

LAUSUNTO EPS-ERISTEIDEN KÄYTÖSTÄ TT-LAATAN PÄÄLLÄ

Tilaaaja: Finnfoam Oy
Jussi Jokinen
Satamakatu 3
24100 Salo
jussi.jokinen@finnfoam.fi

Pvm: Tilauksen päiväys: 4.6.2026

Laatija: Simo Hostikka
Professori
Paloturvallisuustekniikka
Ankkurinvarsi 4 A 1
02320 ESPOO
puh: 040 869 7290
simo.hostikka@aalto.fi

1 Aineisto

- [A1] Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017.
- [A2] Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta. 927/2020.
- [A3] Ympäristöministeriö. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. Perustelumuistio. 28.11.2017.

2 Johdanto

Tämä palotekninen lausunto koskee EPS-eristeiden käyttöä yläpohjan eristeenä TT-laattarakenteen päällä P1- tai P2-luokan rakennuksissa. Lausunto perustuu laskennallisiin tarkasteluihin erilaisten materiaalikerrosten lämmöneristyskyvystä.

Lausunnon tarkoituksena on vastata kysymyksiin:

- 1) Millä edellytyksillä betonilaatasta ja mahdollisista lisäeristeistä koostuva rakenne riittää suojaamaan yläpuolista EPS-eristettä alapuoliselta palolta 30 min tai 60 min ajan?
- 2) Miten EPS-eriste tulee suojata TT-laattojen saumakohtissa.

3 Luokkiin ja lukuarvoihin perustuvat vaatimukset

Osastoivien rakennusosien luokkavaatimukset on esitetty asetuksen 927/2020 [A2] taulukossa 6. P1-paloluokassa yläpohjan osastoivien rakenteiden vaatimus on EI60 ja 1-2 kerroksisissa P2-paloluokan rakennuksissa EI30.

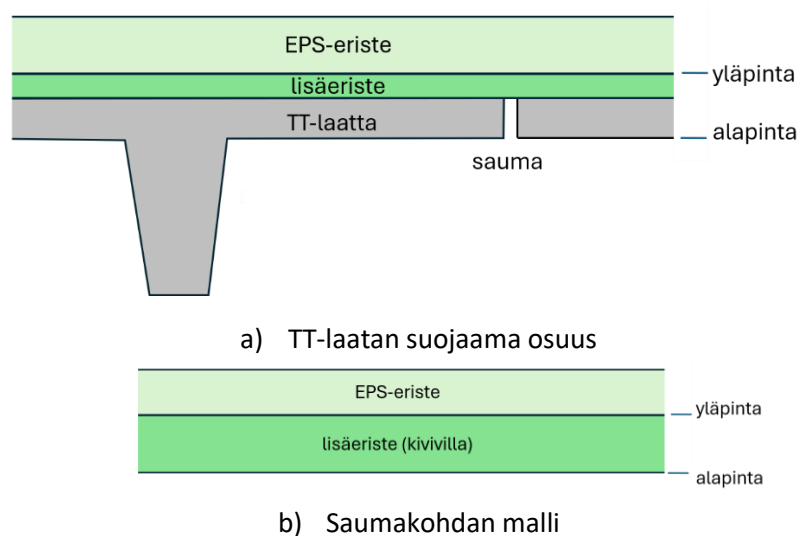
Yläpohjan eristeitä koskee myös asetuksen 848/2017 [A1] 27§: ”Enintään 56 metriä korkeassa P1-paloluokan rakennuksessa voidaan käyttää lämmöneristettä, joka eristävältä osaltaan täyttää B-s1, d0-luokan vaatimukset tai lämmöneriste on suojattu ja sijoitettu niin, että palon leviäminen eristeeseen on rajoitettu ajan, joka on rakennuksen sisäpuolelta ja aukkojen pielen osalta vähintään tilan osastoivien rakennusosien palonkestävyysaika vaatimus.” Koska EPS-eriste ei täytä B-s1,d0-luokan vaatimuksia, edellyttää sen käyttäminen enintään 56 metriä kokeissa P1-luokan rakennuksissa, että EPS-eriste suojataan palolta vähintään 60 min ajan.

