

LAUSUNTO PIR-ERISTEIDEN KÄYTÖSTÄ LOIVISSA KATOISSA

Tilaaja: Rakennustuoteteollisuus RTT ry

Peter Lind
Eteläranta 10
PL 381
FI-00131 Helsinki
Finland
peter.lind@rt.fi

Pvm: Tilauksen päiväys: 24.9.2025

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

1 Aineisto

- [A1] Eurofins Expert Services Oy. Fire resistance test of nine different insulation packages to determine charring rates. 15.1.2026. REPORT NO EUFI29-25004352-T1. 4 s. + 39 s. liitt.
- [A2] Valokuvia Eurofins palotestistä. Antti Viitanen.
- [A3] Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017.
- [A4] Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta. 927/2020.
- [A5] Ympäristöministeriö. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. Perustelumuistio. 28.11.2017.

2 Johdanto

Tämä palotekninen lausunto koskee PIR-eristeiden käyttöä yläpohjan eristeenä loivakattoisissa enintään kaksikerroksisissa, P1- tai P2-luokan rakennuksissa. Lausunto perustuu pääosin Eurofins Expert Service Oy:llä 15.1.2026 tehtyyn polttokokeeseen [A1].

Lausunnon tarkoituksena on vastata seuraaviin kysymyksiin:

T1: Millä edellytyksillä PIR-eristeitä voidaan käyttää ilman erillistä palosuojausta tai katon pinnan jakoa enintään 2 400 m² osiin, kun vaatimuksena on palon etenemisen rajoittuminen?

T2: Miten PIR-eriste toimii TT-laattarakenteen saumakohtassa palotilanteessa suojaamattomana?

T3: Millä edellytyksillä betonilaatan voidaan katsoa suojaavan sen yläpuolista PIR-eristettä alapuoliselta palolta?

T4: Voidaanko PIR-eristeen läpäisevät läpiviennit toteuttaa ilman erillistä, A1-luokan eristettä?

T5: Millä edellytyksillä PIR-eriste voi jatkua osastoivan väliseinän yli?

Tässä lausunnossa käytetään termiä *hiiltymäsyvyys* kuvaamaan sitä etäisyyttä näytteen pinnasta, jolla PIR-eristeen voidaan lämpötilamittausten perusteella olettaa alkaneen hiiltymään kullakin ajanhetkellä. Vastaavasti *hiiltymänopeus* tarkoittaa tämän etäisyyden kasvua, eli hiiltymän etureunan etenemisnopeutta. Samoin käytetään termiä *eristyssyvyys* kuvaamaan lämpötilamittausten perusteella määritettyä syvyyttä, jolla PIR-eristeen lämpötila ylittää palonkestävyyden osastoivuusvaatimuksen eristävyyskriteerin ($T_0 + 140$ °C).

3 Luokkiin ja lukuarvoihin perustuvat vaatimukset

Osastoivien rakennusosien luokkavaatimukset on esitetty asetuksen 848/2017 [A3] taulukossa 6. P1-paloluokassa yläpohjan osastoivien rakenteiden vaatimus on EI60 ja P2-luokassa EI30.

Kantavien ja jäykistävien rakenteiden luokkavaatimuksen on esitetty asetuksen 848/2017 [A3] taulukossa 3. P1- ja P2-paloluokkien rakennuksissa, jossa ei ole ullakkoa ja rakenne ei ole kantavan rungon olennainen osa, yläpohjien vaatimus on R15.

Asetuksen [A3] pykälässä 28 esitetään vaatimus katteen luokituksesta: ”Katteen on oltava BROOF(t2)-luokkaa.”

Samassa pykälässä esitetään vaatimus kattopintojen jakamisesta osiin:

”Suuret kattopinnat on jaettava enintään 2 400 neliömetrin osiin. Vaatimus ei koske tapauksia, joissa katteen alusta on vähintään A2-s1, d0 -luokkaa tai muita ratkaisuja, joiden paloturvallisuustasoa voidaan pitää hyväksyttävänä.”

Yläpohjan eristeiden osalta asetuksen perustelumuihostiossa [A5], sivulta 29 alkaen todetaan: *”Kattopinta jaetaan osiin pysty- tai vaakasuorilla palokatkoilla. Ne sijoitetaan mahdollisuuksien mukaan alla olevien osastoivien seinien kohdalle. Jos lämmöneriste ei ole vähintään luokkaa A2-s1, d0, katteen palokatkon kohdalla lämmöneriste katkaistaan ja katkaisun on ulotuttava eristetilan alapintaan asti.*

Palon leviämisen katkaisua eristetilassa voidaan pitää riittävänä, kun leviäminen eristetilassa rajoittuu noin 30 minuuttia. Palokatkona käytettävän rakennusosan riittävän mitan määrittäminen voi

perustua esimerkiksi palotesteissä mitattuihin osastoivuuden aikoihin tai laskennallisesti esimerkiksi eristeen hiiltymisnopeuteen tai puurakenteella Eurokoodi 5:n sääntöihin.”

4 Palotestin kuvaus

Palotesti [A1] suoritettiin standardeja EN 1366-4:2021 "Fire resistance tests for service installations. Part 4: Linear joint seals" ja EN 1363-1:2020 "Fire resistance tests. Part 1: General requirements" soveltaen. Testattavat tuotteet asennettiin horisontaalisen palonkestävyysuunin kattoon.

Palotestissä uunin lämpötila noudatti ISO834 standardilämpötilaa hyvällä tarkkuudella. Testin kesto oli 60 min, ja siinä mitattiin kolmen eri valmistajan PIR-eristeiden lämpötiloja alkaen 50 mm syvyydeltä ja jatkuen 400 mm syvyyteen asti.

Testattavat tuotteet olivat näytteittäin

Näyte	Tuote
A	Recticel Eurothane Silver E FR
B	Recticel Eurothane Silver
C	Recticel Eurothane Bi-4
D	Kingspan Therma TR 26
E	Kingspan Therma TA42
F	Finnfoam FF-PIR AL
G	Recticel Eurothane Silver E FR
H	Kingspan Therma TR 26
I	Finnfoam FF-PIR AL

Näytteet A-F altistettiin palolle 600 mm × 600 mm alalta, ja näytteet G-I 50 mm × 600 mm alalta.

5 Tekninen tarkastelu: PIR-eristeiden hiiltyminen ja eristävyys

5.1 Aineisto ja menetelmät

Palotestin [A1] lämpötilamittauksista voidaan suoraan interpoloida erilaisten lämpötilakriteerien etenemissyvyydet aina 60 minuuttiin asti. Jos kuitenkin halutaan laajentaa tuloksia 90 min tai 120 min asti, on tuloksista laskettava edustavat etenemisnopeudet, joiden avulla sitten lasketaan etenemissyvyydet nyt testattua aikaa pidemmällä altistuksilla. Eristeiden sisäisistä lämpötilamittauksista laskettiin kaksi etenemissyvyyttä ja -nopeutta: hiiltymäsyvyys sekä lämmöneristävyys raja-arvon ($T_0 + 140\text{ °C}$) etenemissyvyys.

Hiiltymäsyvyyden määrittäminen lämpötilatuloksista perustui oletettuun hiiltymälämpötilaan 300 °C . Tämä lämpötila vastaa PIR-vaahdon termogravimetrisen (TGA) kokeen perusteella määritettyä lämpötilaa, jossa polymeerin hajoamisreaktio on nopeimmillaan [3]. Tarkasteluissa olisi mahdollista käyttää myös reaktion kynnyslämpötilaa (250 °C). (Ensimmäiset massamuutokset havaitaan TGA-kokeissa yleensä jo n. 200 °C lämpötilassa, mutta ne liittyvät PIR-vaahdon lisäaineisiin, eikä niitä tule käyttää hiiltymisen tarkasteluun [3].) Tulokset sisältävät herkkyydeltään tarkastelun, joka osoittaa kuinka paljon oletettu lämpötila vaikuttaa laskettuihin nopeuksiin. Hiiltymäsyvyys $x_{300}(t)$ interpoloitiin lämpötilamittauksista lineaarisesti.

