

# ONTELOPALOJEN LEVIÄMISEN RAKENTEELLINEN ESTÄMINEN

Jukka Hietaniemi  
VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Paloturvallisuus  
PL 1803, 02044 VTT

## Tiivistelmä

Rakennusten ontelotilat voivat muodostaa vakavan uhan paloturvallisuudelle, jollei niiden suunnittelussa, rakentamisessa ja rakennuksen käytön aikaisessa ylläpidossa oteta riittävästi huomioon näihin tiloihin liittyviä palon syttymisen sekä palon ja savun leviämisen vaaroja. Ontelotilojen paloturvallisuuskysymykset muodostavat laajan ongelmakentän, joka koskettaa rakennuksen suunnittelua, rakentamista ja kunnossapitoa. Ongelmakenttää koskevia ohjeita ja suosituksia kuitenkin vain hyvin rajallisesti ja lisäksi saatavilla oleva ohjeistus on usein varsin yleisluontoista. Myös määräyspuolella ontelotilojen käsittely on monia muita kohteita yleisluontoisempaa.

Tässä artikkelissa esitellään tuloksia VTT:llä vuonna 2002 tehdystä ontelotilojen rakenteellista paloturvallisuutta tutkineesta hankkeesta. Aihepiirit ovat: yläpohjan ontelon tulipalot ja räystään vaikutus niihin, palon leviäminen julkisivun tuuletusraoissa, kaksoislasijulkisivurakenteeseen mahdollisesti liittyvät palovaarat ja teollisuushallien tuuletettujen kattojen ontelopalot. Tulokset käsittävät lähinnä käytännön rakenneratkaisuja, joissa paloteknistä toimintaa tarkastellaan yhdessä kosteusteknisen toimivuuden kanssa, koska onteloiden paloturvallisen rakentamisen perusongelma on juuri palo- ja kosteusteknisten vaatimusten yhtäaikainen toteuttaminen.

## JOHDANTO

On useita syitä, miksi rakennusten ontelotilat ovat palovaarallisia. Osa niistä on ontelotilojen yleisiin ominaisuuksiin liittyviä ja osa syistä on spesifisiä, ontelokohdekohtaisia [1, 2, 3]. Eräs tärkeimpiä ontelopaloiden ominaispiirteitä on se, että ne pääsevät usein kehittymään kenenkään havaitsematta, jolloin pienikin kytevä palonalku voi päästä kehittymään suureksi tulipaloksi. Tyypillisiä esimerkkejä tällaisista ontelopaloista ovat tulitöiden aiheuttamat palot seinä- ja kattorakenteiden onteloissa. Kytevät palot saattavat kyteä useita tunteja, ennen kuin ne syystä tai toisesta pääsevät leimahtamaan liekkiin [1]. Liekehtiväksi kehittynyt palo voi edetä nopeasti, jos ontelossa on sopivat olosuhteet. Perussyynä tähän on tilan pienuus, jonka vuoksi tila lämpenee nopeasti kuumaksi. Pieneen tilaan syntyy lämpötekniisesti kriittinen tilanne, jossa tilaan syötetään nopeammin lämpöenergiaa kuin mitä sieltä pääsee poistumaan. Huonepaloissa tämä johtaa yleissyttymiseen, eli tilan lieskahdukseen, ja onteloissa kriittiseen tilaan edennyt palo voi edetä odottamattoman nopeasti, jopa useita metrejä minuutissa [2]. Ontelokohdekohtaisista vaaroista on korostunein yläpohjan onteloiden syttyminen niiden alapuolella palavien tulipalojen seurauksena: tyypillinen esimerkki tällaisesta palosta on alapuoleisen huonepalon leviäminen yläpohjan onteloon räystään kautta.

Ontelopaloiden sammutus on usein työlästä: monesti jo niiden paikallistaminen voi olla hankalaa ja sammutusaineen saaminen paloon vaatii lähes poikkeuksetta rakenteiden

rikkomista. Tässä suhteessa erityisesti kattorakenteiden ontelopalot ovat usein ongelmallisia, koska katteiden rikkominen voi olla hyvin hankalaa ja aikaa vievää.