P2-luokan rakennusten osalta asetuksen [A2] 24§ asettaa vaatimuksen sisäpintojen suojaverhoukselle: ”P2-paloluokan 1–2-kerroksisen rakennuksen sisäpuolisten seinä- ja kattopintojen on oltava varustettuja vähintään B-s1, d0-luokan tarvikkeista tehdyllä K₂ 10-luokan suojaverhouksella.” Jos EPS-eriste tulkitaan osaksi sisäpuolista pintaa, on selvitettävä täyttääkö TT-laatta K₂ 10-suojaverhouksen tehtävän. TT-laattojen saumojen osalta on selvitettävä, kuinka paksu (palamaton) eristekerros tarvitaan vastaavan suojaustason saavuttamiseksi.

4 Ongelman kuvaus ja laskentamenetelmät

4.1 Palotilanteen kuvaus

EPS-muovin suojaustarvetta tarkastellaan tilanteessa, jossa TT-laatan alapuolinen palo kuumentaa laatan tasaista osaa, ja lisäeristyksellä halutaan estää laatan yläpuolelle asennetun EPS-eristeen osallistuminen paloon. Lisäeristeen materiaali voi olla joko betonivalu, kivivillaeriste, tai PIR-muovi (Kuva 1a). Tehtävänä on selvittää tarvittavan lisäeristekerroksen paksuus kullakin materiaalivaihtoehdolla. Tavanomaisessa TT-laatassa kannen paksuus on 50 mm ja betonin lujuusluokka C40/50. Alapuolisen palon lämpötilan oletetaan noudattavan palonkestävyyden standardipalokäyrää (ISO 834). Laatan saumaa tarkastellaan erillisenä tilanteena, jossa betonin eristysvaikutusta ei oteta huomioon (kuva 1b).



Kuva 1. TT-laatan suojaustilanne TT-laatan kohdalla (a) ja saumassa (b).

Lisäeristeen tarkoituksena on estää EPS-muovin osallistuminen paloon. EPS-eriste alkaa osallistua paloon, kun se pehmenee ja muuttuu juoksevaksi, tai kun sen polymeerit alkavat pilkkoutua ja tuottaa palamiskelpoisia kaasuja. EPS-muovi on amorfinen aine, jolla ei ole varsinaista sulamispistettä. Se alkaa pehmenemään 90-100 °C lämpötilassa (lasittumislämpötila). EPS:n raaka-aineena käytettävän General Purpose Polystyrene- eli GPPS-muovin prosessointilämpötilaksi useat valmistajat mainitsevat 180 – 240 °C [3]. Tämän lämpötilan yläpuolella EPS on juoksevaa, jolloin se valuu katosta kohti paloa. Polymeeriketjujen pilkkoutuminen taas alkaa n. 200 °C lämpötilassa, pääreaktioiden tapahtuessa 280-400 °C välillä. **EPS-eristeen kriittisenä lämpötilana voidaan siis pitää 180 °C lämpötilaa.**

On huomattava, että sisäpintojen suojaverhoukset (K₂10, K₂30) eivät välttämättä takaa riittävää suojausta, koska EPS-eristeen kriittinen lämpötila on alhaisempi kuin suojaverhouksen takana hyväksyttävä lämpötila (T₀ + 250 °C). Kriittisen lämpötilan saavuttaminen on tarkasteltava kullakin suojaverhouksella erikseen.