Hiiltymänopeus laskettiin kahdella tavalla: keskimääräinen (kumulatiivinen) nopeus hetkellisen hiiltymäsyvyyden ja ajan suhteena

$$v_k(t) = \frac{x_{300}(t)}{t}$$

ja hetkellinen hiiltymänopeus hiiltymäsyvyyden aikaderivaattana

$$v_d(t) = \frac{dx_{300}(t)}{dt}$$

Avoimien laattasaumojen kohdalla tapahtuvaa hiiltymistä tarkasteltiin näytteillä, joissa PIR-eriste altistui 50 mm leveältä alueelta, muun eristeen ollessa suojattu 50 mm paksulla Paroc FPS 17 kivivillalla.

Lämpörintaman syvyydet ja lämpörintaman etenemisnopeudet laskettiin samalla tavalla kuin hiiltymäsyvyys, mutta 300 °C kriteerin sijaan lämpötilakriteerinä toimi 156 °C rajalämpötila (keskimääräinen näytteiden lämpötila kokeen alussa oli 16 °C).

5.2 Tulokset

5.2.1 Hiiltymärintaman ja lämpörintaman etenemissyvyydet ja -nopeudet

Valmistajakohtaiset hiiltymän ja lämpörintaman etenemistulokset on esitetty liitteessä A.

5.2.2 Hiiltymän eteneminen

Palotestin lämpötilamittausten perusteella määritetyt keskimääräiset hiiltymänopeudet vaihtelivat välillä $2,5 - 4,0\text{ mm/min}$. Lämpötilavalinnan vaikutus laskettuihin hiiltymäsyvyyksiin oli vähäinen, sillä kriteerin kasvattaminen tai alentaminen 50 asteella muutti laskettuja hiiltymäsyvyyksiä testin alkupuolella alle 15% ja loppupuolella alle 5% . Hiiltymänopeuksissa vaikutus oli myös vähäinen: Alemman (250 °C) hiiltymänopeuden käyttäminen nosti kumulatiivisen nopeuden huippuarvoja enimmillään 10% mutta alensi hetkellisen nopeuden huippuja.

Taulukko 1 esittää hiiltymänopeuksien perusteella lasketut hiiltymän etenemissyvyydet. Jos eristekerroksen paksuus on suurempi kuin hiiltymän etenemismatka, voidaan olettaa, että palo ei

kyseisenä aikana leviää kyseisen kerroksen läpi, esim. yläpuoliseen onteloon tai katekerrokseen. Esim. 30 minuutin aikana hiiltymän voidaan olettaa etenevän 120 mm. Eristeen alapuolinen palosuojaus (esim. 30 min suojaus) vähentää eristeeltä vaadittavaa pidättämisvaatimusta.

50 mm leveästä raosta hiiltyminen eteni kaikilla tuotteilla ensimmäisen, 100 mm paksun levyn läpi, mutta ei saavuttanut toisen levyn keskikohtaa, eli 150 mm syvyyttä. Lämpötilamittauksista lasketut leviämisenopeudet ensimmäisen 100 mm matkalla vaihtelivat välillä 1,5 – 2,1 mm/min. Valokuvien perusteella alustavat hajoamisreaktiot (värimuutokset) etenivät n. 40 mm toiseen eristelevyyn, minkä perusteella etenemisnopeus olisi 140 mm/60 min = 2.3 mm/min. Sivusuuntaista leviämistä saumasta ei pystytä arvioimaan, koska 50 mm kivivilla levy ei estänyt takana olevaa PIR-eristettä hiiltymästä.

Taulukko 1. Keskimääräisten hiiltymänopeuksien perusteella lasketut hiiltymäsyvyydet (mm) suojaamattoman eristeen tapauksessa. v_{min} edustaa eri näytteiden alinta, näytteiden yli keskiarvoistettua hetkellistä arvoa ja v_{max} ylintä hetkellistä arvoa. v_{50} on nopeus 50 mm leveän raon kautta altistetuissa näytteissä.

Aika (min)	15	30	60	90	120
Suojaamattoman pinnan hiiltymäsyvyys suurella pinnalla (mm)					
$v_{min} = 2.5$ mm/min	38	75	150	225	300
$v_{max} = 4.0$ mm/min	60	120	240	360	480
Hiiltymäsyvyys 50 mm leveän raon takana (mm)					
$v_{50} = 2.1$ mm/min	32	63	126	189	252

Taulukossa 1 on esitetty myös 2,1 mm/min nopeuden perusteella lasketut hiiltymän leviämissyvyydet 50 mm leveästä saumasta altistetuissa PIR-eristeissä. Syvyydet ovat lähes 50 % alhaisempia kuin mitä voidaan olettaa laajan pinnan kautta enimmillään.

PIR-eristeet eivät ylläpidä hajoamista tai aineen sisäisiä hapettumisreaktioita ilman ulkopuolista lämmitystä. Ne eivät siten ole alttiita kytemiselle.

5.2.3 Eristyssyvyys

Taulukossa 2 on esitetty $T_0 + 140$ °C -lämpötilakriteerin perusteella laskettujen etenemisnopeuksien ylimmät ja alimmat arvot ja vastaavat eristyssyvyydet eri ajanhetkillä. Näitä syvyyksiä voidaan käyttää nyt tutkittujen PIR-eristeiden edustavana palonkestävyyden eristävyyskriteereinä. Jos eriste altistuu standardipaloa vastaaville olosuhteille, mitoituksessa tulee käyttää vaihteluvälin suurimpaan nopeuteen (5.5 mm/min) perustuvia syvyyksiä. Esim. 30 min palonkestoaikaa vastaava eristepaksuus on tulosten mukaan 165 mm. Jos altistus on standardipaloa alhaisempi, voidaan käyttää keskimääräiseen etenemisnopeuteen (4,3 mm/min) perustuvia ainepaksuuksia. Jos eriste on suojattu alapuolista paloa vastaan, voidaan sen vaikutus lisätä eristeeseen vaikutukseen, tai toisin päin: eristettä ohentaa vastaavasti.

Taulukko 2. Eristyssyvyydet eli lämmöneristävyyden raja-arvon ($T_0 + 140$ °C) etenemissyvyydet (mm) suojaamattomassa eristekerroksessa. Etenemisnopeus v_{min} edustaa eri näytteiden alinta hetkellistä arvoa, v_{ave} keskimääräistä ja v_{max} ylintä hetkellistä arvoa. v_{50} on nopeus 50 mm leveän raon kautta altistetuissa näytteissä.

Aika (min)	15	30	60	90	120
Suojaamattoman eristeiden lämmöneristyssyvyys suurella pinnalla (mm)					
$v_{min} = 3,0$ mm/min	45	90	180	270	360
$v_{ave} = 4,3$ mm/min	64	128	255	383	510
$v_{max} = 5,5$ mm/min	83	165	330	495	660
Eristyssyvyys 50 mm leveän raon takana (mm)					
$v_{50} = 2,3$ mm/min	35	70	140	210	280

Taulukossa 2 on lisäksi esitetty 50 mm leveän raon kautta tapahtuvassa altistuksessa havaittu lämpörintaman etenemisnopeus (2.3 mm/min) ja vastaavat eristysvyödyt. Lämpörintaman etenemisnopeus oli havaintoalueella n. 11 % hiiltemisnopeutta korkeampi, ja vastaavasti eristysvyödyt ovat hivenen hiiltemäsyvyysä suurempia. Esim. 30 min palonkeston edellyttämä eristepaksuus raon kautta altistetussa eristeessä on 70 mm.

