ominainen palon halkaisija:

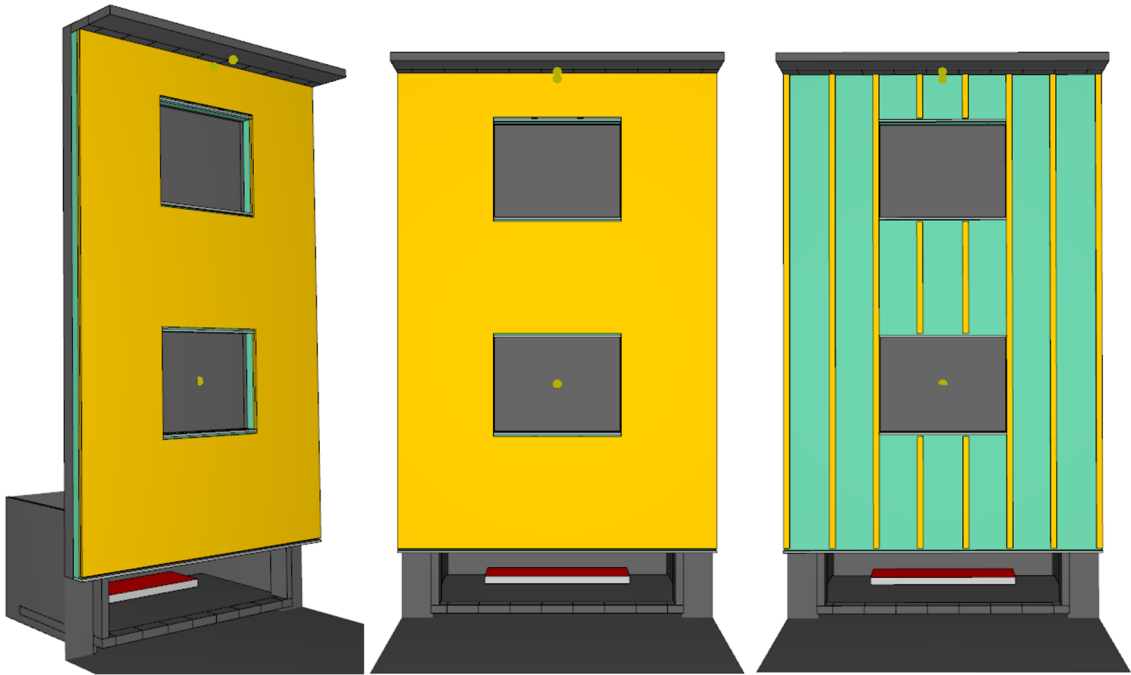
$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} \quad (1)$$

missä

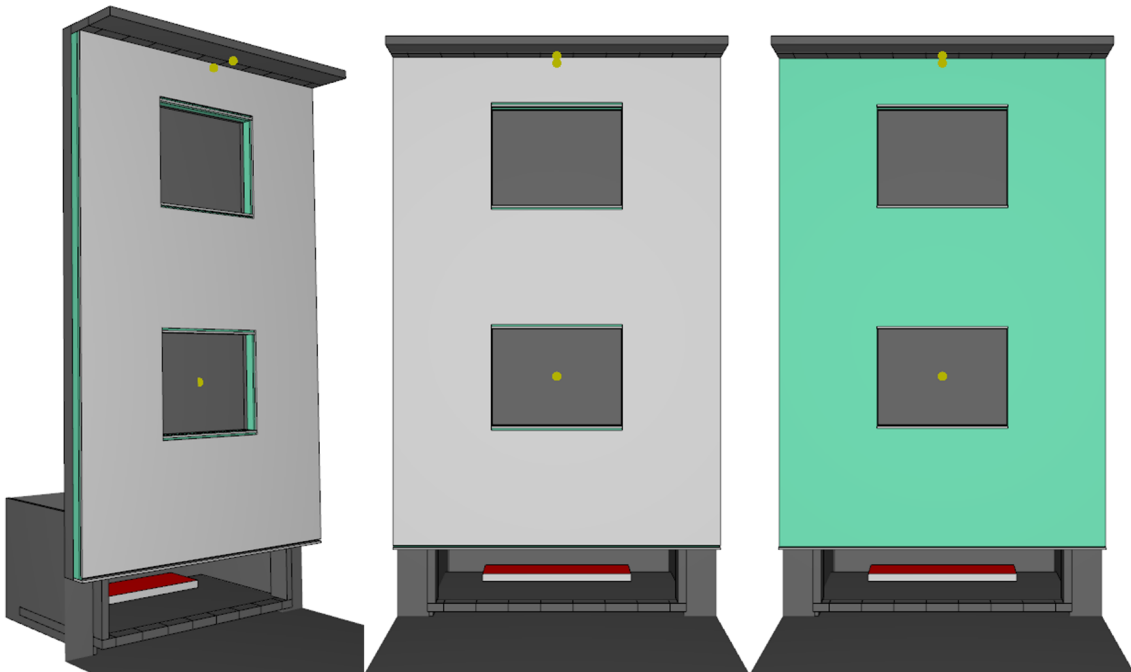
\dot{Q}	on paloteho [kW]
ρ_{∞}	on ilman tiheys ($\approx 1.2 \text{ kg/m}^3$)
c_p	on ilman lämpökapasiteetti ($\approx 1.0 \text{ kJ/kgK}$)
T_{∞}	on ympäristön ilman lämpötila ($\approx 293 \text{ K}$)
g	on maan vetovoimakiihtyvyyys ($\approx 9.81 \text{ m/s}^2$)