Ontelopalojen leviäminen voidaan katkaista erilaisten liekkien, lämmön ja savun etenemistä rajoittavien asennusten avulla [3]. Onteloiden katkaisemisessa on kuitenkin otettava huomioon se, ettei niiden rakennustekninen toiminta vaarannu. Tämä koskee etenkin kosteustekniikkaa. Ongelma syntyykin usein juuri siitä, että kosteusvauroiden estämiseksi rakennuksen onteloihin on yleensä järjestettävä riittävän hyvä ilman saanti ja mahdollisuus ilman kiertoon, mikä tulipalon sattuessa mahdollistaa palon leviämisen. Siksi hyvä palon katkomisratkaisu onkin useimmiten kompromissi, joka toteuttaa riittävän hyvin sekä palotettä kosteustekniikan vaatimukset. Ontelopalojen etenemiseen voidaan vaikuttaa myös vähentämällä ontelossa olevan palokuorman palavuutta esim. palosuojaamalla [4].

Tässä esityksessä käsitellään VTT:ssä tehdyssä ontelopalotutkimuksessa saatuja tuloksia keskittyen vuonna 2002 tehdyn ontelopalojen leviämisen katkaisemista tutkineen hankkeen tuloksiin [3].

Tulipalojen määrän suhteen vakavin ontelotilojen ongelma-alue on yläpohjan onteloiden tulipalot [1]. Tähän ongelmakenttään liittyy oleellisesti räystäiden toiminta: ensiksikin palot leviävät onteloon usein juuri räystäään kautta ja lisäksi ontelossa riehuva palo voi levitä osastoivan rakenteen ohi räystäään kautta kiertämällä. Tässä esityksessä tarkastellaan lähinnä rivitalojen yläpohjan ontelopalojen rakenteellista hallintaa: ensimmäisenä aiheena esitellään uusi räystäään kautta leviävää paloa hidastava/estävä räystäsrakenne ja toisena aiheena tarkastellaan yläpohjan osastoinnin ongelmia.

Räystäään kautta leviäviin paloihin ja yläpohjan ontelopaloihin liittyy myös julkisivujen ontelot, jotka voivat levittää paloa ylöspäin. Tässä keskitytään erityyppisten julkisivujen tuuletusrakojen katkaisemiseen tarkoitettujen rakenneratkaisujen toimintaan.

Kaksoislasijulkisivuissa sisemmän ja ulomman lasikuoren väliin syntyy ontelo. Tässä tilassa ei ole palavaa materiaalia, joten ongelmana ei ole palon leviäminen ontelossa, vaan se, että ontelo edesauttaa palon leviämistä palotilasta muihin tiloihin. Tärkein uhattu tila on palotilan yläpuolella oleva huone, mutta vaakasuuntaisin katkoin jaetussa julkisivussa palo voi levitä myös vaakasuuntaisesti. Uhan ydin on se, että rajoitetussa tilassa kaasut lämpenevät sitä voimakkaammin, mitä kapeampi tila on.

Teollisuusrakennusten kattopalot voivat aiheuttaa suuria omaisuusvahinkoja. Tässä työssä tarkastellaan teollisuushallien tuuletetuissa kattorakenteissa etenevien palojen katkaisemista taloudellisesta näkökulmasta katsottuna.

Eräs paloturvallisuuden kannalta tärkeä ontelotyyppi on alaslaskettujen kattojen muodostamat ontelotilat. Kun näihin tiloihin asennetaan kaapeleita, voi tuloksena olla potentiaalisesti hyvin vaarallinen asetelma. Vastaavanlainen tilanne vallitsee nostetuissa lattioissa, joita käytetään kaapeli-asennuksiin. Monissa kohteissa nämä ongelmat on kuitenkin hoidettu aktiivisin keinoin: sprinklerisäännöt edellyttävät monien piilotilojen suojausta, mutta ei kaikkia: on paljon sprinklaamattomia rakennuksia, joiden alakattojen onteloissa kulkee kaapeleita. Tekstin pituusrajotusten vuoksi tässä esityksessä ei kuitenkaan käsitellä näiden ontelotiloja; näiden osalta tyydyimme viittaamaan VTT:n hankkeen loppuraporttiin [2].