6 Tekninen tarkastelu: TT-laatan kannen suojausvaikutus

6.1 Mallinnus

Tavanomaisessa TT-laatassa kannen paksuus on 50 mm ja betonin lujuusluokka C40/50. Kannen kykyä suojata yläpuolista eristettä tarkasteltiin laskennallisesti. Laskenta suoritettiin Aalto-yliopiston tutkimushankkeessa kehitetyllä yksiulotteisella betonin lämmön- ja massansiirron laskentaohjelmalla. Ohjelma on toteutettu Matlab-ympäristössä, ja se on validoitu sekä kirjallisuudessa esitettyjen kokeellisten tulosten [1] että omien laboratoriokokeiden [2] avulla. Kokeellisen validoinnin perusteella lämpötilaennusteiden systeemaattinen virhe koostuu n. 5 % positiivisesta harhasta (malli keskimäärin yliarvioi lämpötilan nousun) ja n. 4 % keskihajonnasta.

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

Taulukko 3. Betonilaatan simuloinnissa oletetut ominaisuudet.

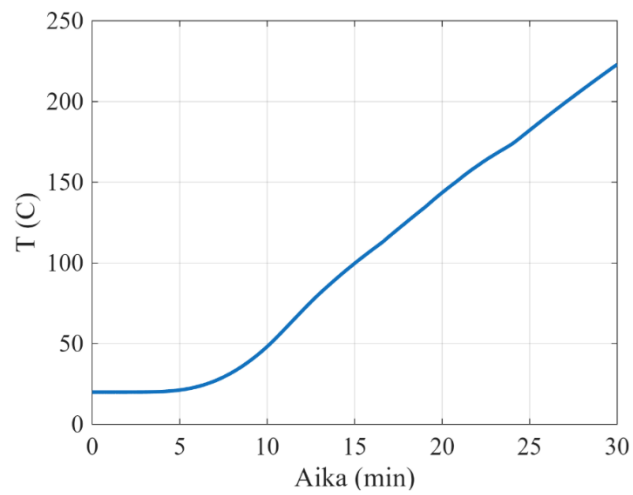
Suure	Arvo
Laatan paksuus (m)	0.05
Laatan tiheys (kg/m ³)	2235
Haihtuva kosteuspitoisuus (%)	3.0
Pinnan emissiivisyys	0.9

Laatan etupinta altistettiin ISO834 -lämpötiläkäyrälle, ja takapinta huoneenlämpötilalle. Etupinnan konvektio kertoimeksi oletettiin 10 W/m²K ja takapinnalla 1 W/m²K. Alhaisen konvektio kertoimen avulla simuloitiin PU-eristeen aiheuttamaa alhaista lämpöhäviötä. Molemmat pinnat olivat avoimia kaasunsiirron kannalta. 50 mm paksu laatta diskretoitiin 1.0 mm resoluutiolla, ja aikaintegrointi tehtiin 0.5 s aika-askelin.

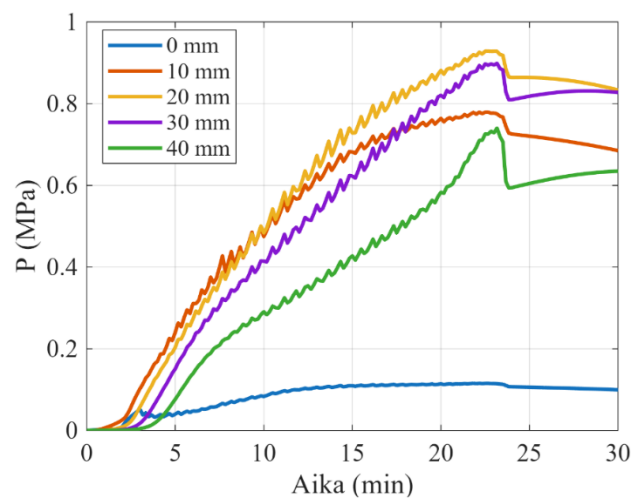
6.2 Tulokset

Kuvassa 1 on esitetty takapinnan lämpötila ajan funktiona. Lämpötila saavuttaa 30 min aikana 222 °C lämpötilan. PIR-vaahtojen hajoaminen alkaa n. 250 °C lämpötilassa. Tuloksen perusteella 50 mm betonilaatta riittää suojaamaan PIR-vaahtoa termiseltä hajoamiselta 30 min ajan.

Simuloitu huokospaine eri syvyyksillä on esitetty kuvassa 2. Paine ei ylitä C40/50 tyypillistä vetolujuutta, joten kaasun ylipaine ei aiheuta 30 min aikana räjähdysmäistä lohkeilua.



Kuva 1. 50 mm paksun betonilaatan takapinnan lämpötila uunikokeen aikana.



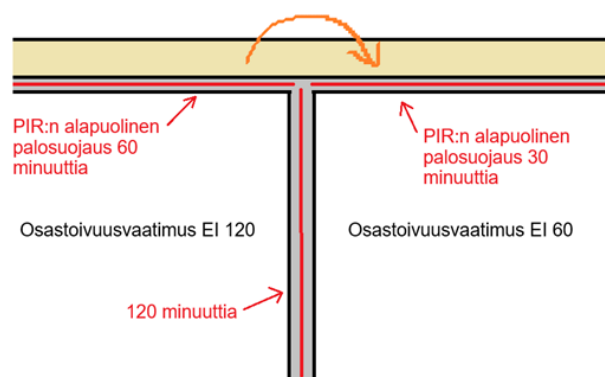
Kuva 2. Simuloitu ylipaine betonilaatan sisällä palotestin aikana.

7 Tekninen tarkastelu: osastoivan väliseinän yläpuolisen eristeen katkaiseminen

PIR-eristeen katkaisumateriaalina on tyypillisesti käytetty kivivillaa. Lämpörintaman etenemiseen kivivillassa vaikuttaa ennen kaikkea villan paksuus ja tiheys, saavutettavaan lämpötilatasoon taas villan sisältämän orgaanisen sideaineksen määrä [4]. Saman tutkimuksen perusteella lämpörintaman etenemisnopeus kivivillassa vaihteli välillä 1,4 mm/min – 4,0 mm/min, kun villan tiheydet olivat välillä 99,6 kg/m³ – 48,2 kg/m³ ja kriteerinä 140 asteen lämpötilan nousu kylmällä puolella. Toisaalta on huomattava, että PIR-eristeiden reaktiorintamaa vastaavia lämpötiloja havaittiin vain niissä kivivillaeristeissä, joiden sideainepitoisuus oli korkea.

Lämpörintama ja eksotermiset reaktiot etenevät kivivillassa siis likimain samalla nopeudella kuin PIR-eristeissä. Osastoivan rakenteen palonkestoajan kannalta ei ole suurta merkitystä eristetäänkö seinän yläpuolinen osa kivivillalla vai PIR-eristeellä. Yläpohjan kokonaistoimivuuden kannalta voi olla edullista, että eristekerros on yhtenäinen.

Jos osastoiva väliseinä ei jatku vesikaton läpi, eikä eristetilaa katkaista, osastosta toiseen tapahtuvan palon leviämisen kannalta mitoittavana tilanteena toimii palotilan yläpohjan sortuminen. Tätä on havainnollistettu kuvassa 3. Mahdollisessa sortumatilanteessa oletettavasti paikoilleen jäävän eristeen on tuotettava osastojen välille riittävä osastoivuus. Jos oletetaan, että rakenne sortuu 15 min kuluttua ja kylmän puolen tilassa PIR-eriste on suojattu alapuolelta 30 min ajan, tuottavat nämä vaiheet yhteensä 45 min palonkestoaikaa. Jos palonkestoaikavaatimus on t(EI), on eristetilan pystyttävä eristämään palolta t(EI)-45 pituisen ajan.



Kuva 3. Osastoivan väliseinän yläpuolisen eristeen vaatimus katon sortuessa. Esimerkitapauksena tilanne EI120 / EI60.

