

ONTELOPALOT – SUUREN MITTAKAAVAN KOKEET 2005 JA 2006

Rasmus Taneli, Tiitta Paavo ja Ronkainen Juha
Pelastusopisto
PL 1122 Hulkontie 83, 70821 Kuopio

Rinne Tuomo
VTT
PL 1000, 02044 VTT

KOEJÄRJESTELYT

Yleistä

Vuosina 2005 ja 2006 järjestettiin Kuopiossa Pelastusopiston harjoitusalueen teollisuushallipalosaluonissa suuren mittakaavan polttokokeita katto-onteloille. Vuonna 2005 poltettiin 100 mm korkuisella ontelolla varustettuja loivia kattoja ja vuonna 2006 harjakatto-onteloita, joiden sisäkorkeus oli 1000 mm. Kattopintojen leveys oli kaikissa testeissä noin kuusi metriä ja pituus kahdeksan metriä. Matalaksi onteloksi valittiin tyypillisesti mm. kaupan ja teollisuuden rakennuksissa esiintyvä kattorakenne. Harjakatto oli tyypiltään yleisesti pientaloissa sekä esimerkiksi palvelukodeissa esiintyvää tyyppiä.

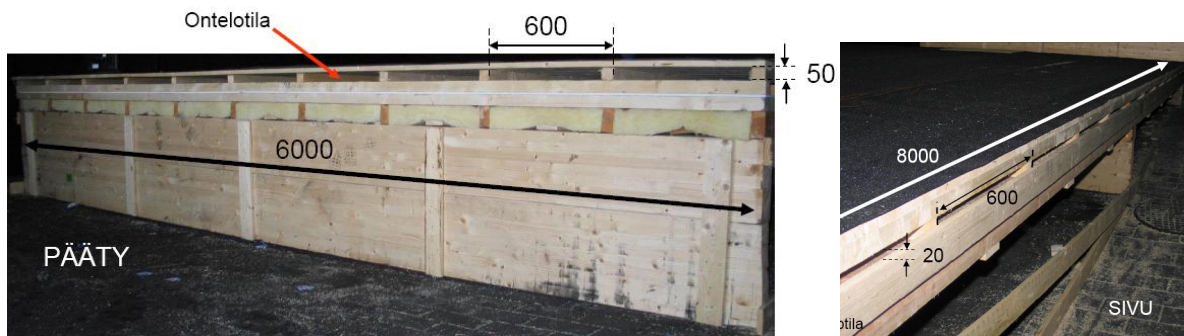
Vuoden 2005 elokuussa tehtiin matalalle ontelolle seitsemän koetta, joissa testattiin rajoituslinjojen toimintaa, jakoa-osiin toteuttavien rakenteiden toimivuutta sekä palon kehittymistä. Palonrajoitusta testattiin kahdella rakenteellisella ratkaisulla, kattoon raivatulla linjalla sekä pistosuihkuputkilla.

Vuonna 2006 tehtiin neljä koetta harjakatto-onteloille, joissa testattiin kolmea erilaista ontelon sammutusmenetelmää sekä palonkehitystä ontelossa. Kokeissa havainnoitiin myös lämpökameran käyttökelpoisuutta ontelopalon sammutuksen apuna. Käytetyt sammutusmenetelmät olivat suuntapainetuuletuksen ja sumusuihkulla sammutuksen sekä savutuuletuksen ja pistosuihkuputkilla sammutuksen yhdistelmä. Jälkimmäisen osalla selvitettiin toimintojen järjestyksen vaikutusta lopputulokseen.

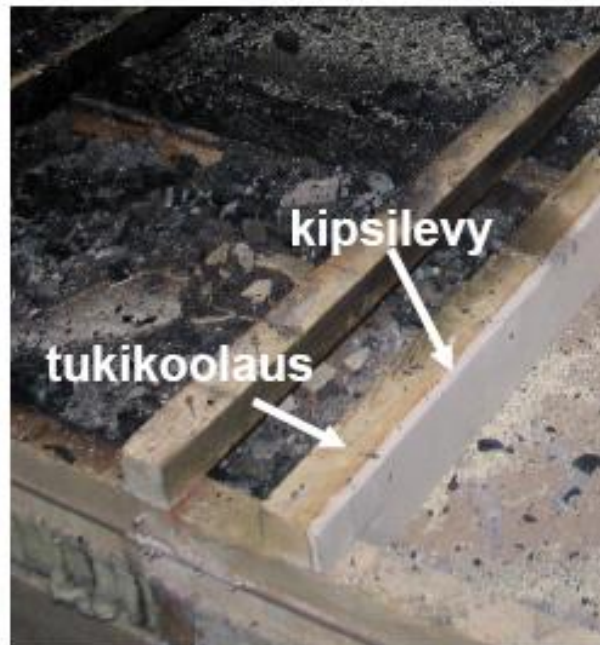
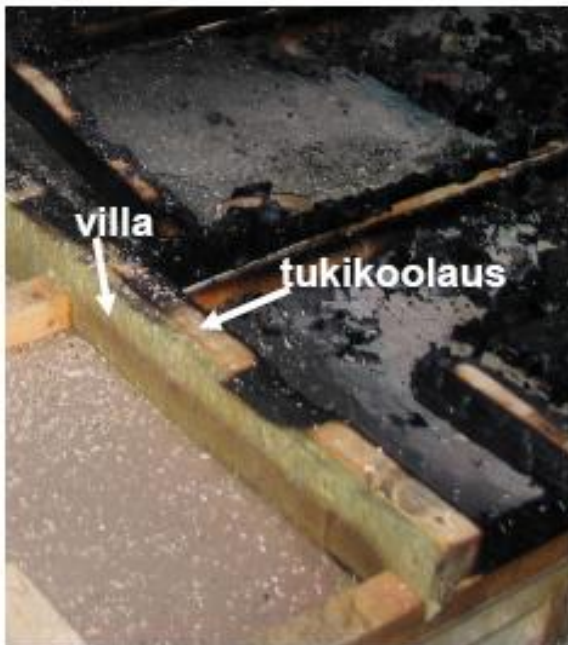
Molemmat rakenteet tehtiin maatasoon hallin sisätiloihin, jotta olosuhteet olisivat olleet helpommin hallittavissa sekä turvalliset. Halli oli varustettu savunpoistoluukuilla, joiden kautta syntyvät savukaasut poistettiin painovoimaisesti.