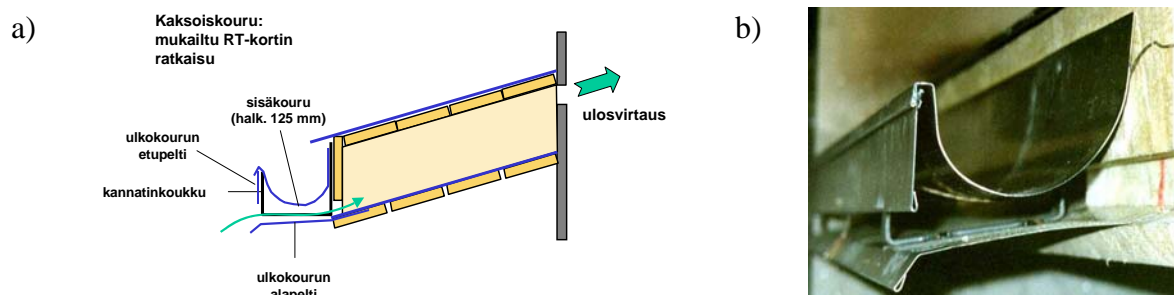
# YLÄPOHJAN ONTELOILOJEN PALOTURVALLISUUDEN RAKENTEELLINEN PARANTAMINEN

## Palon leviämistä hidastava räystääs

Räystäällä on hyvin merkittävä rooli yläpohjan ontelopalojen kehittämisessä. Varsin yleinen yläpohjan ontelopalon kehittymisen tapahtumasarja on sellainen, jossa tulipalo alkaa rivitalon jossakin huoneessa, kehittyy lieskahtaneeksi paloksi, rikkoo ikkunan ja leviää räystäään kautta yläpohjan onteloon, jossa palo etenee edelleen. Toinen merkittävä syy räystäään kautta yläpohjan onteloon eteneviin paloihin on seinän ulkoisen syttymisen aiheuttaman palon leviäminen räystäään yläpohjaan.

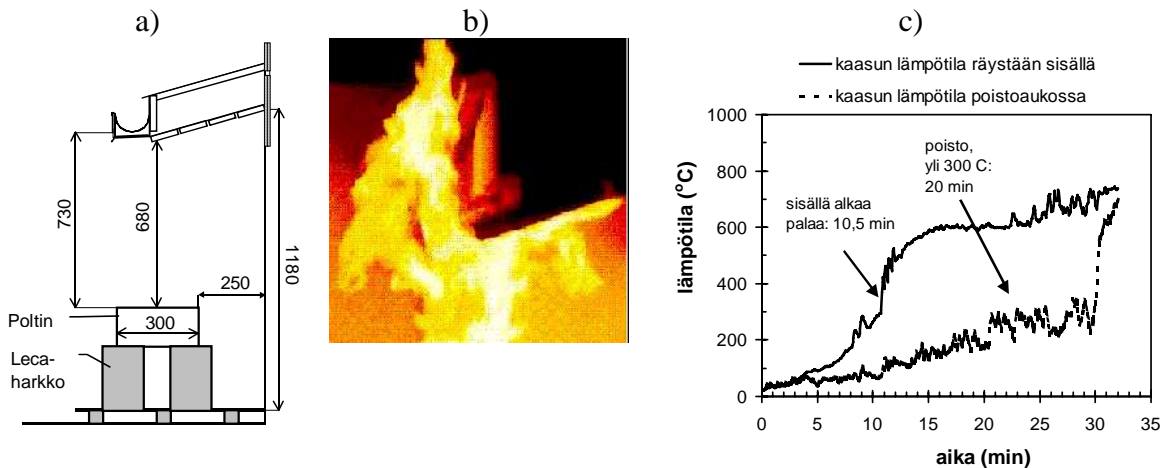
Räystäiden kautta leviävät palot liittyvät myös siihen oleelliseen vaatimukseen, että ”palon leviämistä lähistöllä oleviin rakennuksiin tulee rajoittaa” (RakMK E1 1.2.1). Etenkin pääkaupunkiseudulla suuntaus on kohti yhä tiiviimpää pientalorakentamista, jossa rakennusten välinen etäisyys voi alittaa 8 m. Tällöin rakennusten välisen palonleviämisen rajoittaminen tulee huolehtia ”rakenteellisin tai muin keinoin” (RakMK E1 9.1.2). Rakenteellisia keinoja ovat mm. vesikaterakenteen syttyvyyden rajoittaminen ja määräykset koskien ulkoseinän tiiviyyttä ja eristävyttä (P3-taloissa vaaditaan, että ulkoseinä toimii EI-M 60 -luokan vaatimukset täyttävänä palomuurina; normaalistihan ulkoseinältä ei vaadita osastoivuutta). Seinän ulkopinta voi olla D-luokan materiaalia, joka mahdollisesti voi syttyä lähellä olevan rakennuksen tulipalosta tulevan lämpösäteilyn vaikutuksesta. Jos palon leviämistä räystäään kautta ei ole estetty mitenkään, viereisen rakennuksen seinällä syttynyt palo voi edetä sen yläpohjaan.