PIR-eristettä voidaan käyttää osastoivan seinän yläpuolisena eristeenä, kun eristepaksuus tuottaa yllä esitetyn osastoivuuden. Taulukossa 4 on esitetty eristepaksuudet keskimääräisen lämpörintaman etenemisnopeuden perusteella. EI(15) ja EI(30) palo-osastojen tapauksessa eristetilan osastoivuuteen ei kohdistu vaatimusta. EI(60)-palo-osaston tapauksessa eristetilan on pidätettävä lämmönsiirtoa 15 min ajan, mihin keskimääräisellä etenemisnopeudella (4,3 mm/min) vaaditaan 64 mm eristekerros. EI120 palo-osaston sortuessa eristetilan paksuuden tulee olla vähintään 319 mm.

Taulukko 4. Yläpohjan PIR-eristekerroksen vähimmäispaksuudet, kun osastoiva väliseinä ei jatku yläpohjan ja katteen läpi.

Palotilan EI (min)	15	30	60	90	120
t(EI) – 45 (min)	-	-	15	45	75
Eristyssyvyys x(t(EI)-45) (mm)					
v_{ave} = 4,3 mm/min	-	-	64	191	319

8 Lausunto

T1: Millä edellytyksillä PIR-eristeitä voidaan käyttää ilman erillistä palosuojausta tai katon pinnan jakoa enintään 2 400 m² osiin, kun vaatimuksena on palon etenemisen rajoittuminen?

Lämpötilamittausten perusteella hiiltymän etenemisnopeus PIR-eristeissä on enimmillään 4 mm/min. Palon etenemistä eristetilassa voidaan pitää rajoitettuna 30 minuutin ajan, jos eriste on suojattu alapuolelta paloa vastaan 30 min ajan tai eristekerroksen paksuus on vähintään 120 mm. Lisäksi käytettävän vesikate-eristealustayhdistelmän on testien perusteella täytettävä BROOF(t2) -vaatimukset. Tällöin katon pintaa ei tarvitse jakaa 2400 m² osiin palokatkoilla.

T2: Miten PIR-eriste toimii TT-laattarakenteen saumakohdassa palotilanteessa suojaamattomana?

Sauman kautta eristeeseen siirtyy vähemmän lämpöä kuin laajalta alueelta palolle altistetussa eristeessä. Hajoamisreaktiot etenevät nopeudella 2,1 mm/min, ja eristekerroksen paksuuden tulee olla vähintään 63 mm, jotta palon eteneminen olisi rajoitettua vähintään 30 min ajan.

T3: Millä edellytyksillä betonilaatan voidaan katsoa suojaavan sen yläpuolista PIR-eristettä alapuoliselta palolta?

Laskennallisen tarkastelun perusteella alapuolinen betonilaatta suojaa yläpuolista PIR-eristettä hajoamisreaktioiden alkamiselta, jos betonilaatan paksuus on vähintään 50 mm.

T4: Voidaanko PIR-eristeen läpäisevät läpiviennit toteuttaa ilman erillistä, A1-luokan eristettä?

Lämmön ja reaktioiden eteneminen PIR-eristeissä on rajoitettua, ja samaa suuruusluokkaa kivivillassa mitattujen etenemisnopeuksien kanssa. Läpivientien ympärille asennettu kivivilla ei tuo olennaista lisäarvoa PIR-eristeeseen verrattuna. Läpiviennit voidaan toteuttaa ilman erillistä, A1-luokan eristettä, jos PIR-eristeen paksuus on mitoitettu Taulukon 1 arvojen mukaan, kuten kohdassa T1.

T5: Millä edellytyksillä PIR-eriste voi jatkua osastoivan väliseinän yli?

Palotestissä mitattujen lämpötilojen ja oletetun 15 min rakennesortuman sekä PIR-eristeen alapuolisen 30 min palosuojauksen perusteella voidaan päätellä, että PIR-eriste voi jatkua katkeamattomana osastoivan väliseinän yli, jos PIR-eristekerroksen paksuus on vähintään 64 mm (EI60 palo-osasto), 191 mm (EI90), tai 319 mm (EI120).

Espoossa, 9.4.2026

Simo Hostikka, TkT

9 Lähdeviitteet

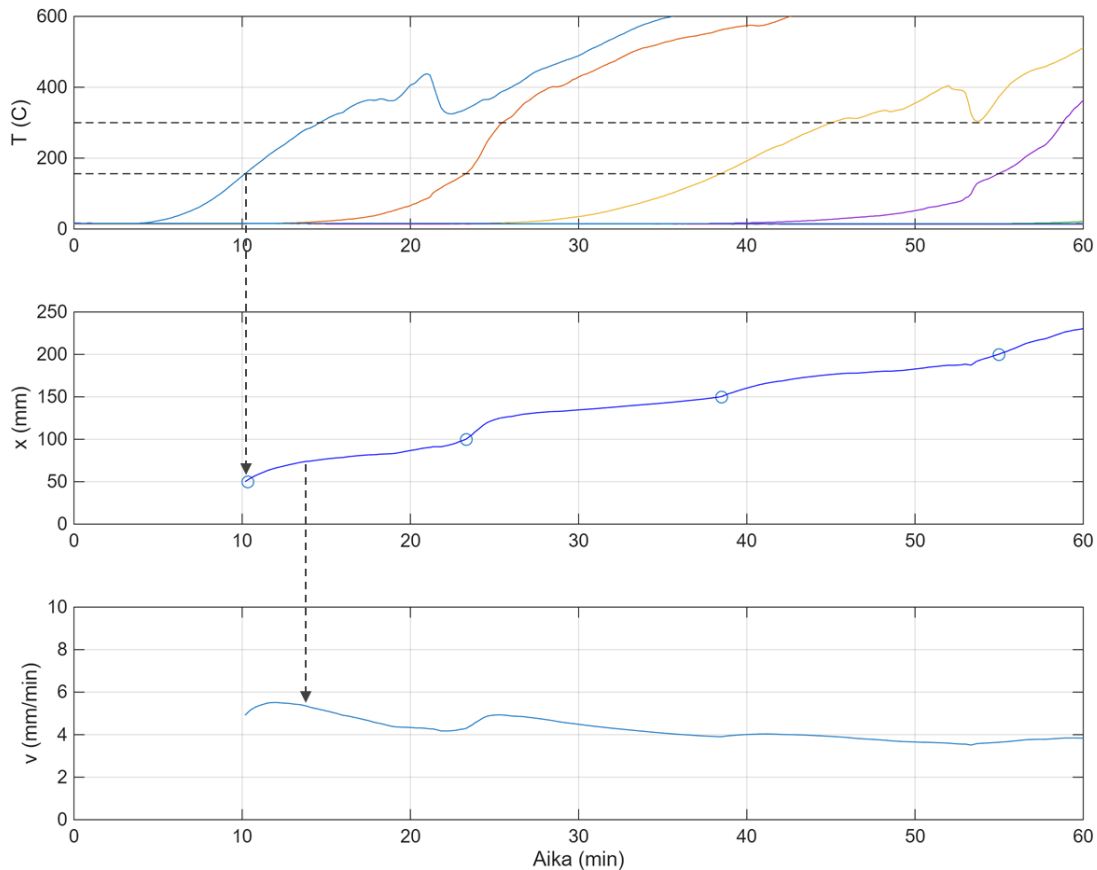
1. Riitamaa, C., Markert, F., Giuliani, L., Hostikka, S. Heat and Mass Transfer Model for Fire-Exposed Concrete—Part A: Validation of Temperature and Pressure Predictions. *Int J Concrete Structures Materials* 19 (2025). <https://doi.org/10.1186/s40069-025-00828-7>
2. Riitamaa, C., Hostikka, S., Markert, 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. Marquis, D.M., Batiot, B., Guillaume, E., Rogaume, T. Influence of reaction mechanism accuracy on the chemical reactivity prediction of complex charring material in fire condition. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 118 (2016) 231-248. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2016.02.007>
4. 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>

LIITE A. Hiiltymän ja lämpörintaman eteneminen palotestissä

A.0 Menetelmäkuvaus

Kuvassa A.0.1 on esitetty yhden näytteen (Näyte B) lämpötilamittaukset. Osastoivuuden eristävyyskriteeri (156 °C) saavutetaan 50 mm syvyydellä (ensimmäinen mittauspiste) n. 10 min kuluttua. Vastaava kriteeri interpoloidaan kaikille tätä seuraaville ajanhetkille (keskimäisen kuvan yhtenäinen viiva). Näistä syvyyksistä (x) lasketaan etenemisnopeudet. Alimmassa kuvassa se on laskettu kumulatiivisella (keskimääräisellä) tavalla: $v(t) = x(t)/t$.