$D^*/\delta x$ suhteen yleisesti hyväksytty alaraja vaihtelee noin 4 – 16 välillä (esim. [11]). Ylärajalla ei ole rajoituksia, eli mitä suurempi arvo sen tarkempi simulointi. Tehdyissä simuloinneissa $D^*/\delta x$ on **25.4 – 50.8**, joten laskentahilan tarkkuutta voidaan pitää riittävänä.

Seuraavissa kuvissa on esitetty vertailujulkisivun (Kuva 5) ja tarkasteltavan julkisivun (Kuva 6) Pyrosim / FDS simulointimallit.



Kuva 5. Vertailujulkisivun Pyrosim / FDS simulointimalli.

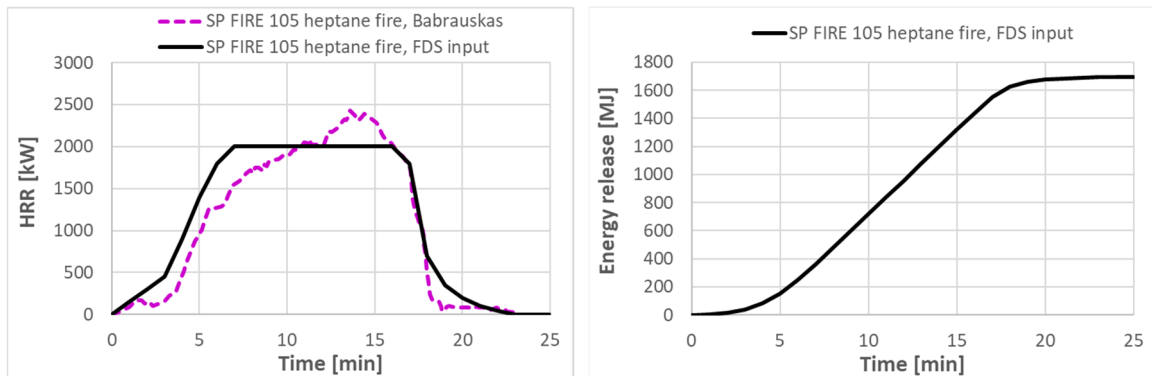


Kuva 6. Tarkasteltavan julkisivun Pyrosim / FDS simulointimalli.

4.2 Mitoituspalo ja rakenteiden palamisen mallintaminen

SP Fire 105 täyden mittakaavan polttokokeessa palorasituksena toimii 60 litran heptaaniaaltaan tulipalo seinärakenteen alla olevassa poterossa (ks. Kuva 1). Palaessaan 60 litraa heptaania luovuttaa n. 1690 MJ lämpöenergiaa. Palokuorman lisäksi palosimulointimalleihin tarvitaan kuitenkin myös heptaaniaaltaan palotehokäyrä.

Lähteessä [12] on koepoltettu SP Fire 105:n koejärjestely ilman testattavaa seinärakennetta ja kokeesta on mitattu heptaaniaaltaan palosta syntyvä palotehokäyrä (Kuva 7 vas., violetti käyrä). Em. käyrää voidaan käyttää lähtökohtana heptaaniaaltaan mitoituspalon muodostamiseksi, mutta koska heptaaniaaltaan palo ei ole joka kerta täysin identtinen vaan hieman vaihtelee esim. testiolosuhteiden vaikutuksesta, tulee käyrää hieman hienosäätää, jotta validointisimulointien tulokset vastaisivat paremmin testituloksia. Alla olevassa kuvaajassa on esitetty sekä vertailurakenteen että tutkittavan rakenteen FDS simulointeihin syötettävä lopullinen mitoituspalokäyrä (Kuva 7 vas., musta käyrä). Hienosäädön jälkeen tulee vielä varmistaa, että valitussa mitoituspalossa edelleen vapautuu sama 60 litran heptaani-palon energiamäärä 1690 MJ, joka valitulla mitoituspalokäyrällä myös toteutuu (Kuva 7 oik.).