4.2 Betonin simulointimallit

Aluksi simuloitiin pelkkää betonilaattaa monifysiikkaisella yksiulotteisella mallilla, joka on kehitetty Aalto-yliopiston tutkimushankkeessa. Malli laskee betonin lämmön- ja massansiirron Matlab-ympäristössä. Se on validoitu sekä kirjallisuudessa esitettyjen kokeellisten tulosten [1] että Aalto-yliopistossa tehtyjen laboratoriokokeiden [2] avulla. Kokeellisen validoinnin perusteella lämpötilaennusteiden systemaattinen virhe koostuu n. 5 % positiivisesta harhasta (malli keskimäärin yliarvioi lämpötilan nousun) ja satunaisvirheestä, jota kuvaa n. 4 % keskihajonta.

Simuloinnissa käytetyt laatan ominaisuudet on koottu taulukkoon 1. Termiset ominaisuudet ovat samat kuin julkaisun [2] normaalilujuusbetonilla. Ne ovat lämpötilasta riippuvia, eikä niitä sen vuoksi ole sisällytetty oheiseen taulukkoon.

Taulukko 1. Betonilaatan simuloinnissa oletetut ominaisuudet.

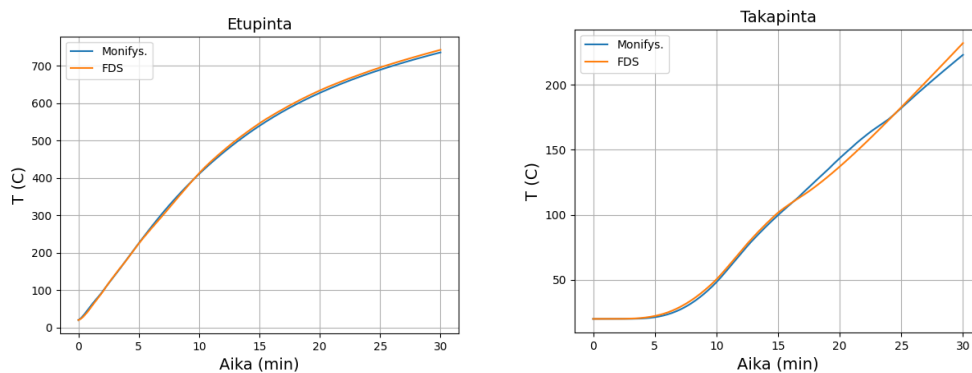
Suure	Monifysiikkamalli	FDS-malli
Laatan paksuus (m)	0.05	0.05
Laatan tiheys (kg/m ³)	2235	2235
Haihtuva kosteuspitoisuus (%)	3.0	-
Pinnan emissiivisyys	0.9	0.9
Lämmönjohtavuus (W/mK)	Monen komponentin lämpötilasta riippuva funktio	(20 °C) 1.3 (50 °C) 1.35 (80 °C) 2.0 (105 °C) 1.6 (200 °C) 1.58 (300 °C) 1.43 (400 °C) 1.29
Ominaislämpökapasiteetti (kJ/kgK)	Monen komponentin lämpötilasta riippuva funktio	(20 °C) 0.8 (100 °C) 0.8 (115 °C) 1.4

Laatan alapinta altistettiin ISO834 -lämpötilakäyrälle, ja yläpinta huoneenlämpötilalle. Alapinnan konvektiokertoimeksi oletettiin 10 W/m²K ja yläpinnalla 1 W/m²K. Alhaisen konvektiokertoimen avulla simuloitiin eristekerroksen aiheuttamaa alhaista lämpöhäviötä. Molemmat pinnat olivat avoimia konvektiolle ja säteilylle. 50 mm paksu laatta diskretoitiin 1.0 mm resoluutiolla, ja aikaintegrointi tehtiin 0.5 s aika-askelin.