Ontelopalojen katkaisemista tutkineessa hankkeessa kehitettiin räystääsratkaisu, jolla voidaan hidastaa lieskahtaneen huonepalon leviämistä räystäälle ja jopa estää seinällä ulkoisesta syystä leviävän palon eteneminen yläpohjan onteloon. Tehtyjen kokeiden mukaan räystääs hidastaa lieskahtaneen palon etenemistä noin 10–15 minuuttia, mikä palokuntien toimintavalmius-aikojen valossa (90 % fraktiili noin 10 minuuttia [2]) on usein riittävän pitkä aika, jotta palokunta voi ehtiä estämään palon leviämisen yläpohjaan.



Kuva 1. a) Paloa hidastavan räystäään kaaviokuva (asennustapa kokeissa) ja b) valokuva.

Palon leviämistä hidastava räystääs esitetään kuvassa 1. Se perustuu RT-kortissa RT 85–10596 esitettyyn kaksoiskoururakenteeseen. Erona RT-kortin ratkaisuun on lähinnä se, että palon leviämistä hidastavassa räystäässä räystäään pelti ulottuu harvalautojen alla talon seinään asti sulkien näin liekkien ja kuumien kaasujen suoran etenemistien yläpohjaan. Yläpohjan tuuletusilma otetaan otsalaudan alapuolelta.



Kuva 2. a) Paloa hidastavan räystäään toiminnan koejärjestely ja b) esimerkki palorasituksesta (räystääseen kohdistunut lämpötila oli 600–800 °C). c) Kokeen aikana mitattuja lämpötiloja.

Harvalaudoituksen sulkeva rakenneosaa on välttämätön edellytys sille, että räystäs voi hidastaa palon leviämistä, mutta se ei välttämättä ole riittävä toimenpide: on pidettävä huolta myös siitä, että räystäs ei ala toimimaan hormina, joka imee kuumat kaasut ja liekit sisälleen. Kuvassa 1 esitetyssä rakenteessa hormi-ilmiö estetään alipaineella, joka syntyy liekkien virratessa koururakenteen ohi. Kuvassa 2 esitetään räystäsrakenteen toiminnan koejärjestely ja mittaustulokset. Nähdään, että palaminen alkaa räystäään sisällä runsaan 10 minuutin kuluttua palorasituksen alkamisesta, kun tavallinen räystäs syttyisi vastaavissa olosuhteissa noin puolessa minuutissa. Kun räystäs on syttynyt sisältä, edellä mainittu koururakenteen synnyttämä alipaine hidastaa palamisen ja kuumien kaasujen etenemistä siten, että kokeessa puun syttymiseen tarvittava noin 300 °C:een lämpötila saavutettiin räystäään poistoaukossa noin 20 minuutin kuluttua siitä, kun palorasitus alkoi. Todellisissa räystäissä ei mitään poistoaukkoja ole, vaan räystäs aukeaa yläpohjan onteloon. Räystäs toimisi tässä tapauksessa siten, että palo etenisi räystäältä yläpohjaan onteloon *liekkirintamana* puurakenteissa ja aluskatteella, mutta ei kuumien kaasujen ja liekkien virtauksen kautta.