Kuva 7. Vas.: Lähteessä [12] esitetty SP Fire 105 testin heptaaniaaltaan palosta mitattu palotehokäyrä, sekä siitä muokattu simulointeihin syötettävä mitoituspalokäyrä. Oik.: Mitoituspalosta (pelkkä heptaaniallas) vapautuva energia ajan suhteen.

Heptaaniaaltaan palon lisäksi tulee simulointimalleihin mallintaa itse julkisivussa olevien rakenneosien osallistuminen paloon, jotka simuloitavissa rakenteissa nyt siis ovat B-s1, d0 luokkaan palosuoja- ja FF-PIR AL lämmöneristeet. Näissä simuloinneissa em. rakenteiden osallistuminen paloon mallinnetaan FDS:n SPyro-malleilla (Scaling Pyrolysis models). SPyro-malleissa paloon osallistuvan pinnan palotehoa ei oleteta vakioksi tai noudattavan esimääritettyä käyrää vaan se riippuu palavaan pintaan saapuvasta lämpövuosta vastaavaan tapaan kuin monimutkaisemmat FDS:n pyrolyysimallit (ja todellinen pyrolyysi muutenkin). SPyro-mallien määrittäminen on kuitenkin huomattavasti yksinkertaisempaa kuin monimutkaisemmissa pyrolyysimalleissa; SPyro-mallit perustuvat suoraan kokeellisiin tietoihin, eli kartiokalorimetrikokeiden tuloksiin. Näiden mallien avulla kartiokalorimetrissä mitattu palamisnopeus voidaan interpoloida ja ekstrapoloida FDS-simulaatioon. Malli huomioi olosuhteet ja sovittaa palamisnopeuden sen mukaisesti, mikä tarjoaa realistisemmän kuvauksen palotilanteen dynamiikasta verrattuna pelkän vakiopalamisnopeuden

mallintamiseen. Tämä lähestymistapa on laskennallisesti tehokkaampi ja helpokäyttöisempi kuin kemiallisiin reaktioihin perustuva pyrolyysimalli, mutta samalla tarkempi kuin yksinkertainen määrättyyn palotehontiheyteen ja syttymislämpötilaan perustuva malli, jolloin se sopii erityisen hyvin täyden mittakaavan polttokokeiden simulointiin.

Puun palamista on tutkittu useissa kartiokalorimetrikokeissa, esimerkiksi [13], [14], [15]. B-luokkaan palosuojatun puun palamista on tutkittu esimerkiksi lähteen [16] kartiokalorimetrikokeissa. Käytetään näiden kokeiden tuloksia B-s1, d0 luokkaan palosuojatun puun SPyro-palamismallin luomiseen. SPyro-mallin parametreja myös hieman kalibroidaan, jotta saadut mittaustulokset vastaavat paremmin polttokokeita. Puu materiaalin termisinä ominaisuuksina (lämmönjohtavuus, ominaislämpökapasiteetti) voidaan käyttää Eurokoodissa esitettyjä lämpötilariippuvaisia parametreja [17].

FF-PIR AL -eristeiden osallistuminen paloon mallinnetaan samaan tapaan SPyro-malleilla kuin puupinnat. Finnfoamin FF-PIR eristeille (ml. FF-PIR AL) on suoritettu kartiokalorimetrikokeita XAMK:n toimesta [18]. Kun näitä testejä täydennetään yleisellä PIR eristeille julkaistulla kartiokalorimetridatalla [19], saadaan myös FF-PIR AL eristeelle luotua SPyro-palamismalli.

5 HYVÄKSYMISKRITEERIT

Tarkasteluissa käytetään seuraavia hyväksymiskriteereitä:

- SP Fire 105 testin läpäisseen vertailujulkisivun simulointimallista saatavien tulosten tulee vastata polttokoetuloksia riittävällä tarkkuudella:
 - Simulointimalli validoidaan ja kalibroidaan SP Fire 105 testistä tehtäviin mittauksiin lämpövuosta alemman ikkunan keskellä ja lämpötiloista räystään lipan alapuolella.
- Mikäli tarkasteltavan julkisivun simulointimallista tehtävät mittaustulokset jäävät matalimmiksi kuin vertailujulkisivussa, voidaan arvioida, että myös tarkasteltava julkisivu täyttää SP Fire 105 kokeen vaatimukset:
 - Vertaillaan lämpövuota alemman ikkunan keskellä (raja-arvo testissä 80 kW/m²) ja lämpötiloja räystään lipan alapuolella (alempi raja-arvo testissä 450 °C).
 - SP Fire 105 testissä arviointikriteerinä ovat myös julkisivusta putoavat kappaleet (suuria kappaleita, jotka voisivat uhata alla olevien ihmisten turvallisuutta, ei saa pudota) sekä palovahinkojen laajuus julkisivussa (palo ei saa levitä ylemmän ikkunan alapinnan tasoa ylemmäs), joille ei ole helppo määrittää simuloinneilla tarkkoja numeerisia kriteerejä. Näiden kriteerien täyttymistä voidaan kuitenkin arvioida tarkasteltavan rakenteen ominaisuuksien sekä simuloinneista tehtävien lämpötilamittausten perusteella.

6 PALOSIMULOINTIEN TULOKSET

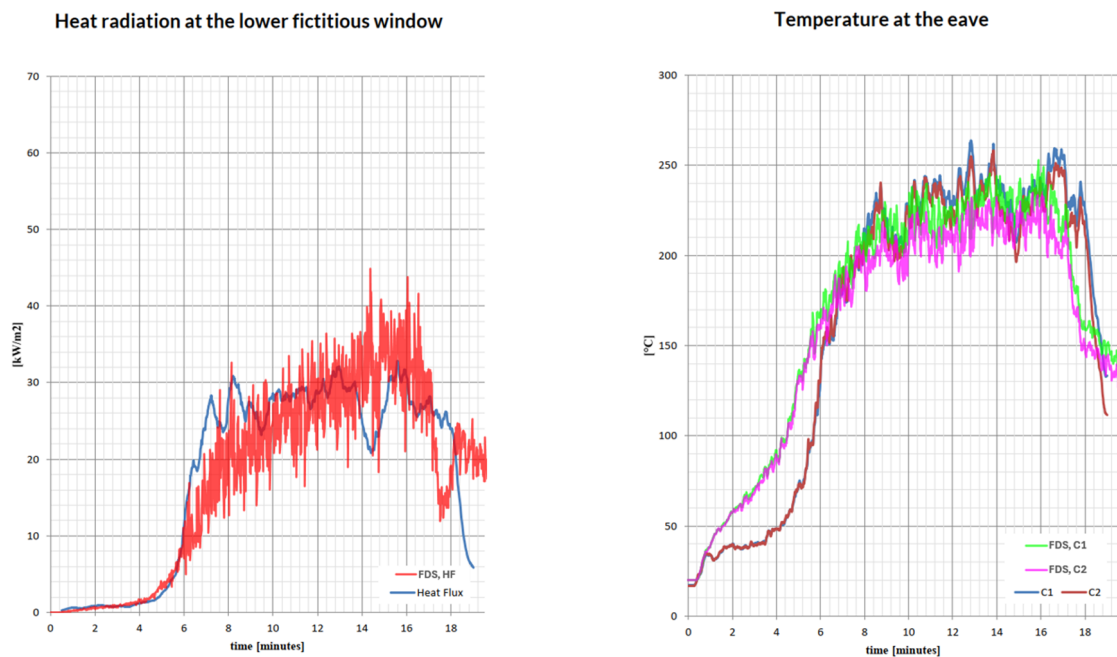
6.1 Laskentamallien validointi ja kalibrointi polttokokeeseen

Seuraavassa kuvissa (Kuva 8) on esitetty vertailurakenteen simulointimallin liekkien ja savukaasujen visualisointi sekä tämän vertailu polttokokeesta [6] otettuun valokuvaan. Visuaalisesti arvioituna kumpikin näyttävät kohtalaisen samalta.



Kuva 8. Vertailurakenteen simulointimallin liekkien ja savukaasujen visualisointi sekä tämän vertailu polttokokeesta [6] otettuun valokuvaan.