Betonin monifysikaalisen malli nykyisellä versiolla ei voi simuloida kerroksellisia rakenteita. Siksi varsinaiset simuloinnit tehtiin FDS-ohjelmalla [4]. Sen lämmönsiirtomallin verifiointi ja validointi on raportoitu erillisissä teknisissä dokumenteissaan (<https://pages.nist.gov/fds-smv/manuals.html>). Reunaehdot toteutettiin samoin kuin monifysiikkamallissa, lukuun ottamatta yläpinnan reunaehto, joka FDS-mallissa määriteltiin täysin eristetyksi. Tällä yksinkertaistuksella ennustetut lämpötilat ovat todennäköisesti hieman todellista korkeampia, koska lämpö ei pääse johtumaan yläpinnasta pois, ja tuloksia voidaan pitää hieman varmallalla puolella olevina.

Betoni mallinnettiin pelkkänä kiinteänä aineena ilman haihtuvia vesikomponenttejaan. Koska veden haihtuminen on energiaa kuluttava prosessi, oli lämmönsiirto-ominaisuuksia muokattava hieman viitteen [2] arvoista poikkeaviksi. Käytetyt arvot on esitetty taulukossa 1.

Kuvassa 2 verrataan monifysikaalisen ja FDS-mallin ennusteita 50 mm betonilaatan etu- ja takapinnan (ala- ja yläpinta) lämpötilaennusteita. Nähdään, että FDS-mallin ennusteet täsmäävät hyvin monifysikaalisen mallin ennusteisiin. FDS-mallia voidaan siis käyttää monikerroksisten simulointien toteuttamiseen.



Kuva 2. Monifysikaalisen betonimallin ja FDS-mallin lämpötilaennusteiden vertailu 50 mm betonilaatan etu- ja takapinnoilla (eli ala- ja yläpinnalla).

Eristysratkaisuna tutkittiin kaksikerroksisia betoni-betoni, betoni-kivivilla ja betoni-PIR-vaaho - yhdistelmiä. Simuloinnit tehtiin FDS-ohjelmalla. Betonille käytettiin taulukon 1 ominaisuuksia. Muiden materiaalien termiset ominaisuudet on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Eristemateriaalien ominaisuudet.

Suure	Betoni	Kivivilla	PIR-vaaho
Kerroksen paksuus (mm)	10	30 / 15	20
Tiheys (kg/m ³)	Kts. Taul. 1	46 / 136	31
Lämmönjohtavuus (W/mK)	Kts. Taul. 1	(20 °C) 0.0344 / 0.0296 (100 °C) 0.0489 / 0.0383 (200 °C) 0.0732 / 0.0507 (400 °C) 0.1504 / 0.0837	0.05
Ominaislämpökapasiteetti (kJ/kgK)	Kts. Taul. 1	(20 °C) 0.9953 / 0.9963 (400 °C) 1.0536 / 1.0563	(20 °C) 1.07 (100 °C) 1.46 (200 °C) 1.94

5 Simulointitulokset

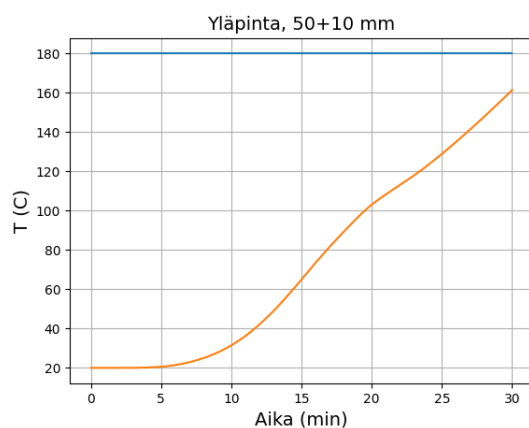
5.1 TT-laatan yläpuolinen eristekerros 30 min palossa

Kuvan 2 perusteella 50 mm betonilaatan yläpuolella lämpötila saavuttaa 10 min aikana 50 °C ja 30 min aikana 222 °C lämpötilan. EPS-eristeen kriittisen lämpötilan kannalta 50 mm betonilaatta toimii siis 10 min suojaverhouksena (K_210) mutta ei 30 min (K_230).