Vastaavat syvyys- ja nopeusarvot laskettiin hiiltymäkriteerille (ylimmän kuvan ylempi katkoviiva).



Kuva A.0.1. Lämpötilamittausten muuntaminen syvyyksiksi (x) ja etenemisnopeuksiksi (x/t).

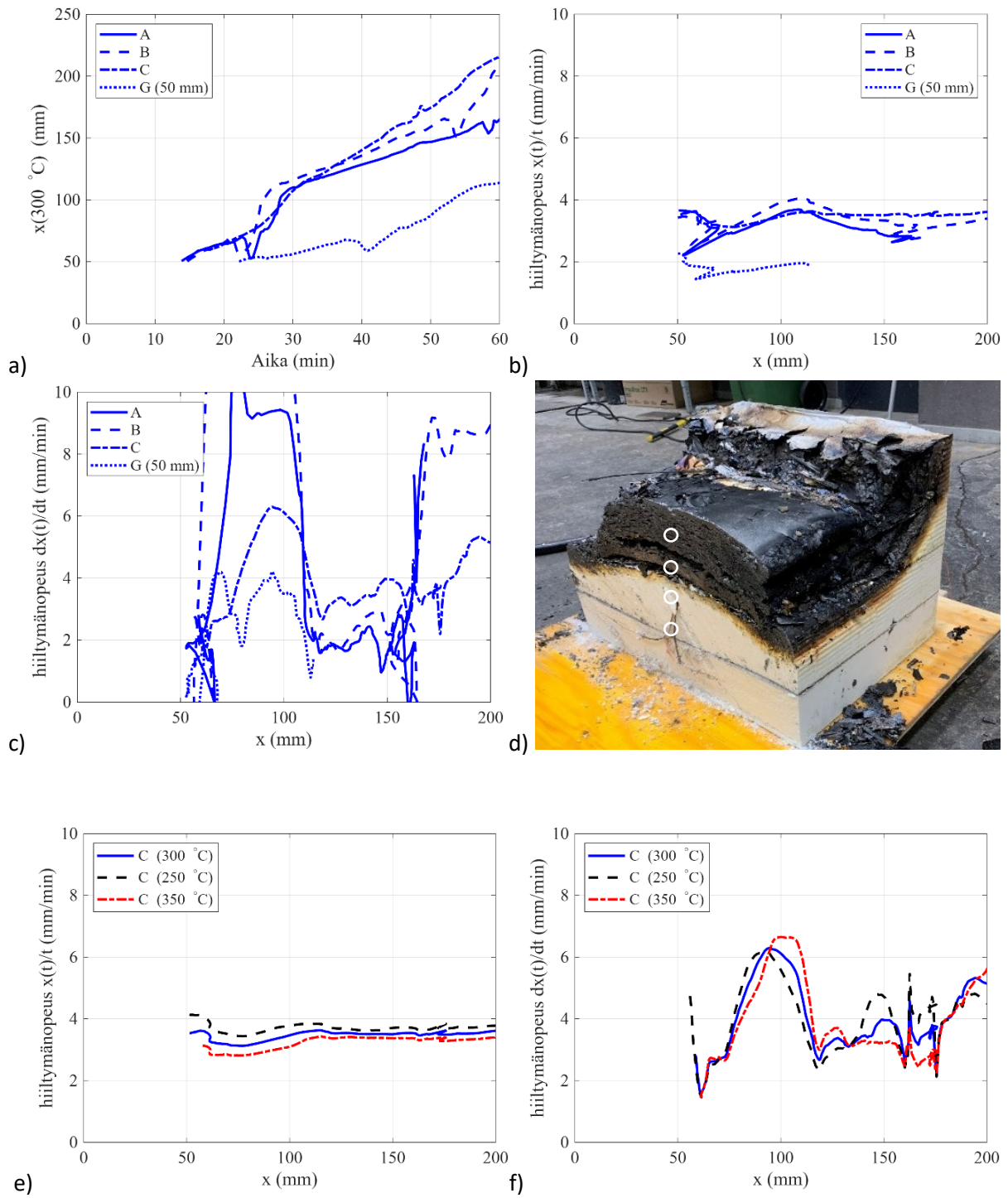
A.1 Recticel -eristeet

Hiiltemän (T = 300 °C) eteneminen

Kuvassa A.1.1 on esitetty **Recticel** -eristeissä mitattu hiiltemän etäisyys näytteen pinnasta (kuva a) sekä kumulatiivinen (kuva b) ja hetkellinen hiiltemännopeus (kuva c). Laajalta alueelta altistetuissa näytteissä A-C kumulatiivinen hiiltemännopeus on enimmäkseen välillä **3-4 mm/min**. 50 mm raon kautta altistetussa näytteessä (G, sama kuin A) hiiltemä etenee n. **1.9 mm/min** nopeudella. Hetkelliset nopeudet vaihtelevat suuresti, varsinkin niissä kohdin testiä, jossa hiiltemä lähestyy eristelevyjen rajaa.

Kuvassa A.1.1 (d) on esitetty Recticel Eurothane Silver FR -tuote testin jälkeen. Eristepino on sahattu keskeltä poikki hiiltemäkuvion visualisoimiseksi. Nähdään, että hiiltemä on edennyt nopeimmin eristenäytteen reunoilta, oletettavasti näytettä ympäröivän kivivillakerroksen ja PIR-eristeen välissä. Kivivillan kanssa reunojen eristys ei ole ilmatiivis, jolloin reunoille voi syntyä nosteen ja paine-eron vaikutuksesta kuuma virtaus kohti kylmää puolta. Lämpötilamittaukset tehtiin levyn keskikohdalla (valkoiset ympyrät), missä hiiltemäminen on ollut hieman reuna-aluetta hitaampaa. Kulmassa hiiltemä on edennyt 60 min aikana n. 250 mm matkan, mikä vastaa 4,2 mm/min keskimääräistä hiiltemännopeutta. (Testin päättymisen jälkeinen lämmitysaika huomioiden tulokseksi saataisiin n. 3,8 mm/min.)