Rakenteet

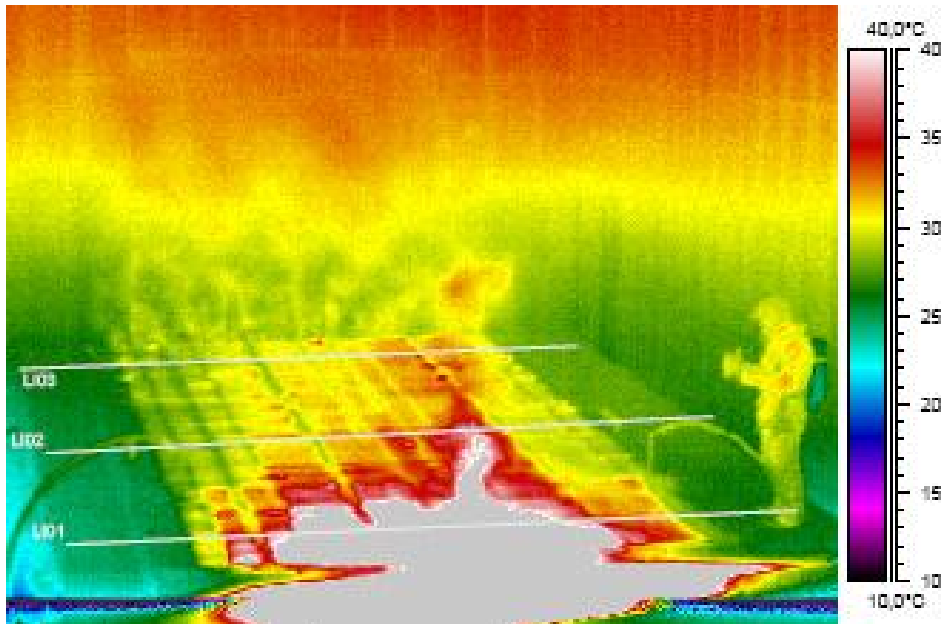
Matalaontelo, jota koepoltettiin vuonna 2005, oli tyypiltään ISOVER YP305B mukaisia. Kuvassa 1 on esitetty kattorakenne ennen koepoltoa. Kuusi katoista oli varustettu jakoa-osiin toteuttavilla rakenteilla, joita oli kussakin kokeessa kaksi. Toinen katoista oli toteutettu kahdella TAK10 mineraalivillalevyllä ja toinen kipsikartonkilevyllä (GN 13). Kuvassa 2a on esitetty kivivillakatko ja kuvassa 2b kipsikartonkilevykatko polttokokeiden jälkeen kuvattuina. Rakenteen toiminta näkyi selvästi kokeista otetuissa lämpökamerakuvissa (kuva 3).



Kuva 1a ja 1b. Vuoden 2005 koepolttojen matalalla ontelolla varustettu katto pädystä ja sivulta kuvattuna ennen koepolttoja [1].