## Osastointi

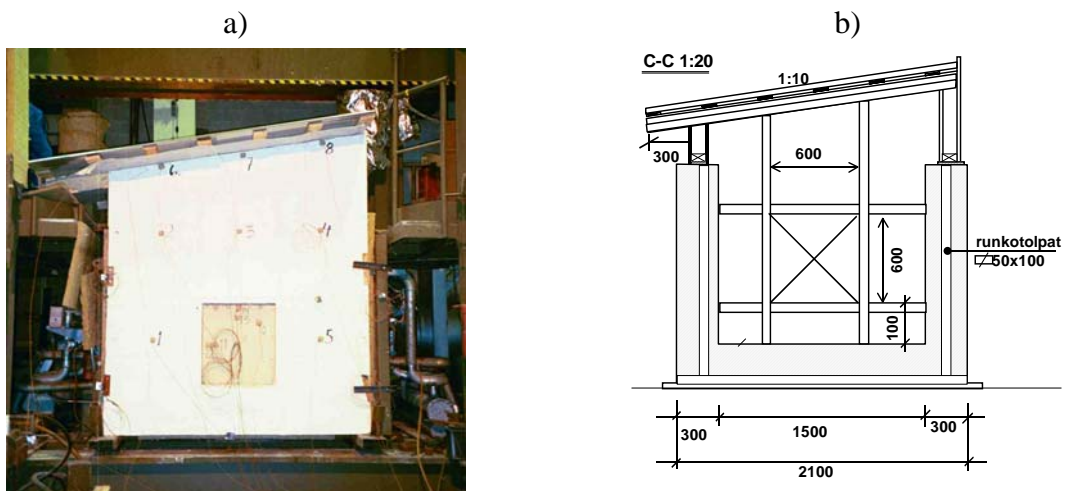
Osastoimattomassa yläpohjan ontelossa palon kehittyminen ja leviäminen on nopeaa [1, 2]. Nykyään rivitalojen yläpohjan ontelot osastoidaan huoneistoittain luokkavaatimuksen EI30 toteuttavilla seinärakenteilla. Silti uusissakin kohteissa palo voi levitä koko yläpohjan onteloon. Yläpohjan ontelon osastoinnin heikko kohta ei kuitenkaan yleensä ole osastoiva seinä itsessään [5], vaan palon leviämisen kannalta kriittisiä tekijöitä ovat (ks. Kuva 3):

- osastoivan seinän liittyminen vesikattoon,
- luukut
- räystäälle avoin seinän osa ja räystäään ontelo.

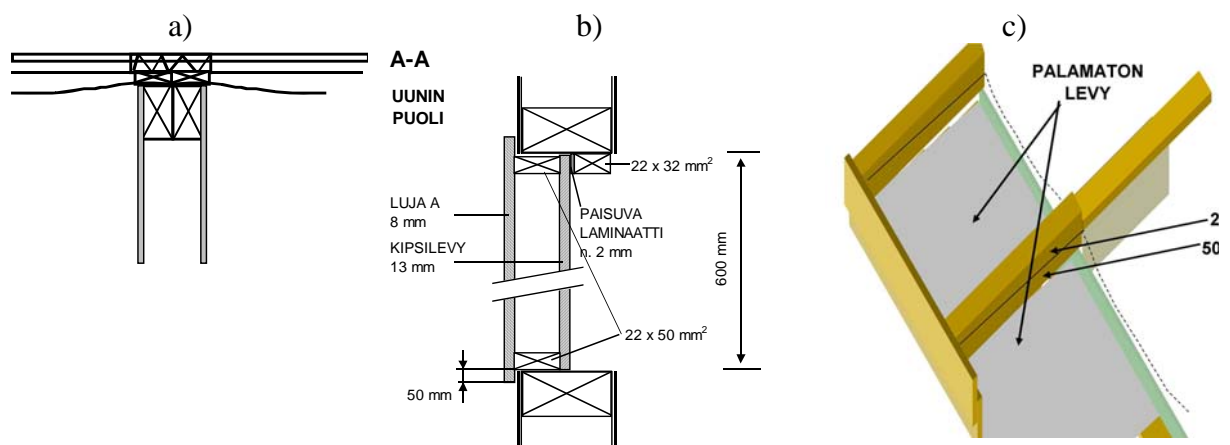
Tutkimuksessa tarkasteltiin myös aluskatteen toimintaa ja mahdollista vaikuttamista palon leviämiseen.