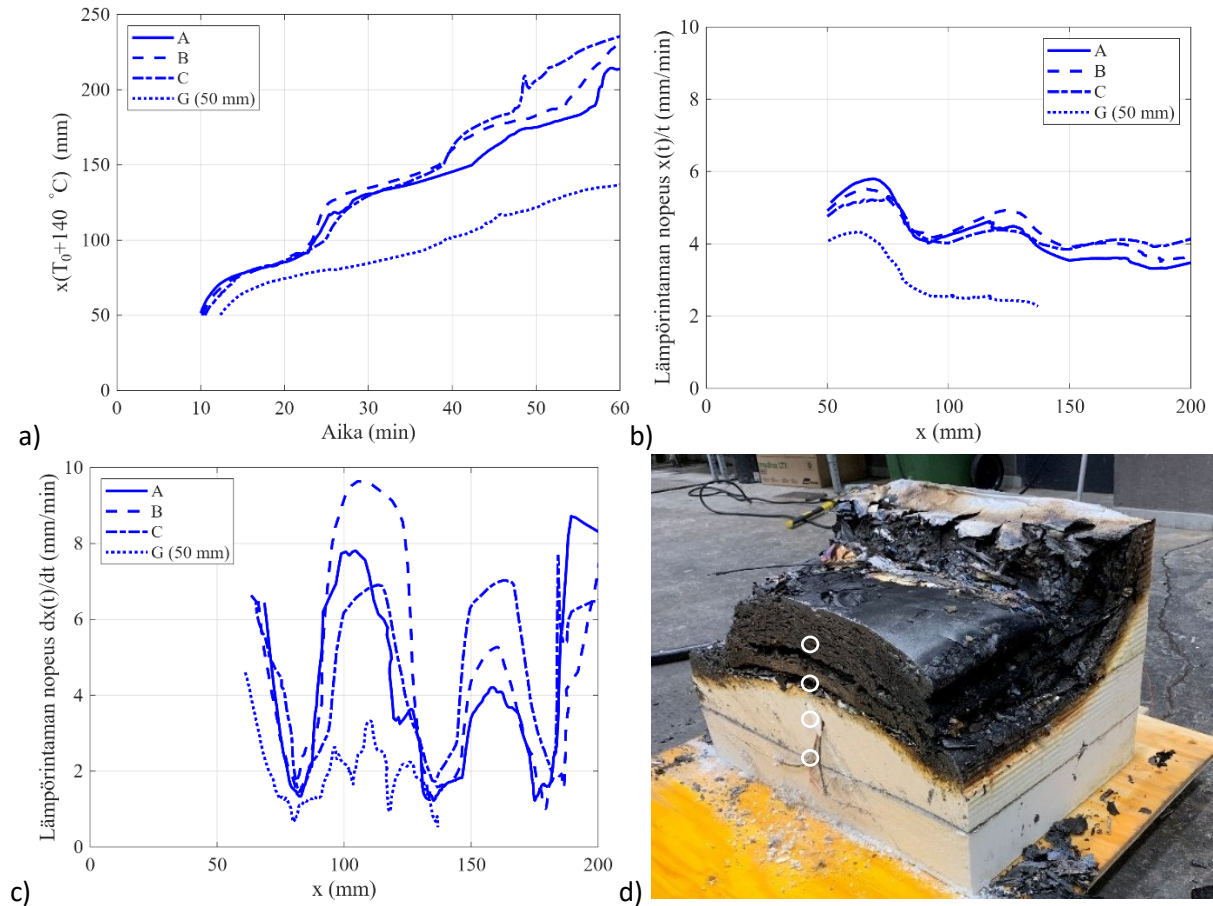
Kuvissa A.1.1. e-f on esitetty oletetun hiiltemäslämpötilan vaikutus laskettuihin hiiltemännopeuksiin. Alemman lämpötilan (250 °C) käyttäminen nostaisin kumulatiivisen hiiltemännopeuden (kuva e) maksimiavot hieman 4 mm/min yläpuolelle mutta alentaia korkeimpia hetkellisiä nopeuksia (kuva f).



Kuva A.1.1 a) Recticel-eristeiden hiiltymäsyvyys, b) kumulatiivinen ja c) hetkellinen hiiltymänopeus, sekä d) Recticel Eurothane Silver FR-tuote testin jälkeen keskikohdalta halkaistuna (valkoiset ympyrät osoittavat lämpötilamittausten pystylinjan), e-f) oletetun hiiltymislämpötilan vaikutus hiiltymisnopeuksiin.

Lämpörintaman ($T_0 + 140\text{ °C}$) eteneminen

Kuvassa A.1.2 on esitetty **Recticel** -eristeissä mitattu lämpörintaman etäisyys näytteen pinnasta (kuva a) sekä kumulatiivinen (kuva b) ja hetkellinen etenemisnopeus (kuva c). Laajalta alueelta altistetuissa näytteissä A-C kumulatiivinen nopeus vaihtelee välillä **3,5-5,5 mm/min**. 50 mm raon kautta altistetussa näytteessä (G, sama kuin A) hiiltymä etenee n. **2,2 mm/min** nopeudella.

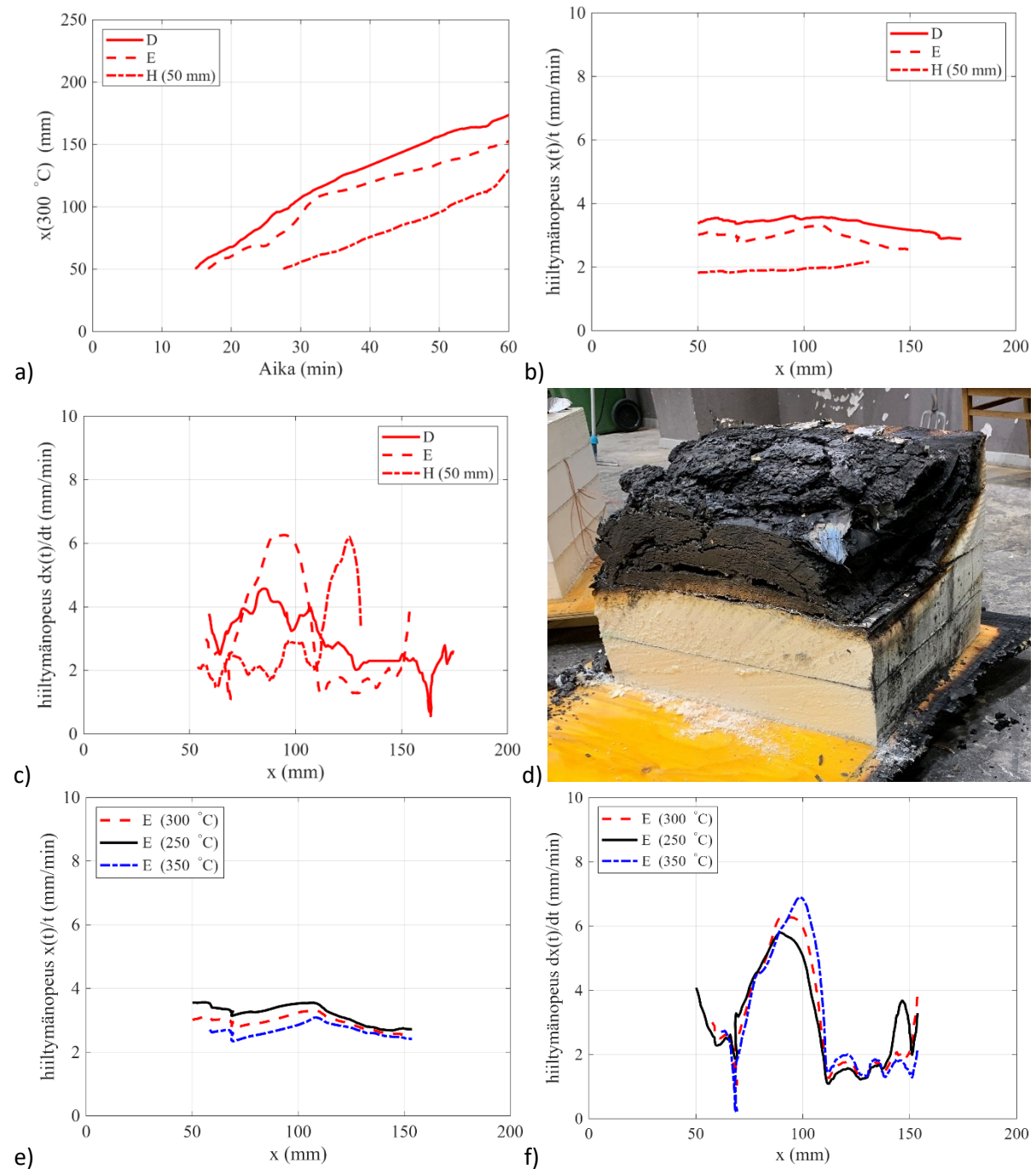


Kuva A.1.2. a) Lämpörintaman ($T_0 + 140\text{ °C}$) syvyys Recticel-eristeissä, b) kumulatiivinen ja c) hetkellinen lämpörintaman etenemisnopeus, sekä d) Recticel Eurothane Silver FR-tuote testin jälkeen keskikohdalta halkaistuna. Valkoiset ympyrät osoittavat lämpötilamittausten pystylinjan.