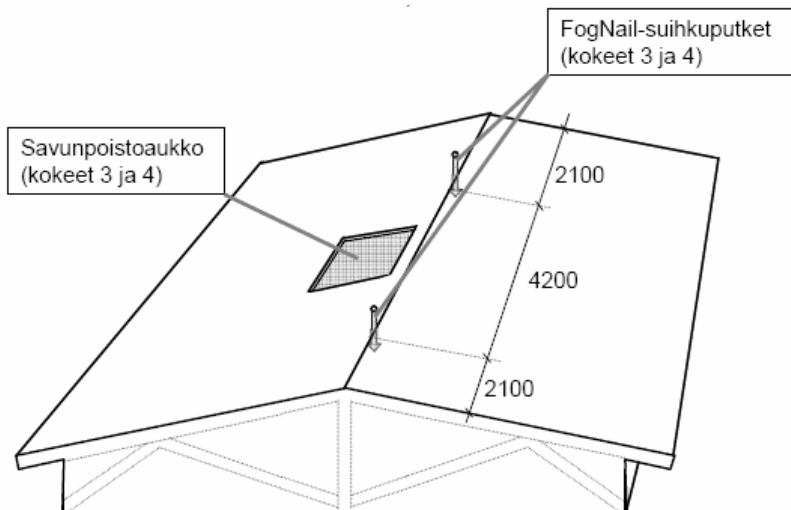


Kuvat 2a ja 2b. Vuoden 2005 kokeiden matalissa katto-onteloissa olleet jakoa osiin toteuttavat rakenteet palon jälkeen kuvattuina [1].



Kuva 3. Lämpökamerakuva matalan ontelorakenteen poltosta. Jakoa osiin toteuttavat rakenteet näkyvät selvinä lämpötilan jakajina kuvassa.

Vuonna 2006 koepoltettiin harjakatto-onteloita, joiden sisäkorkeus oli 1000 mm (kuva 4). Ontelo tehtiin naulalevyristikoin. Katemateriaalina oli lauta-alustalle kiinnitetty huopakate. Kuva 4 esittää rakennetta ja sen sammutus sekä savunpoistojärjestelyiden sijaintia. Kokeessa ei varsinaisesti testattu osastoivia rakenteita. Ontelorakenteen päädyt oli kuitenkin tehty kipsikartonkilevystä (GF 15) ja niiden toimivuutta havainnoitiin.

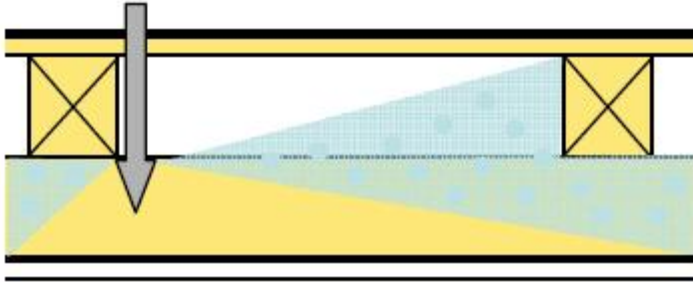


Kuva 4. Harjakatto-ontelon sammutuksessa käytettyjen pistosuihkuputkien ja savunpoistoaukon sijainnit [2].

Koejärjestelyt

Molemmissa koesarjoissa kattorakenne sytytettiin altaalla, jossa oli palavaa nestettä. Altaalla kuvattiin seinustallapalavan esineen tai liekahtaneen tilan ikkunan räystäälle aiheuttamaan rasisusta. Altaan nesteen annettiin palaa loppuun, minkä jälkeen palon kehittymiseen ei vaikutettu ennen sen sammutuksen aloitusta.

Matalien onteloiden osalla testattiin palon rajoittamista sekä raivauslinjoin että pistosuihkuputkin. Yhteensä kokeita tehtiin seitsemän, joista yhdessä ei ollut jakoa osiin toteuttavia rakenteita, eikä muitakaan paloa rajoittavia ratkaisuja. Yhdessä kokeessa rakenteessa oli metrin levyinen rajoituslinja 4 metrin etäisyydellä sytytyskohdasta ja kahdessa pistosuihkuputkin (2 ja 3 pistosuihkuputkea) toteutettu linja 2,5 metrin etäisyydellä sytytyskohdasta. Ontelon vähäinen korkeus ilmeisesti heikensi kokeissa pistosuihkuputkien toimintaa (kuva 5).



Kuva 5. Pistosuihkuputkien sumusuihkusta osa jäi ympäröivien ja onteloa rajoittavien rakenteiden pinnoille [1].

Harjakatto-onteloille tehtiin neljä polttokoetta, joista yksi oli ns. vapaa poltto, joka sammutettiin lopuksi perinteiden raivauksen ja sumusuihkun avulla. Kahdessa kokeesta käytettiin fognail® pistosuihkuputkia ja savutuuletusta. Suihkuputkien ja savunpoistoaukon sijainti on esitetty kuvassa 4. Toisen kokeen sammutus aloitettiin savutuuletuksella ja toisen sumulla sammuttaen (kuvat 6a ja 6b). Yhdessä kokeista palo sammutettiin savutuulettimen ja suihkuputken vesisumun avulla vyöryttämällä. Sammutusta ja tuuletusta varten sekä paineenpurkua varten oli tällöin tehty ontelon päätyihin aukot, jotka avattiin minuutti ennen sammutuksen alkua.