Kuva 3. a) Yläpohjan ontelon osastoinnin kriittiset kohdat ja b) palon leviämisreitit.



Kuva 4. Yläpohjan osastoinnin koejärjestely: a) valokuva ja b) piirros.

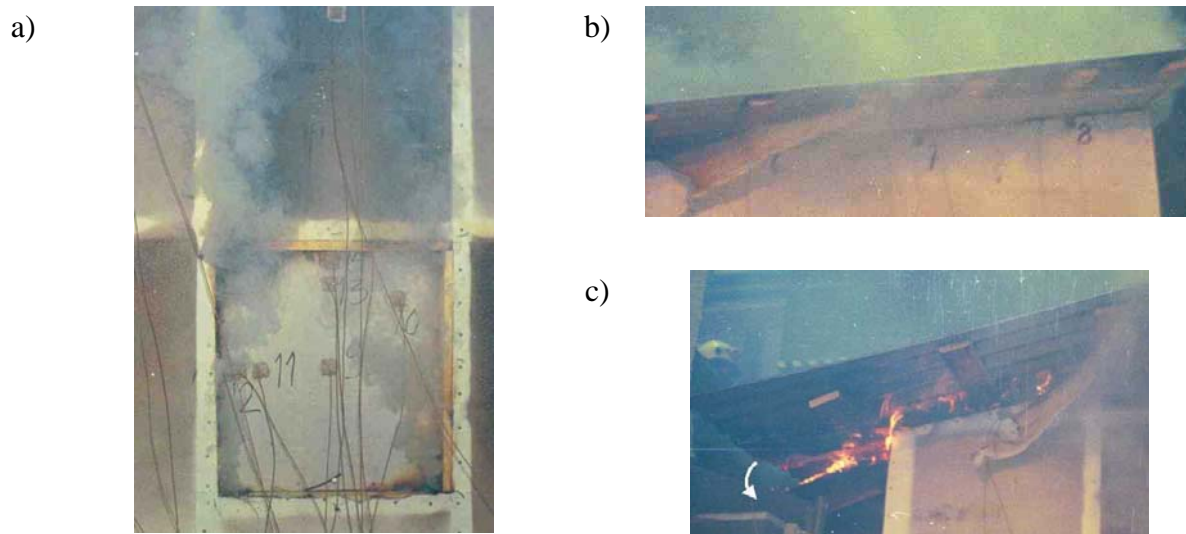


Kuva 5. a) Osastoivan seinän ja vesikaton liittymä. b) Luukun rakenteen pystyleikkauskuva. c) Räystään ontelon katkaisurakenne.

Ontelopalojen katkaisemista tutkineessa hankkeessa selvitettiin kokeellisesti, miten nämä osastoinnin kriittiset kohdat toimivat kokonaisuutena standardipalorasituksessa. Koejärjestely toteutettiin rakentamalla VTT:n dimensioltaan suuruusluokkaa  $1,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$  olevan

rakenteiden testausuunin yhteyteen yläpohjan onteloa kuvaava rakenne kuvan 4 esittämällä tavalla. Kuva 5 esittää kokeessa tutkitut osastoivan seinän vesikattoliittymän, luukun ja räystään kautta kiertävän palon estämiseksi tehdyn rakenteen ratkaisut. Kokeen kesto oli 30 minuuttia.

Kokeessa käytetty osastoiva seinä oli muuten tavanomaisen rivitalon osastointivaatimuksen EI30 täyttävän seinärakenteen kaltainen, paitsi että rakennuslevyjen sijasta käytettiin paloon reagoivalla aineella käsiteltyä kangasta (käsitely vain toisella puolella). Kankaasta tehty osastoiva seinä läpäisi sen tiiviyn määrittämiseksi tehdyt pumpulitukkokeet kokeen keston ajan, 30 minuuttia, eikä seinään syntynyt kokeen aikana rakoja. Eristävyytensä kankaalla toteutettu osastoiva seinä menetti kuitenkin kokeen alkuvaiheessa.



Kuva 6. a) Luukun ja b) osastoivan seinän vesikateliittymän toiminta. c) Liekkien leviäminen räystään katkorakenteen pettäessä kokeen jatkuttua noin 16 minuuttia.