A.2 Kingspan -eristeet

Hiilnymän ($T = 300\text{ °C}$) eteneminen

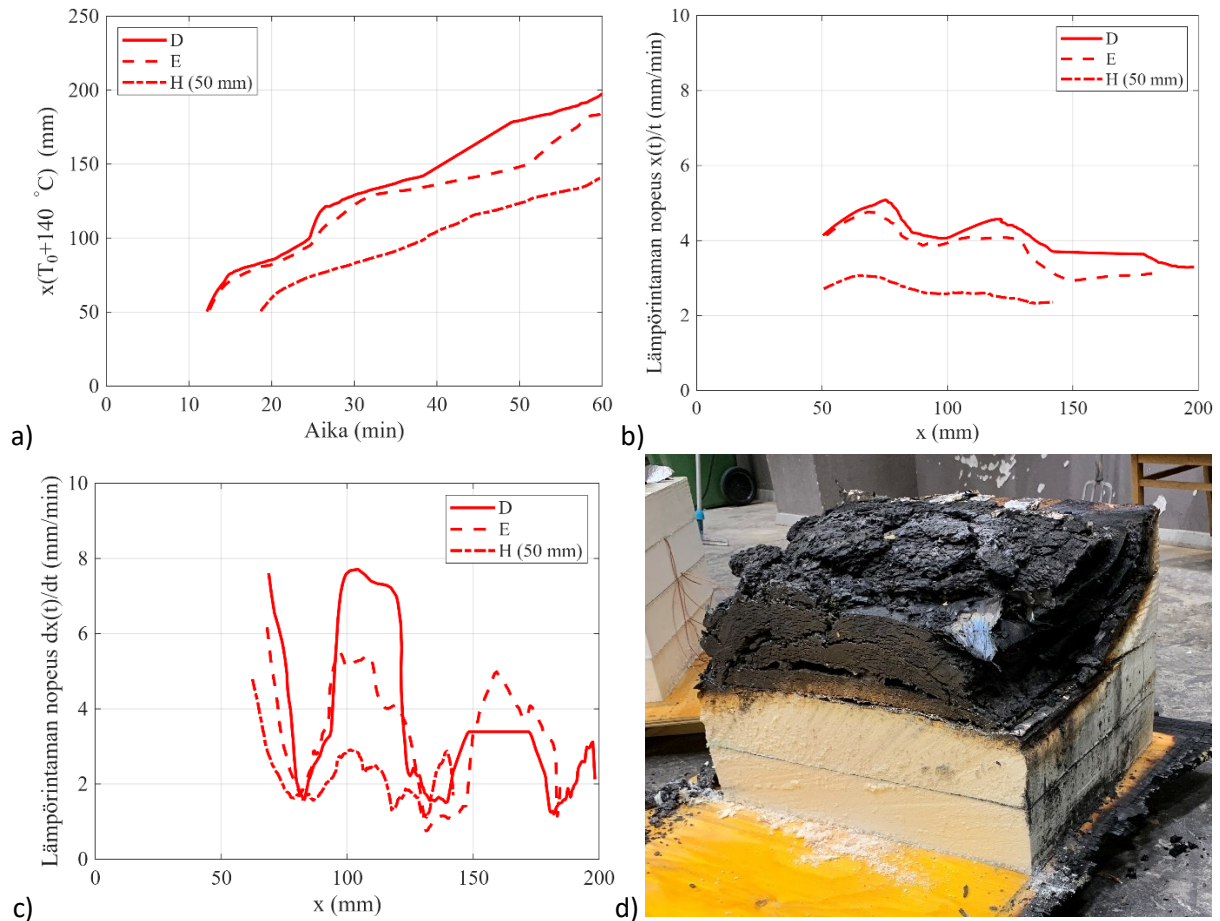
Kuvassa A.2.1 on esitetty hiilnymärintaman eteneminen **Kingspan**-eristeissä. Näytteissä D ja E kumulatiivinen hiilnymänopeus on välillä **2,5 - 3,5 mm/min**. 50 mm raon kautta altistetussa näytteessä (H, sama kuin D) hiilnymä etenee n. **2.1 mm/min** nopeudella. Hetkelliset nopeudet vaihtelevat alle kahdesta yli kuuteen mm/min. Kuvassa A.2.1d on esitetty D-näytteen hiilnymäkuvio testin jälkeen. Kuvista e-f nähdään, että alemman (250 °C) hiilnymislämpötilan oletus korottaisi kumulatiivista hiilnymänopeutta n. 10 % mutta alentaisi hetkellisen nopeuden huippuarvoja.



Kuva A.2.1. a) Kingspan-eristeiden hiilnymäsyvytydet, b) kumulatiivinen ja c) hetkellinen hiilnymänopeus, d) Kingspan Therma TR26 näyte testin jälkeen, e-f) hiilnymislämpötilan vaikutus hiilnymänopeuteen.

Lämpörintaman ($T_0 + 140$) eteneminen

Kuvassa A.2.2 on esitetty lämpörintaman eteneminen **Kingspan**-eristeissä. Näytteissä D ja E kumulatiivinen nopeus on välillä **3,5 – 5,0 mm/min**. 50 mm raon kautta altistetussa näytteessä (H, sama kuin D) rintama etenee n. **2.3 mm/min** nopeudella. Kuvassa A.2.2d on esitetty D-näytteen hiiltymäkuviot testin jälkeen.