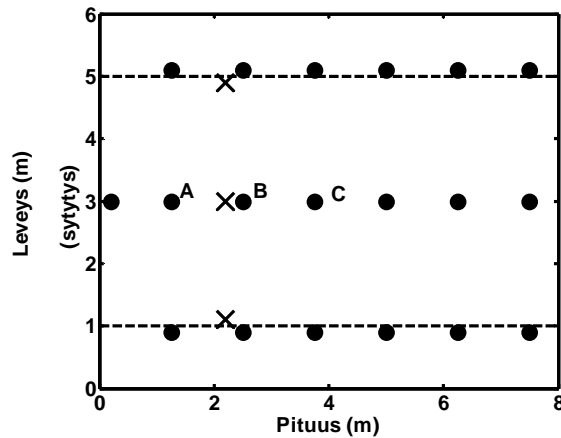


Kuvat 6a ja 6b. Vasemmalla savunpoistoluukku avattuna ennen pistosuihkuputkilla sammutusta ja oikealla pistosuihkuputkilla suoritetun sammutuksen jälkeen [2].

LÄMPÖTILAMITTAUKSET

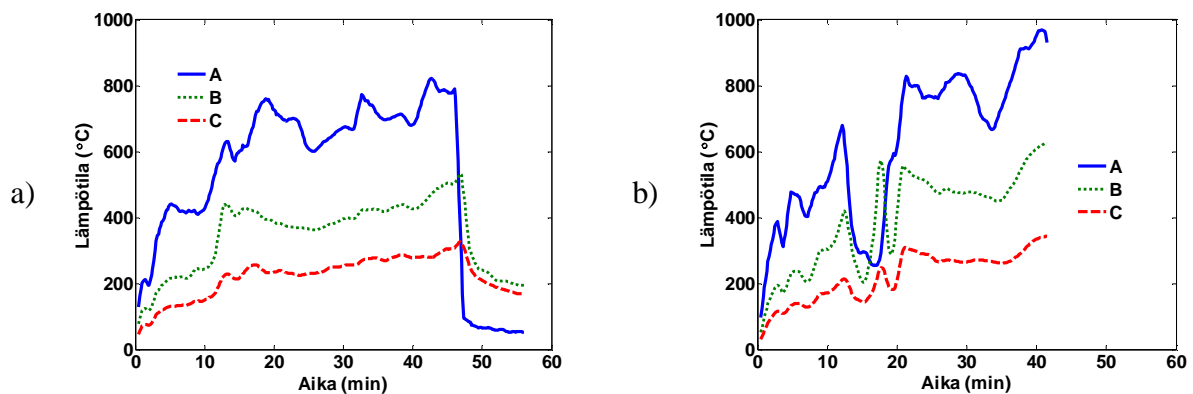
Matala ontelo

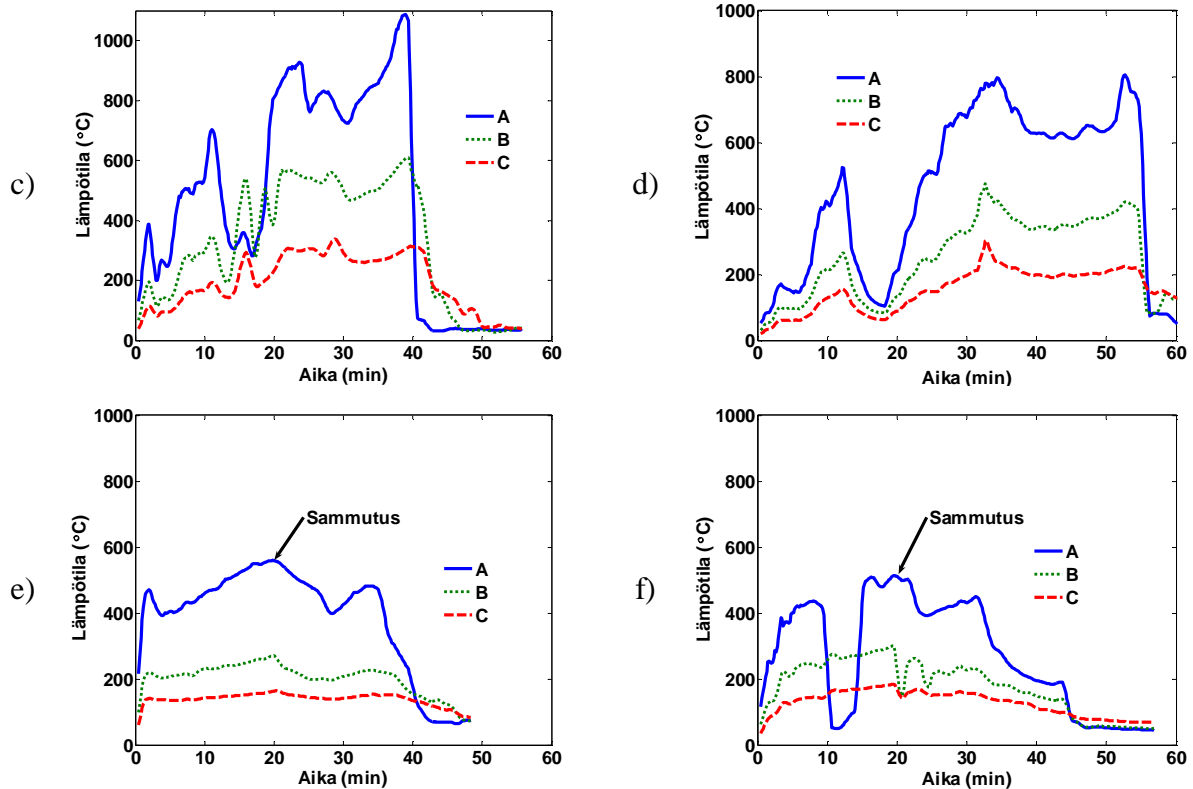
Lämpötilan mittaukseen käytettiin 0,5 mm:n vahvuista K-tyyppin termolankaa. Lämpötilanturin pää asennettiin katelaudoituksen alapinnasta noin 2 cm syvyydelle ontelotilaan. Kuvassa 7 esitetään lämpötilamittauspaikat.