Eri rakenteiden toiminta kokeen aikana oli seuraava:

- Saranoitu luukku ei sulje aukkoa hermeettisesti, vaan luukun ja sen sulkeman aukon reunojen väliin jää pakostikin pieniä välyksiä, joista palon aikana vuotaa kaasuja (Kuva 6a). Nämä kaasut ovat kuitenkin niin kylmiä, että luukku läpäisi tiiviyskriteerit (samoin kuin eristävyyskriteerit) koko kokeen ajan. Vuotava kaasuseos eivät syty itsestään ilman ulkopuolista sytytyslähdeä, mutta se kuitenkin sisältävät palamiskykyisiä kaasuja, jotka voivat syttyä sytytyslähde, esim. kipinä tai pistoliekki vaikutuksesta. Kaasujen vuotoa voidaan vähentää vastakappaleen avulla, jota vasten luukku pääsee painumaan (vrt. Kuva 6a: vasen puoli, jossa ei ole vastakappaletta, vuotaa enemmän kuin oikea puoli, jossa on vastakappaleena puurima). Luukun yläreunassa oli puisen vastakappaleen lisäksi paisuva laminaatti: kokeen aikana kaasujen vuotaminen näytti olevan vähäisintä tällä luukun reunan osalla.
- Myös villalla tukittu osastoivan seinän ja vesikatteen liittymä vuoti kaasuja koko kokeen ajan (Kuva 6b). Samoin kuin luukusta vuotaneet kaasut, myös nämä kaasut olivat niin kylmiä, että liittymä läpäisi pumpulitukoilla tehdyt tiivistykset.
- Aluskatteen osallistuminen paloon oli vähäistä, eikä aluskatteen toiminta aiheuttanut ongelmia osastoinnin toimivuudelle. On kuitenkin huomattava, että kyseinen aluskatemateriaali vastaa syttyvyydeltään luokan E tuotetta, mutta markkinoilla voi olla

tätä helpomminkin syttyviä ja palavia tuotteita (luokka F), joille em. johtopäätös ei välttämättä päde.

- Osastoinnin pitävyyden kannalta pahimmaksi ongelmaksi osoittautui räystäään sulkeminen (Kuva 6c). Kokeessa tuli selvästi ilmi, että palorasitus räystäällä ei ole itse palotilan olosuhteita vähäisempää, vaan voi olla jopa ankarampi, koska palaminen räystäällä voi olla voimakasta palotilasta kulkeutuvien palamattomien kaasujen kohdatessa happirikkaan ulkoilman. Kokeessa käytetty rakenne ei toiminut riittävän pitkään lähinnä siksi, että se oli kiinnitetty liian heikosti. Lisäksi harvalaudoituksen sulkeva levytys petti. Käyttäen riittävän lujaa kiinnitystä ja kaksinkertaista levytystä rakenne kestäisi selvästi paremmin. Jos osastoiva seinä on kattoristikon kohdalla, ristikon paarre tarjoaa luonnollisen sulun räystäään ontelolle. Tällaisessa tapauksessa edellä mainitut kiinnitysongelmat eivät tuota ongelmia. Tässä tapauksessa paloteknisesti kelpoinen ja asennuksen kannalta luonteva ratkaisu on ulottaa harvalautojen sulkeminen koko kattoristikoiden väliselle matkalla osastoivan seinän molemmin puolin.