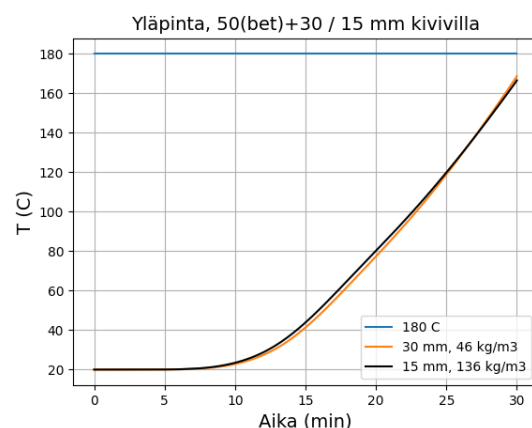
Betoni+lisäeriste -yhdistelmien simuloinnissa pyrittiin löytämään ohuin lisäeristekerros, jolla yläpinnan lämpötila pysyy alle 180 °C, huomioiden mallin epävarmuus. Kuvassa 3a on esitetty betoni-betoni-systeemin yläpinnan lämpötila, kun ylemmän betonivalun kerrospaksuus on 10 mm. Betonin kokonaispaksuus on tällöin 60 mm. Betonin yläpinta saavuttaa 30 min aikana n. 160 °C lämpötilan.

Kivivillasimulointiin valittiin kaksi tiheydeltään toisista poikkeavaa villaa, joiden tiheydet olivat 46 ja 136 kg/m³, ja joiden lämmönjohtavuus ja ominaislämpökapasiteetti valittiin kivivillapalotestien perusteella optimoiduista materiaaalimalleista [5]. Kuvan 3b mukaan kevyempää villaa tarvitaan 30 mm ja painavampaa n. 15 mm, jotta villan yläpinta ei saavuttaisi 180 °C lämpötilaa 30 minuutissa.

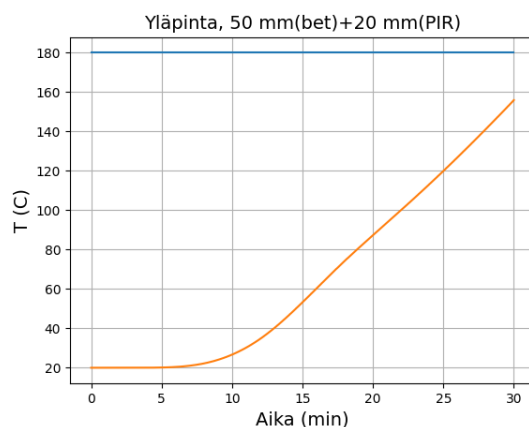
PIR-vaahdon ominaisuudet määriteltiin vastaamaan tilannetta ennen ensimmäistä pyrolyysireaktiota, koska lämpötilat TT-laatan yläpuolella eivät 30 min aikana saavuta PIR:n hajoamislämpötilaa [6]. Simulointien perusteella (Kuva 3c) voidaan todeta, että 20 mm PIR-vahtokerros riittää pitämään yläpinnan lämpötilan alle 180 °C.



a) 50 mm betoni + 10 mm betoni



b) 50 mm betoni + 30 / 15 mm kivivilla



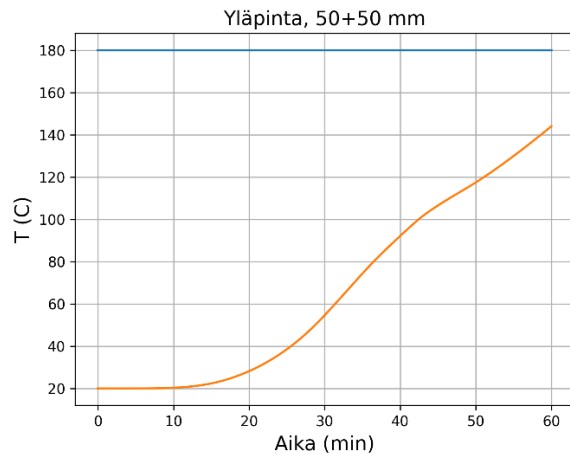
c) 50 mm betoni + 20 mm PIR

Kuva 3. EPS-muovia suojaavan eristekerroksen yläpinnan lämpötilat eri materiaaleilla ja optimoiduilla kerrospaksuuksilla.