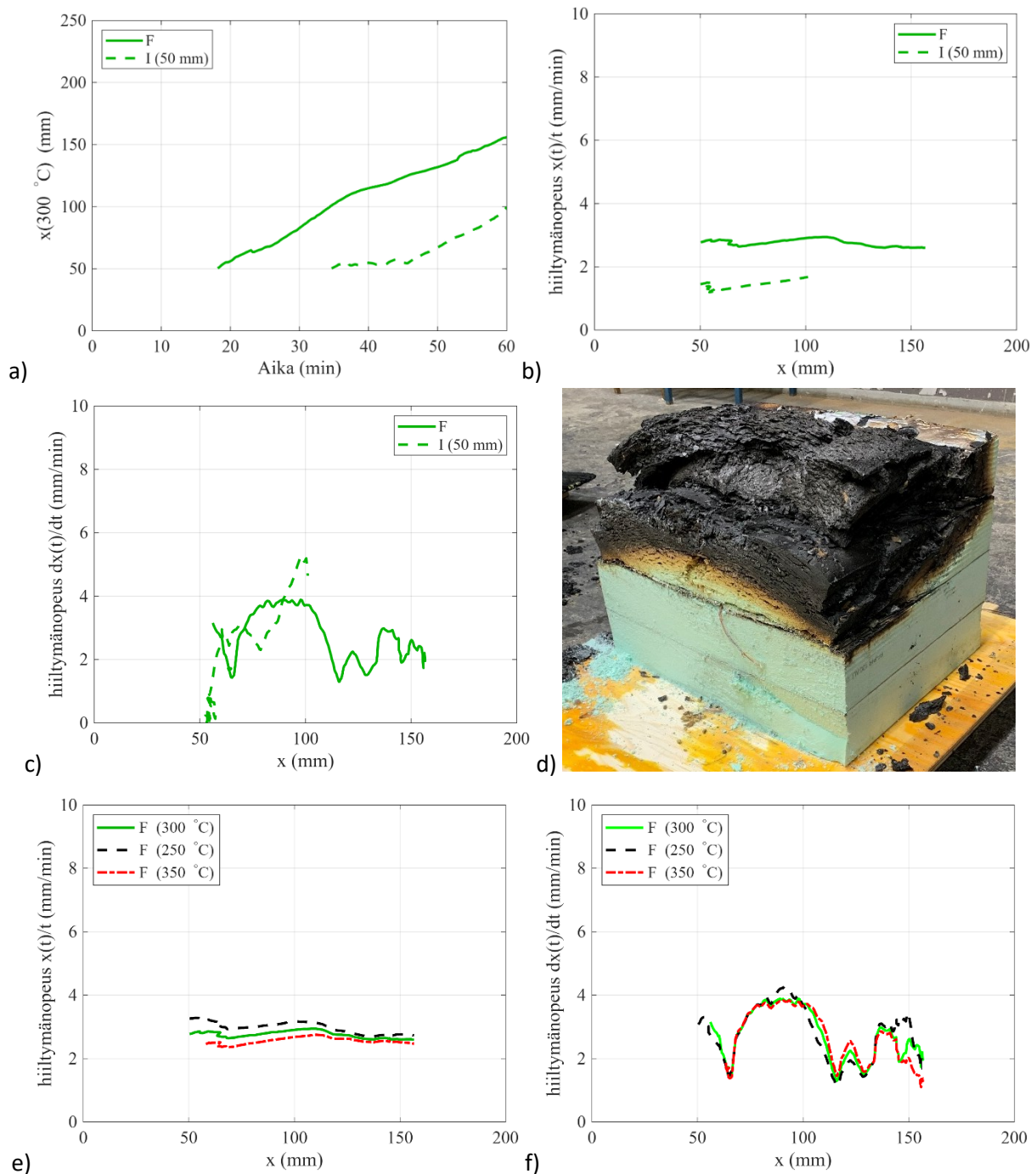


Kuva A.2.2. a) Lämpörintaman ($T_0 + 140\text{ °C}$) syvyys Kingspan -eristeissä, b) kumulatiivinen ja c) hetkellinen lämpörintaman etenemisnopeusnopeus c) hetkellinen hiiltymänopeus, d) Kingspan Therma TR26 näyte testin jälkeen.

A.3 Finnfoam FF-PIR AL -eriste

Hiiltymän ($T = 300\text{ °C}$) eteneminen

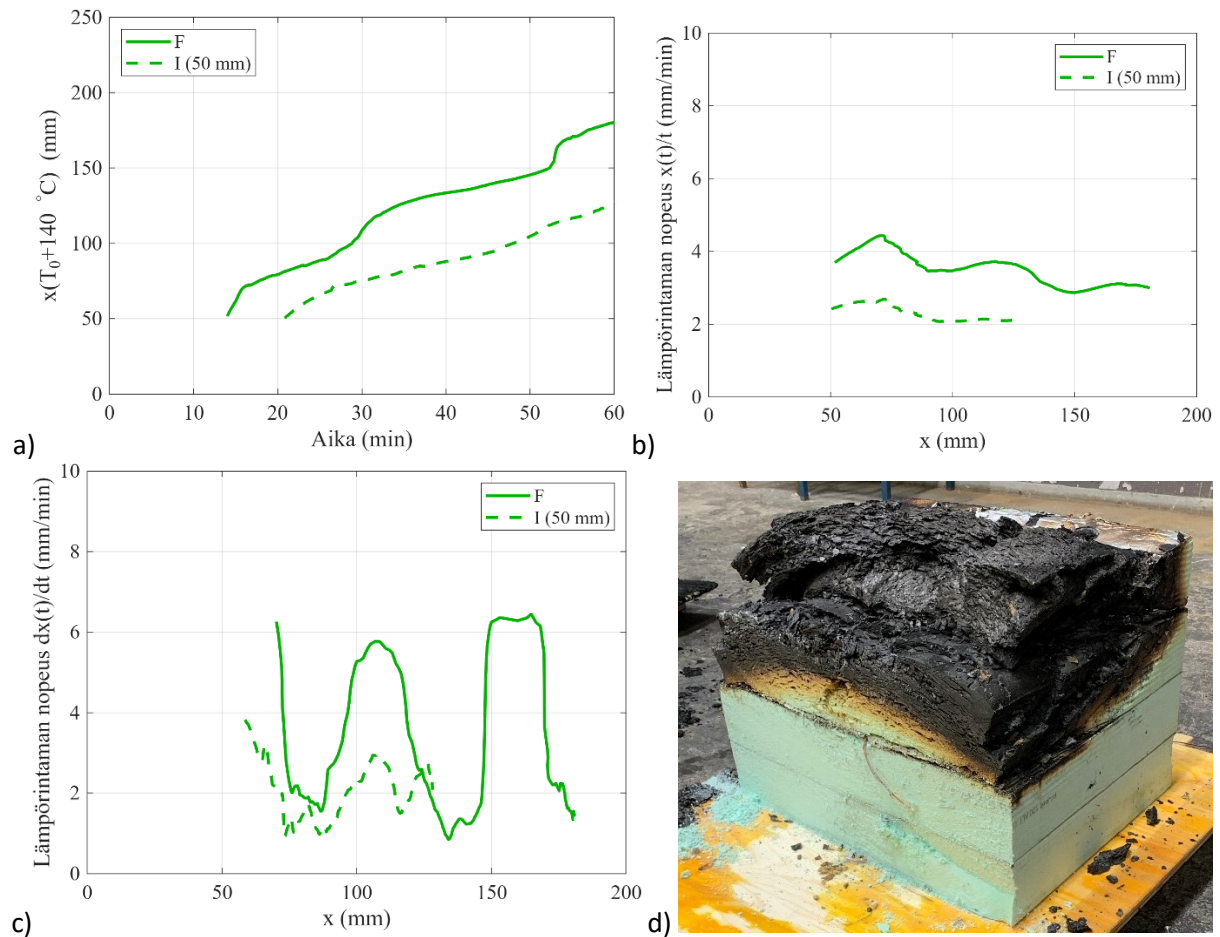
Kuvassa A.3.1 on esitetty hiiltymärintaman eteneminen **FF-PIR AL** -eristeessä. Näytteessä F kumulatiivinen hiiltymänopeus on **2,5 - 3 mm/min**. 50 mm raon kautta altistetussa näytteessä (I, sama kuin F) se on n. **1,7 mm/min**. Hetkelliset nopeudet vaihtelevat alle kahdesta viiteen mm/min. Kuvassa A.3.1d näkyy hiiltymäkuvio testin jälkeen. Näytteen reunalla eteneminen on ollut keskikohtaa nopeampaa. Kuvista e-f näkyy, että hiiltymänopeus ei ole herkkä oletetulle hiiltymislämpötilan arvolle.



Kuva A.3.1. a) FF-PIR AL -eristeiden hiiltymäsyvyys b) kumulatiivinen ja c) hetkellinen hiiltymänopeus, sekä d) FF-PIR AL -tuotteen hiiltymäkuvio testin jälkeen, e-f) hiiltymislämpötilan vaikutus hiiltymänopeuteen.

Lämpörintaman ($T_0 + 140$) eteneminen

Kuvassa A.3.2 on esitetty lämpörintaman eteneminen **FF-PIR AL** -eristeessä. Näytteessä F kumulatiivinen nopeus on **3,0 – 4,5 mm/min**. 50 mm raon kautta altistetussa näytteessä (I, sama kuin F) lämpörintama etenee n. **2.1 mm/min** nopeudella. Kuvassa A.3.2d on FF-PIR AL -näytteen hiiltymäkuvio testin jälkeen.



Kuva A.3.2. a) Lämpörintaman ($T_0 + 140\text{ °C}$) syvyys FF-PIR AL -eristeissä, b) kumulatiivinen ja c) hetkellinen lämpörintaman etenemisnopeusnopeus d) FF-PIR AL-tuotteen hiiltymäkuvio testin jälkeen.