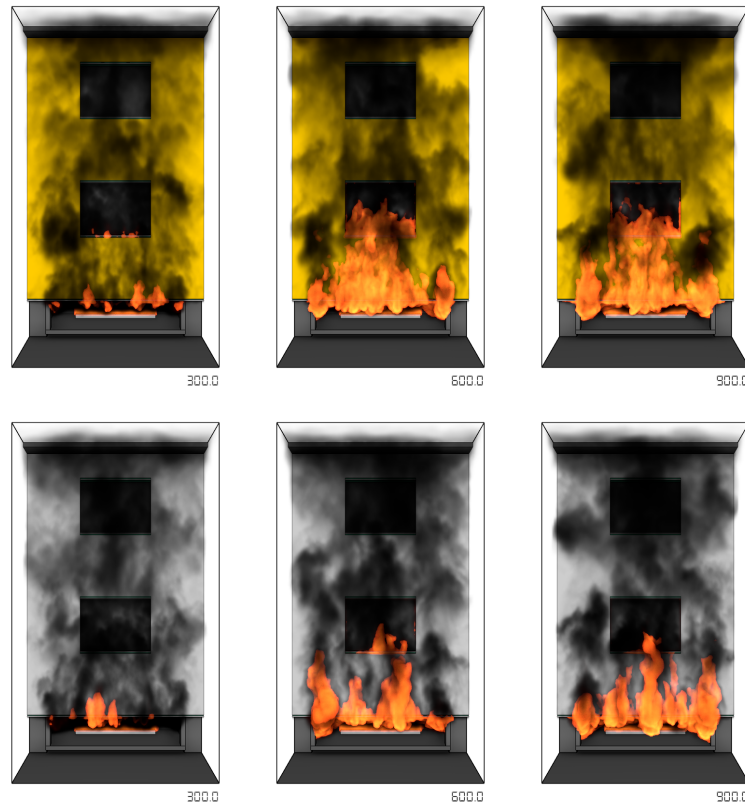
Seuraavissa kuvaajissa (Kuva 9) on esitetty vertailurakenteen simulointimallin mittaustulosten vertailu raportin [6] polttokoetuloksiin. Nähdään, että käyrät vastaavat melko hyvin toisiaan. Simulointimallia voidaan siis pitää riittävän hyvin validoituna.



Kuva 9. Vertailurakenteen simulointimallin mittaustulosten vertailu raportin [6] polttokoetuloksiin. Vas.: Lämpövuoto alemman ikkunan keskellä. Oik.: Lämpötilat räystäään lipan alapuolella.

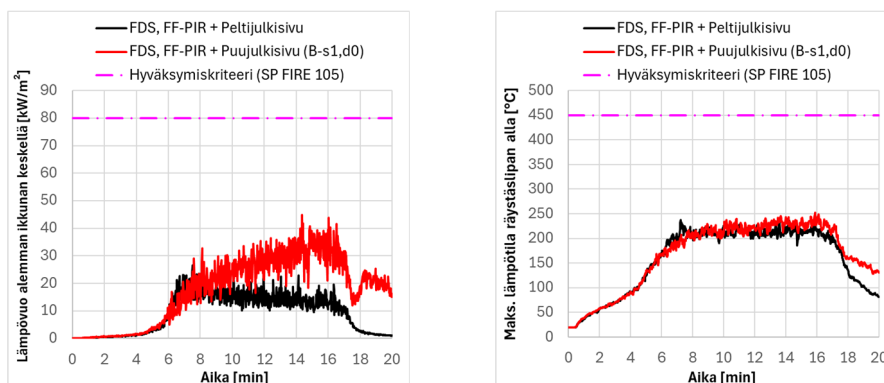
6.2 Tarkasteltavan julkisivun palosimulointien tulokset

Seuraavissa kuvissa (Kuva 10) on esitetty vertailurakenteen ja tarkasteltavan rakenteen simulointimallien liekkien ja savukaasujen visualisointi palon 5, 10 ja 15 minuutin ajanhetkellä. Visuaalisesti arvioituna vertailurakenteen palo näyttää hieman rajummalta.



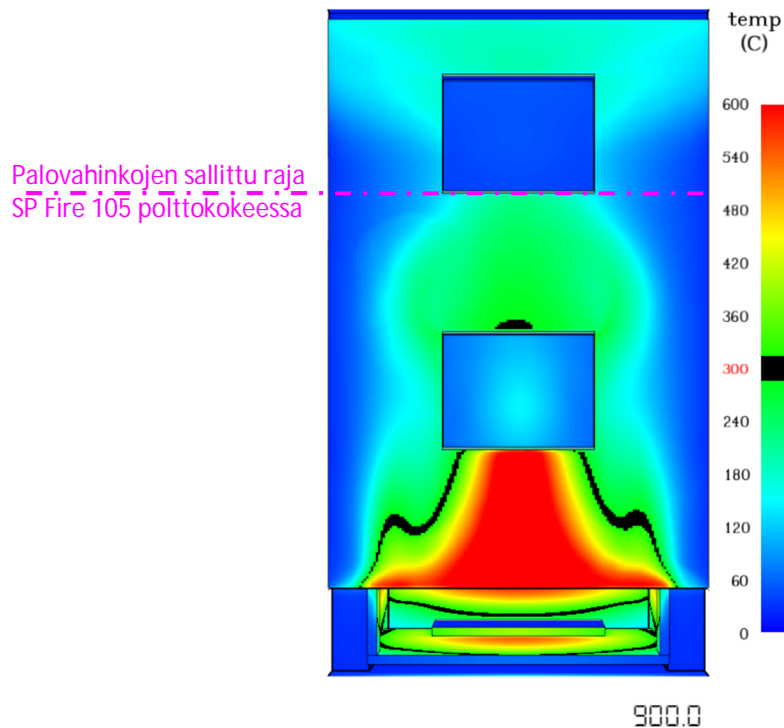
Kuva 10. Vertailurakenteen (yllä) ja tarkasteltavan rakenteen (alla) simulointimallien liekkien ja savukaasujen visualisointi palon 5, 10 ja 15 minuutin ajanhetkillä.