Kuva 7. Kattorakenteen lämpötilan mittauskohdat (mustat pisteet) matalan ontelon polttokokeissa. Rakenne kuvattu ylhäältä päin. Kokeissa 1 ja 5 ei käytetty kuvan osoittamia palokatkoja (katkoviivat). FogNail-suutinten paikat merkattu x-symboleilla.

Kuvassa 8 esitetään lämpötilat ontelotilan keskikohdassa erityyppisissä polttokokeissa. Lämpötiloista huomataan, että palokatkojen tapauksissa lämpötilat ovat korkeammat kuin muissa kokeissa. Sammutuskokeita (kuvat 8e ja 8f) varten vaihdettiin suurempi poltin, jonka saattoi osaltaan myös hidastuttaa rakenteen syttymistä (pienensi ontelotilan happipitoisuutta). Sammutuskokeiden lämpötilakäyristä nähdään, että vesisuihkulla ei ole välitöntä ja kovin selvästi havaittavissa olevaa vaikutusta mittauspisteiden lämpötiloihin, vaan suurin osa vesisuihkusta pysähtyy matalan ontelotilan rakenteisiin.

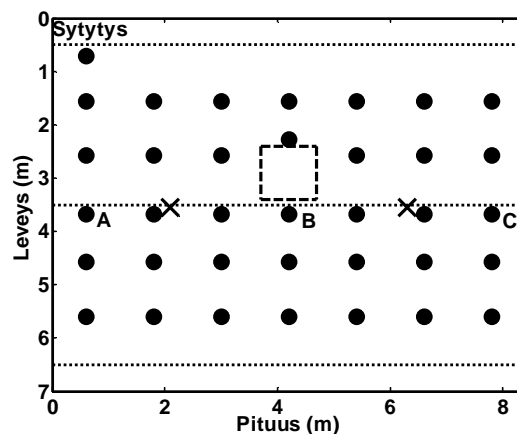




Kuva 8. Mitatut lämpötilat matalan ontelon polttokokeissa. Mittauskohdat esitetty kuvassa 7. Kuvassa a) vapaa poltto, b)-c) palokatkot, d) rajoituslinja (pituussuunnan kohdassa 4 m-5 m), e) sammutuskoe (2 FogNail-suutinta) ja f) sammutuskoe (3 FogNail-suutinta, keskimäinen suutin otettu mukaan).