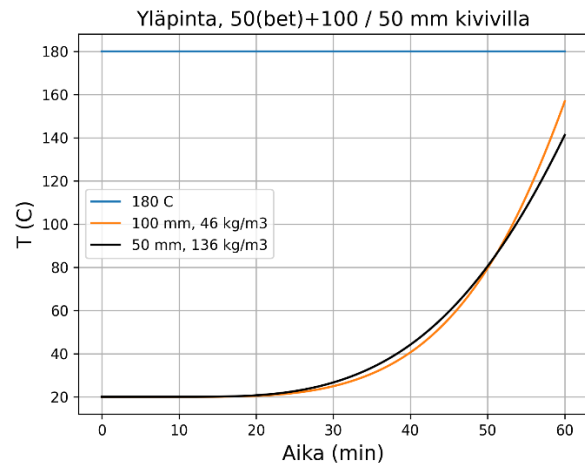
5.2 TT-laatan yläpuolinen eristekerros 60 min palossa

60 min suojausta varten optimoiduilla kerrospaksuuksilla simuloidut, suojaavan eristeen yläpinnan lämpötilat on esitetty kuvassa 4. Betoni-betoni-systeemin simulointien perusteella betonin yläpinta eli betonin ja EPS-eristeen raja pysyy alle 180 °C lämpötilassa 60 min ajan, jos lisäbetonikerroksen paksuus on vähintään 50 mm. Betonin paksuus on tällöin yhteensä 100 mm, ja sen yläpinta saavuttaa hieman yli 140 °C lämpötilan (Kuva 4a).

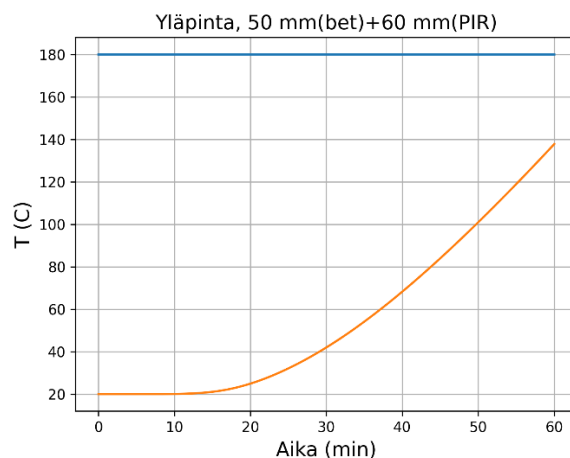
Kuvan 4b perusteella kevyempää kivivillaa tarvitaan 60 min suojauksen toteuttamiseksi 100 mm ja painavampaa n. 50 mm. Vastaavasti PIR-eristettä tarvitaan betonin päälle 60 mm kerros, jotta lämpötila jää EPS:n kannalta turvalliselle tasolle (Kuva 4c).



a) 50 mm betoni + 50 mm betoni



b) 50 mm betoni + 100 / 50 mm kivivilla



c) 50 mm betoni + 60 mm PIR

Kuva 4. EPS-muovia suojaavan eristekerroksen yläpinnan lämpötilat eri materiaaleilla ja optimoiduilla kerrospaksuuksilla, kun palon kesto on 60 min.