Seuraavissa kuvissa (Kuva 11) on esitetty vertailurakenteen ja tarkasteltavan rakenteen mittaustulosten vertailu. Nähdään, että tarkasteltavan rakenteen mittaustuloksissa jäädyään joko samalle tasolle tai alemmas kuin vertailurakenteessa, joten hyväksymiskriteeri täyttyy. Kumpikin tapaus jää myös selvästi alle SP FIRE 105 testissä sallittujen raja-arvojen.



Kuva 11. Vertailurakenteen ja tarkasteltavan rakenteen mittaustulosten vertailu. Vas.: Lämpövuoto alemman ikkunan keskellä. Oik.: Lämpötilat räystäään lipan alapuolella.

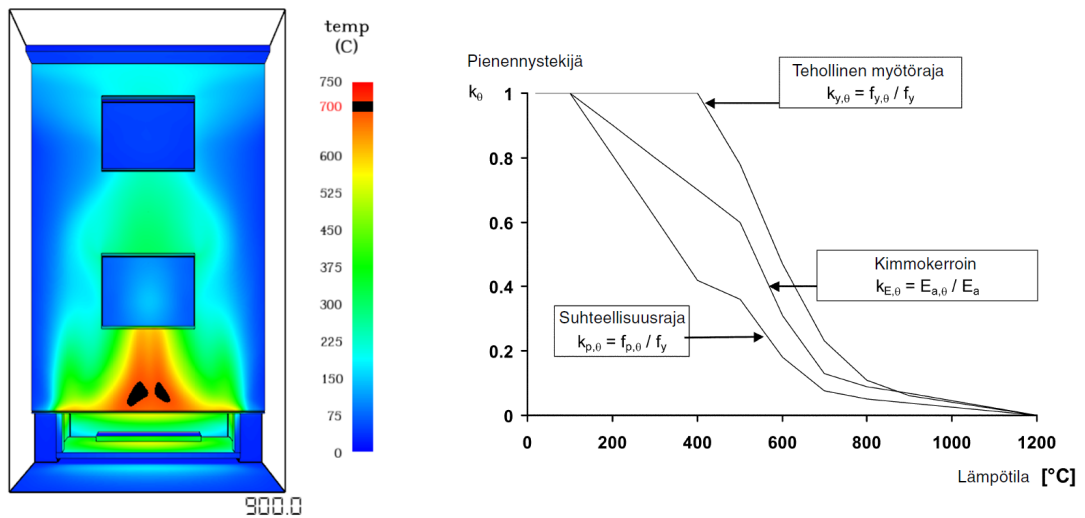
Tarkasteltavassa julkisivussa julkisivuverhous on palamatonta, joten palon leviämistä arvioitaessa riittää vain PIR eristeen pinnan tarkastelu rakenteen tuuletusvälissä. Seuraavassa kuvassa on esitetty tarkasteltavan rakenteen lämpötila tuuletusvälissä PIR eristeen pinnalla hieman ennen palon hiipumavaiheen alkamista. Kun PIR eristeen syttymislämpötilana voidaan pitää 300 °C [20], nähdään että palon leviäminen tuuletusvälissä jää melko kauaksi SP Fire 105 testissä sallittua rajaa ylemmän ikkunan alapinnan tasalla.



Kuva 12. Tarkasteltavan rakenteen lämpötila tuuletusvälissä PIR eristeen pinnalla hieman ennen tulipalon hiipumavaiheen alkamista, sekä mustalla korostettuna 300 °C lämpötilarajan (eli PIR eristeen syttymislämpötilan) vertailu SP Fire 105 hyväksymiskriteeriin.