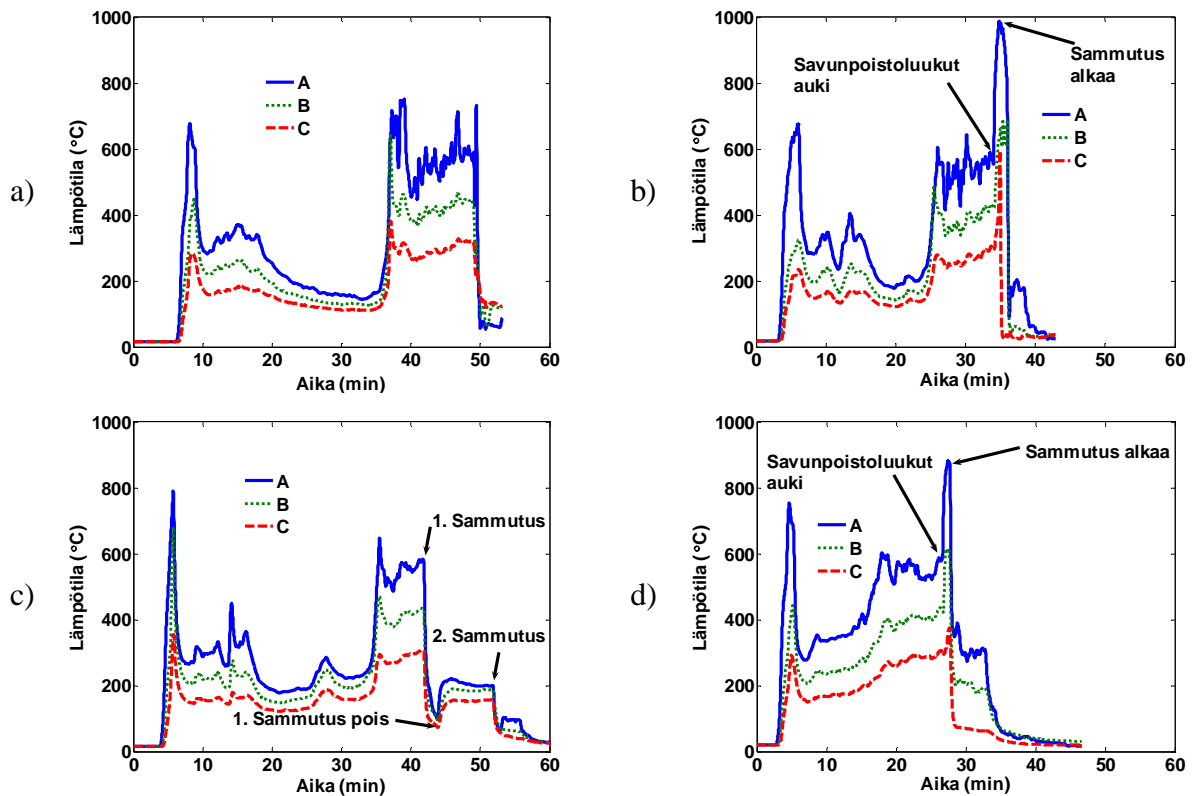
Suuri ontelo

Myös suuren ontelotilan lämpötilamittauksissa käytettiin 0,5 mm:n K-tyyppin termopareja. Kuvassa 9 esitetään suuren ontelotilan lämpötilojen mittauspaikat polttokokeissa 1-4.



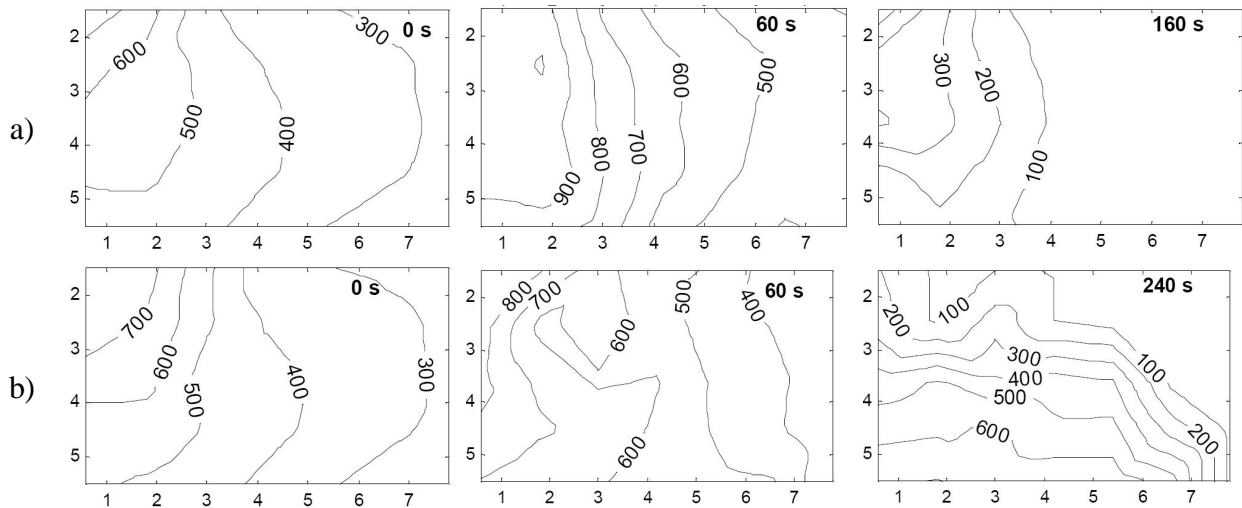
Kuva 9. Lämpötilojen mittauspaikat (mustat pisteet) suuren ontelon polttokokeissa 1-4. Kohdissa A, B ja C oli sijoitettu lämpötila-antureita myös ontelon sisään pystysuunnassa n. 30 cm välein. FogNail-suutinten paikat merkattu x-symbolein ja savunpoistoaukon paikka (neliö) katkoviivalla.

Kuvassa 10 esitetään läheltä harjaa, noin 25 cm katelaudoituksen alapuolelta, mitatut lämpötilat kolmesta pisteestä. Lämpötilakuvaajissa on tyypillistä alun suuren lämpötilapiikin ja sytytysaltaan sammumisen jälkeen tuleva (sytytysaltaita pidettiin päällä noin 10-15 minuuttia) noin 15-20 minuuttia kestävä hiipumisvaihe, jona aikana lämpötilat ovat 200 °C tuntumassa. Hiipumisvaiheen jälkeen lämpötilat nousevat taas hyvin jyrkästi. Ontelotilan sammuttaminen suoritettiin silloin, kun palamisvaihetta oli kestänyt noin 10 minuuttia. Kaikissa sammutuskokeissa sammutusvaikutus näkyi välittömästi myös lämpötilamittauspisteissä. Kokeessa 3 (kuva 10c) 1. sammutusvaihetta pidettiin päällä 2 minuuttia, jonka jälkeen rakenteen annettiin kyteä vapaasti 8 minuutin ajan, jotta nähtäisiin sammutuksen vaikutus. Kyttemisvaiheen aikana lämpötilat pysyivät noin 200 °C tuntumassa, joten ensimmäinen sammutusvaihe osoittautui varsin tehokkaaksi. Savunpoistoluukkujen avaaminen ennen sammuttamista voimisti paloa ja nosti lämpötiloja, mikä oli varsin luonnollinen tulos (kuvat 10b ja 10d).