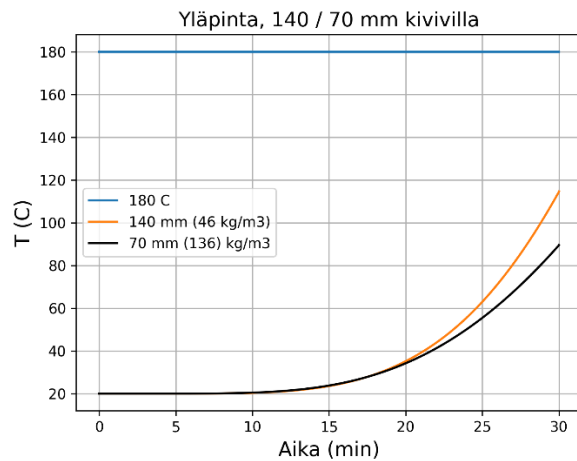
5.3 Saumakohdan suojaaminen kivivillalla

Betoni+eriste -systeemien lisäksi tutkittiin tilannetta, jossa suojaava kerros koostuu pelkästään kivivillasta. Tämä tilanne voisi tulla vastaan esim. laattojen saumojen suojauksessa.

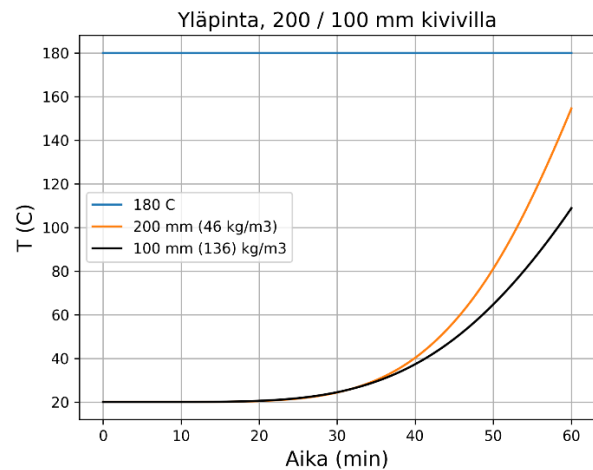
Tulosten (Kuva 5) perusteella voidaan todeta, että 30 min suojaus saavutetaan kevyellä kivivillalla kerroksen paksuuden ollessa vähintään 140 mm. Painavampaa kivivillaa riittää 70 mm kerros. Vastaavasti 60 min suojausta varten (Kuva 5b) kevyttä kivivillaa tarvitaan vähintään 200 mm ja painavampaa vähintään 100 mm.

140 ja 200 mm eristekerrokset voivat olla geometrisesti vaikeita toteuttaa. Käytännön kannalta toimiva ratkaisu olisi sellainen, jossa 50 mm korkea laattojen väli tilkitään kivivillalla ja se yhdessä yläpuolisen kerroksen kanssa tuottaa riittävän suojauksen. Tällainen suojaus saavutetaan, jos painavaa kivivillaa on sauman kohdalla 50 + 20 mm (30 min) tai 50 + 50 mm (60 min). 20 mm ja 50 mm kivillakerrokset toteuttavat riittävän suojauksen myös TT-laatan päällä.

Simuloinnit tehtiin yksiulotteisella malilla, joka ei ota huomioon sauman kapeutta, siihen liittyviä lämpöhäviöitä, ja betonisauman yläpuolisen lämmön jakautumista. Tarkempia tuloksia voitaisiin saada kaksiulotteisen lämmönjohtumistarkastelun avulla.



a) 30 min: 140 mm kevyttä tai 70 mm painavaa kivivillaa.



b) 60 min: 200 mm kevyttä tai 100 mm painavaa kivivillaa.

Kuva 5. EPS-muovia suojaavan kivivillakerroksen yläpinnan lämpötilat optimoiduilla kerrospaksuuksilla, kun palon kesto on 30 min (kuva a) tai 60 min (kuva b).