Julkisivusta irtoavien kappaleiden tutkiminen suoraan simulointimallilla on melko haastavaa. Voidaan kuitenkin arvioida, ettei tarkasteltavasta rakenteesta irtoa sellaisia kappaleita, jotka johtaisivat SP Fire 105 testin hylkäämiseen, seuraavin perustein:

- Vertailurakenne on SP Fire 105 polttokokeessa täyttänyt hyväksymiskriteerin myös tältä osin ja palon voimakkuus vertailurakenteessa on tarkasteltavaa rakennetta suurempi.
- Julkisivuverhous ja sen kiinnitystarvikkeet on vertailurakenteessa palavia, mutta tarkasteltavassa rakenteessa palamattomia.
- Tarkasteltavassa rakenteessa teräsrakenteisen julkisivuverhouksen ja sen kiinnitystarvikkeiden lämpötila nousee palosimuloinneissa kuumimmillaankin vain noin 700 °C:een (Kuva 13 vas.). Ko. lämpötilassa teräsrakenteilla on Eurokoodin [21] mukaisesti vielä noin 23 % alkuperäisestä kapasiteetista jäljellä (Kuva 13 oik.), joka kevyiden peltirakenteiden tapauksessa on vielä täysin riittävästi.



Kuva 13. Vas.: Tarkasteltavan rakenteen julkisivuverhouspellin lämpötila hieman ennen tulipalon hiipumavaiheen alkamista. 700 °C:een alue korostettu kuvaan mustalla.
 Oik.: Eurokoodin [21] mukainen teräksen lujuusominaisuuksien pieneminen lämpötilan vaikutuksesta.

Simulointien tulosten perusteella tarkasteltava julkisivu täyttää siis kaikki sille asetetut hyväksymiskriteerit. Eli voidaan arvioida, että tarkasteltava julkisivu läpäisee SP Fire 105 täyden mittakaavan polttokokeen vaatimukset.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Tässä raportissa otettiin kantaa peltivuorattujen Finnfoam Oy:n FF-PIR AL -eristeisten julkisivujen paloturvallisuuteen. Tarkastelut perustuivat täyden mittakaavan julkisivupolttokokeeseen sekä sitä täydentäviin palosimulointeihin.

Tarkasteluissa simuloitiin toiselle FF-PIR AL -eristeiselle julkisivulle tehty SP Fire 105 täyden mittakaavan polttokoe, jossa julkisivuverhouksena ja koolauksena on ollut B-s1,d0 luokkaan palosuojattu puu (vertailujulkisivu), ja jonka simulointimalli validoitiin polttokoetuloksiin. Tämän jälkeen julkisivuverhoukseksi vaihdettiin teräspellitys ja koolauksiksi teräksiset kiinnitystarvikkeet (tarkasteltava julkisivu), ja vertailtiin saatuja simulointituloksia vertailurakenteeseen sekä SP Fire 105 testin asettamiin hyväksymiskriteereihin.

Simulointien tulosten perusteella vertailurakenteen simulointimalli saatiin validoitua vastaamaan polttokoetuloksia riittävällä tarkkuudella. Tarkasteltavan rakenteen simuloinneissa tutkittiin samoja asioita kuin SP Fire 105 testissä eli lämpövuota alemman ikkunan keskellä, lämpötiloja räystään lipan alapuolella, palon leviämisen laajuutta julkisivussa sekä suurien julkisivun kappaleiden putoamisen mahdollisuutta.

Simulointien tulosten perusteella tarkasteltava julkisivu täytti kaikki sille asetetut hyväksymiskriteerit. Eli voidaan arvioida, että tarkasteltava julkisivu läpäisee SP Fire 105 täyden mittakaavan polttokokeen vaatimukset.

Tarkastelujen tulokset ovat voimassa seuraavin ehdoin:

- Julkisivuverhouksena on vähintään 0,5 mm paksu teräksinen julkisivuverhouspelti
- Julkisivuverhouksen kiinnitystarvikkeet ovat terästä
- Muilta osin suunnittelussa noudatetaan vertailujulkisivuna käytetyn polttokoeraportin [6] asettamia reunaehtoja sekä paloasetusten [1,2,3,4] asettamia yleisiä sääntöjä SP Fire 105 täyden mittakaavan polttokoetulosten soveltamiselle.