Kuva 10. Suuremman ontelotilan polttokokeiden lämpötilat n. 30 cm harjakorkeuden alapuolelta mitattuna. Lämpötilamittauskohdat esitetty kuvassa 9. Kuvassa a) vapaa poltto, b) sammutuskoe tavallisella suihkuputkella (savunpoisto ja sammutus päätyjen kautta), c)-d) sammutuskokeet, joissa kuvassa c) sammutus on suoritettu ennen savunpoistoluukun avaamista ja kuvassa d) sammutuksen rytmitys päinvastainen.

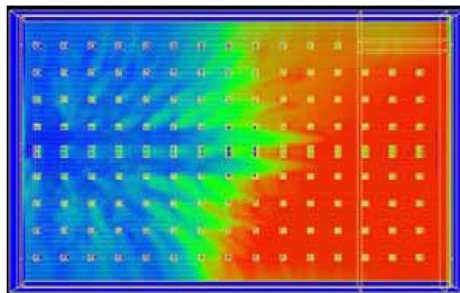
Kuvassa 11 esitetään lämpötilavyöhykkeet tavallisella suihkuputkella ja pakotetulla ilmavirtauksella (kuva 11a) sekä kahdella FogNail-suihkuputkella (kuva 11b) suoritetuissa suuren ontelon sammutuskokeissa. Kokeessa, jossa käytettiin FogNail-suihkuputkia, tuli levisi sytytyskohtaan nähden vastakkaiselle räystäälle. Tähän osaltaan vaikutettiin myös koejärjestelyllä, jossa savunpoistoluukku avattiin ennen varsinaista sammuttamista.



Kuva 11. Suuren ontelon sammutuskokeiden lämpötilavyöhykkeet ontelotilassa. Sytytys tapahtunut kuvan vasemmasta ylänurkasta. Kuvassa a) pakotettu ilmavirtaus ja sammutus tavallisella suihkuputkella oikean päädyn kautta (kaasut ja vesihöyry vasemmasta päädyistä ulos) sekä b) sammutus katteen läpi kahdella FogNail-suihkuputkella (savunpoistoaukko katossa). Hetkellä 0 s savunpoistoluukut avattu ja hetkellä 60 s sammutus aloitettu [2].

ONTELOPALOKOKEIDEN SIMULOINTI

Kokeista saatua lämpötiladataa pyritään käyttämään hyväksi myös tulipalon mallintamisen puolella mm. mallinnuksen kehitystyössä ja mallien kelpoisuuden osoittamisessa. Simulointien avulla voidaan tarkastella esim. jonkin sammutustekniikan soveltuvuutta jo ennen varsinaisia kokeita. Esimerkiksi kuvan 12 kaltainen ontelotilan sammuttaminen rakenteen päädyn kautta osoittautui toimivaksi sammutustavaksi myös käytännössä.

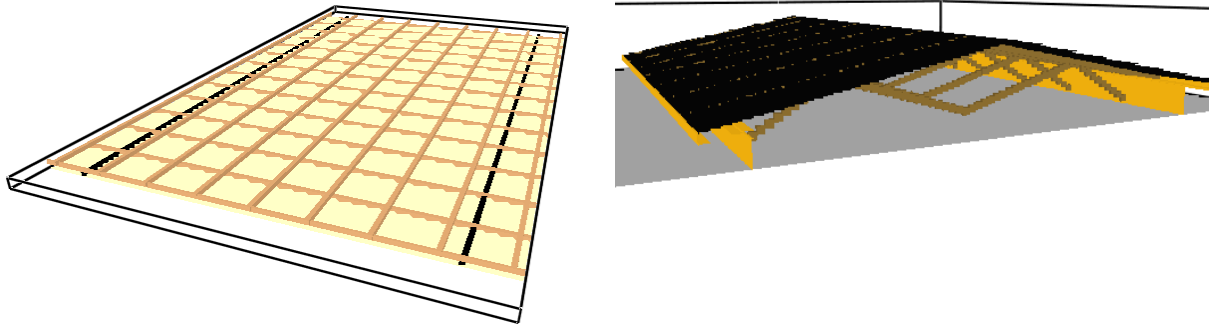


Kuva 12. Esimerkki ontelotilan sammuttamisesta pakotetun tuuletuksen ja vesisuihkutuksen avulla [3].

Osa vuosina 2005 ja 2006 pidettyistä ontelopalokokeista toistettiin myös FDS-tulipalon simulointiohjelmalla. Kuvassa 13 esitetään kattorakenteista luodut FDS-mallit.