6 Lausunto

Laskennallisen tarkastelun perusteella 50 mm paksun betonilaatan yläpuolinen EPS-eriste on suojattava alapuoliselta palolta EI30 tai EI60 osastoinnin saavuttamiseksi. Suojaaminen voidaan simulointien perusteella suorittaa joko betonivalulla tai lisäeristekerroksella. Lisäeristeinä tutkittiin kevyttä ja painavaa kivivillaa sekä PIR-vaahtoa. 30 min ja 60 min eristysvaatimuksia vastaavat kerrospaksuudet on esitetty alla olevassa taulukossa:

TT-laatan yläpuolisen eristekerroksen paksuus	30 min	60 min
Betonivalu	10 mm	50 mm
Kevyt kivivilla (46 kg/m ³)	30 mm	100 mm
Painava kivivilla (136 kg/m ³)	15 mm	50 mm
PIR-vahto	20 mm	60 mm

TT-laatan saumakohdassa EPS-vahto altistuu alapuoliselle palolle ilman suojaavaa betonilaattaa, ja se on siksi suojattava erillisen eristekerroksen avulla. Yksiulotteisen lämmönjohtumistarkastelun avulla määritettiin kivivillan kerrospaksuudet, joilla EPS-eriste pysyisi suojattuna 30 / 60 min ajan. Tulokset on esitetty alla olevassa taulukossa.

Suoraan palolle altistuvan kivivillakerroksen paksuus	30 min	60 min
Kevyt kivivilla (46 kg/m ³)	140 mm	200 mm
Painava kivivilla (136 kg/m ³)	70 mm	100 mm

Sauman suojausta koskevat tarkastelut tehtiin yksiulotteisella lämmönjohtumismallilla, mikä aiheuttaa tuloksiin epävarmuutta. Tarkemmat tulokset edellyttävät kaksiulotteista laskentaa.

P2-paloluokassa sisäpuolisilta pinnoilta edellytetään K₂10-suojaverhousta. Simulointien perusteella 50 mm betonilaatta riittää tähän tarkoitukseen. Saumakohdan suojaus on tarkasteltava erikseen, esim. yllä esitettyä 30 min ratkaisua hyödyntäen.

Espoossa, 25.6.2026



Simo Hostikka, TkT

7 Lähdeviitteet

1. Riitamaa, C., Markert, F., Giuliani, L., Hostikka, S. Heat and Mass Transfer Model for Fire-Exposed Concrete—Part A: Validation of Temperature and Pressure Predictions. *Int J Concrete Structures Materials* 19 (2025). <https://doi.org/10.1186/s40069-025-00828-7>
2. Riitamaa, C., Hostikka, S., Markert, F., Husted, B.B.P., Bhargava, A., Patil, N., Li, K., Wu, X., Deng, X. Heat and Mass Transfer Model for Fire-exposed Concrete - Part B: Validation of Mass Loss and Temperature Predictions. *Int Journal Concrete Structures Materials* 19:127 (2025) <https://doi.org/10.1186/s40069-025-00860-7>
3. Polimaxx. GP130 General Purpose Polystyrene (GPPS). 2018. https://polimaxx.irpc.co.th/wp-content/uploads/2019/03/ps_gpps_gp130_datasheet.pdf?utm_source=chatgpt.com (viitattu 15.6.2026)
4. Fire Dynamics Simulator (FDS). <https://pages.nist.gov/fds-smv/>
5. Paudel, D., Rinta-Paavola, A., Mattila H.-P., Hostikka, S. Multiphysics Modelling of Stone Wool Fire Resistance. *Fire Technology* 57, 2020, 1283-1312. <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01050-5>
6. Chauhandri, D.M., Stoliarov, S., Beach, M.W., Suryaderava, K.A. Polyisocyanurate Foam Pyrolysis and Flame Spread Modelling. *Applied Sciences* 11(8), 2021, 3463. <https://doi.org/10.3390/app11083463>