Tampereella 23.4.2026

A-INSINÖÖRIT / PALOTEKNISEN SUUNNITTELUN YKSIKKÖ

Laatinut:



Timo Jokinen
DI, Rakennustekniikka
Suunnittelupäällikkö
FISE PV-Paloturvallisuussuunnittelija

Tarkastanut:



Päivi Myllylä
TKL, Rakennustekniikka
Suunnittelujohtaja
FISE PV Paloturvallisuussuunnittelija

KIRJALLISUUSLÄHTEET

- [1] Ympäristöministeriö. 2023. Rakentamislaki, 751/2023
- [2] Ympäristöministeriö. 2017. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta, 848/2017
- [3] Ympäristöministeriö. 2020. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta, 927/2020
- [4] Ympäristöministeriö. 2017. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta, 848/2017. Perustelumuistio
- [5] Ympäristöministeriö. 2020. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta, 927/2020. Perustelumuistio
- [6] RISE Research Institutes of Sweden AB. 2021. Test Report P106200-1rev1. Fire test of facade cladding. SP Fire 105. Finnfoam Oy. Facade system built upon a wood structure (particleboard) with insulation boards of PIR and with a facade cladding of fire impregnated wood. Borås, Sweden.
- [7] McGrattan, K., McDermott, R., Hostikka, S., Floyd, J., Vanella, M., Mueller, E. 2024. Fire Dynamics Simulator (Version 6). User' Guide. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology (National Institute of Standards and Technology Special Publication 1019).
- [8] McGrattan, K., McDermott, R., Hostikka, S., Floyd, J., Vanella, M., Mueller, E. 2024. Fire Dynamics Simulator (Version 6). Technical Reference Guide. Volume 1: Mathematical Model. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology (National Institute of Standards and Technology NIST Special Publication 1018-1).
- [9] McGrattan, K., McDermott, R., Hostikka, S., Floyd, J., Vanella, M., Mueller, E. 2024. Fire Dynamics Simulator (Version 6). Technical Reference Guide. Volume 2: Verification. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology (National Institute of Standards and Technology Special Publication 1018-2).
- [10] McGrattan, K., McDermott, R., Hostikka, S., Floyd, J., Vanella, M., Mueller, E. 2024. Fire Dynamics Simulator (Version 6). Technical Reference Guide. Volume 3: Validation. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology (National Institute of Standards and Technology Special Publication 1018-3).
- [11] U.S. Nuclear Regulatory Commission. 2007. NUREG-1824. Verification & Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications. Volume 7: Fire Dynamics Simulator.
- [12] Babrauskas, V. 1996. Facade Fire Tests: Towards an International Test Standard, Fire Technology 32, pp. 219–230.
- [13] Rinta-Paavola, A., Sukhomlinov, D., Hostikka, S. 2023. Modelling Charring and

-
- Burning of Spruce and Pine Woods during Pyrolysis, Smoldering and Flaming. Aalto University. Fire Technology 59, 2751-2786. 2023.
- [14] Tsantaridis, L. 2003. Reaction to fire performance of wood and other building products – Cone Calorimeter results and analysis. Doctoral thesis. KTH- Royal Institute of Technology. Department of Civil and Architectural Engineering. Division of Buildings Materials. Stockholm 2023.
- [15] McKinnon, M., Weinschenk, C., Dow, N., DiDomizio, M., Madrzykowski, D. 2023. Materials and Products Database (Version 1.0.0), Fire Safety Research Institute, UL Research Institutes. Columbia, MD 21045. https://github.com/ulfsri/fsri_materials_database
- [16] CSIRO Infrastructure Technologies. 2023. Fire Testing Report Number FNK 13021. Test on a flame retardant coating applied to a spruce timber panel at 25-kW/m² irradiance in accordance with AS/NZS 3837:1998. Nordtreat Oy / NT Deco. North Ryde, Australia.
- [17] SFS-EN 1995-1-2. 2004. Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleistä. Puurakenteiden palomitoitus.
- [18] XAMK. 2025. Cone calorimeter testing of insulation samples, Finnfoam. Test report 17.11.2025, Mikkeli
- [19] Hidalgo-Medina, J.P. 2015. Performance-based methodology for the fire safe design of insulation materials in energy efficient buildings. Doctoral Thesis. University of Edinburgh. <http://hdl.handle.net/1842/10601>
- [20] d'Albani, A.W., Kluiver, L.L., De Korte, A., Herpen, R.A.P. & Weewer, R., Brouwers, H.J.H. 2017. Mass loss and flammability of insulation materials used in sandwich panels during the pre-flashover phase of fire: Mass Loss and Flammability of Insulation Materials. Fire and Materials. 41. 779–796. 10.1002/fam.2418.
- [21] SFS-EN 1993-1-2. 2005. Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu, Osa 1-2: Rakenteen palomitoitus. Suomen standardisoimisliitto SFS. Helsinki.