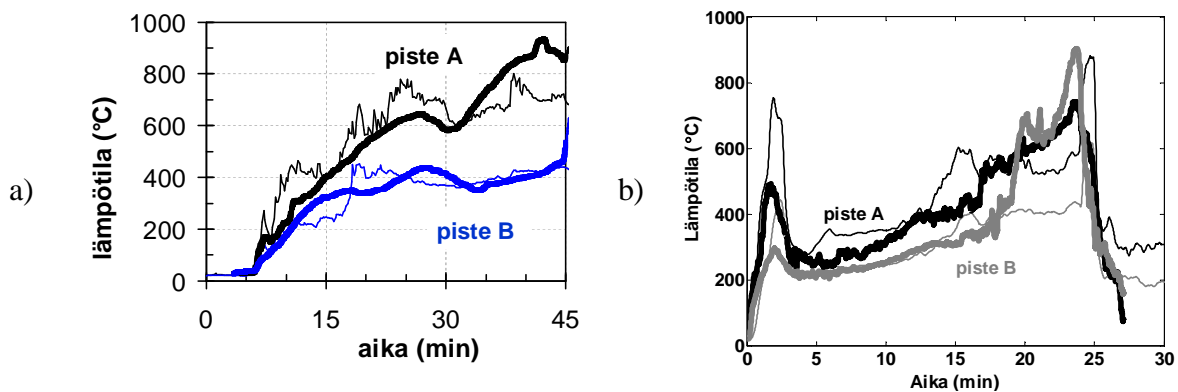
a)

b)



Kuva 13. Kuvassa a) matalan ontelotilan ja b) suuren ontelotilan FDS-mallit.

Kuvan 14 simulointituloksista huomataan, että ne ovat varsin hyvin linjassa kokeissa mitattuihin lämpötiloihin nähden. Sammuttamisen mallintamisessa (kuva 14b) on käytetty samoja FogNail-suutintietoja kuin viitteen [3] tutkimuksessa ja puumateriaalin palamista kuvaavina fysikaalisina parametreina tutkimuksen [4] mukaisia arvoja. Ontelopalokokeista suurin saatava hyöty mallintamiseen tulee palojen sammuttamisen ja happirajoitteisen palon kuvaamisen puolelta.



Kuva 14. FDS-simulointien (paksut viivat) lämpötilojen vertaaminen kokeista saatuihin lämpötiloihin (ohuet viivat.) Kuvassa a) matala ontelo (vapaa poltto) ja kuvassa b) suuri ontelo (sammutuskoe FogNail-suuttimilla). Mittauspisteet esitetty aiemmin kuvissa 7 ja 10d.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tähänastiset ontelopalojen simuloinnit osoittavat sen, että mallinnuksella päästään hyvinkin samanlaisiin tuloksiin kuin varsinaisissa polttokokeissa. Kokeista mitattuja lämpötilatietoja pyritään jatkossa hyödyntämään mm. sammuttamisen mallintamisen kehitystyössä.

Pistosuihkuputkilla toteutettavissa rajoituslinjoissa osa vesisumusta osuu ympäröiviin rakenteisiin ja jää näiden pinnalle. Jäähdytyksessä tehokkaan sumun määrä tällöin vähenee ja luonnollisesti myös jäähdytysteho. Ilmiö esiintyy matalissa onteloissa ja se on syytä huomioida näiden sammutuksessa.

Ehjä harjakatto-ontelo pystytään sammuttamaan usealla tehokkaalla sammutusmenetelmällä. Lämpötilojen nousun ja palon leviämisen vaaran kannalta turvallisin vaihtoehto näyttäisi olevan

ontelon liekkipalon sammutus vesisumulla ennen savutuuletuksen ja sammutusraivauksen aloitusta.

Lämpökamera havaittiin hyödylliseksi apuvälineeksi palon sekä rajoituslinjojen paikallistamisessa sekä sammutusvaikutusten arvioinnissa.

LÄHDELUETTELO

1. VTT Tutkimusselostus Nro RTE3021/05, 2005.
2. VTT Tutkimusselostus Nro VTT-S-09583-06, 2006.
3. Hietaniemi, J., Vaari, J., Hakkarainen, T., Huhta, J., Jumppanen, U., Korhonen, T., Kouhia, I., Siiskonen, J. & Weckman, H. Ontelotilojen paloturvallisuus. Ontelopalojen ominaispiirteet sekä palojen etenemisen rakenteellinen katkaiseminen ja sammuttaminen. 2004. Espoo, VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka. 74 s. + liitt. 24 s. VTT Tiedotteita - Research Notes; 2249. Saatavilla osoitteesta: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2249.pdf>.
4. Hietaniemi, J., Hostikka, S. & Vaari, J. FDS simulation of fire spread - comparison of model results with experimental data. 2004. Espoo, VTT. 45 s. + liitt. 6 s. VTT Working Papers; 4. Saatavilla osoitteesta: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2004/W4.pdf>.