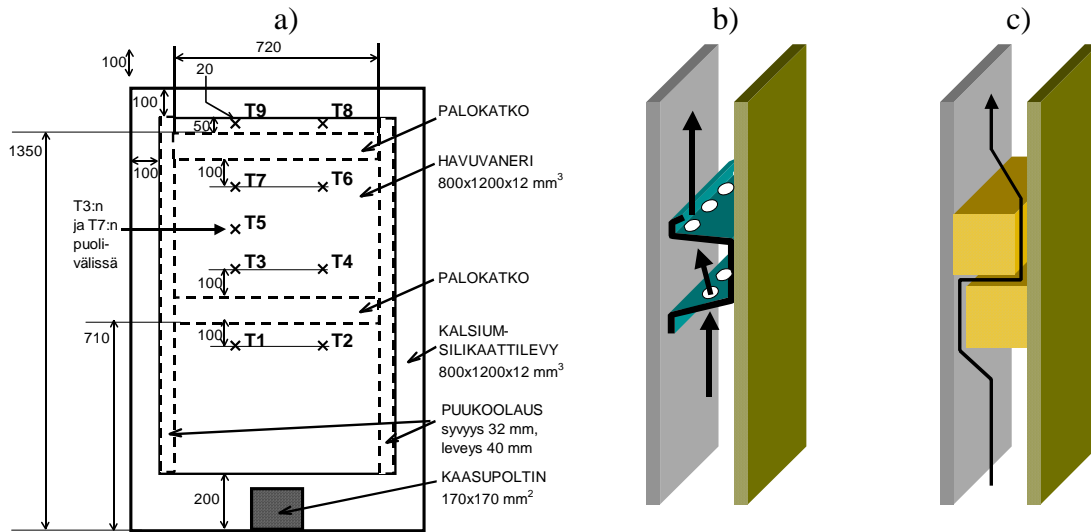
## **JULKISIVUN TUULETUSRAON KATKAISEMINEN**

Julkisivun tuuletusraossa etenevän palon pääasiallinen uhka liittyy siihen, että palo voi levitä julkisivulta muihin tiloihin, kuten huoneistoihin tai ullakolle/yläpohjan onteloon. Näistä kahdesta tapahtumasta jälkimmäisen todennäköisyys on korkeampi, ellei sitä räystääsratkaisuin ole estetty. Huoneistoihin palo voi edetä esim. ikkunoiden raoista tai jos ikkuna on auki.

Tässä esityksessä keskitytään julkisivuihin, joissa julkisivun ja tuuletusraon ulkopinta on tehty D-luokan rakennustarvikkeista. Uhkakuvana on ulkoinen syttyminen. Tärkein tekninen ongelma julkisivun tuuletusraon palon etenemisen rakenteellisessa katkaisemisessa on se, että katkaistun rakenteen pitää säilyttää kosteustekninen toimivuutensa. Toimivan tuuletusraon palokatkoratkaisun aikaansaamiseksi on löydettävä toimiva kompromissi palo- ja kosteusteknisten vaatimusten väliltä .

Kokeellisesti tutkittiin kahta palokatkoratkaisua: rei'itetty teräsprofiili (Kuva 7b) ja kahdesta vaakasuorasta puurimasta palokatko (Kuva 7c). Teräsprofiilikatkossa reikien halkaisija oli 18 mm ja niiden välimatka oli 140 mm. Palokatkon yhdellä puolella oli 6 reikää, joiden yhteispinta-ala oli 15 cm<sup>2</sup>, mikä vastaa 5 % katkaistun raon poikkipinta-alasta. Virtausteknisten tarkastelujen mukaan tämä riittää kosteustekniikan kannalta, kunhan sadevesiä ei pääse merkittävästi tuuletusrakoon. Esimerkiksi pontattu puuseinä on tähän nähden riittävän tiivis rakenne. Puurimoista tehdyn palokatkon kuristettu väli oli 7 mm leveä, mikä vastaa noin 20 % katkaistun raon poikkipinta-alasta. Käytännön toteutuksessa puurimakatkon rakoa ei voi tehdä juurikaan kapeammaksi, koska tällöin ei jäisi paljonkaan toleranssia rakenteen mittatarkkuuden, kosteuselämisen, roskaantumisen/pölyntyntymisen, yms. seikkojen suhteen.

Kokeista saadut tulokset voidaan tiivistää seuraavasti: reiälliselle palamattomalle katkolla liekkirintaman eteneminen viivästyy katkomattomaan tapaukseen verrattuna noin 12-13 minuuttia ja raolliselle palava-aineiselle katkolle noin 7-8 minuuttia. Näiden viiveaikojen merkitystä arvioitiin vertaamalla niitä tuloksiin muista palokokeista, joissa on tutkittu palon leviämistä eri tavoin konstruoiduilla ja katkotuilla julkisivuilla [6, 7]. Vertailun mukaan molemmat tutkitut palokatkot katkaisevat tuuletusraossa leviävää paloa varsin tehokkaasti siten, että molemmilla palokatkoilla palon leviäminen vastaisi suunnilleen palon leviämistä suljetun tuuletusraon tapauksessa.

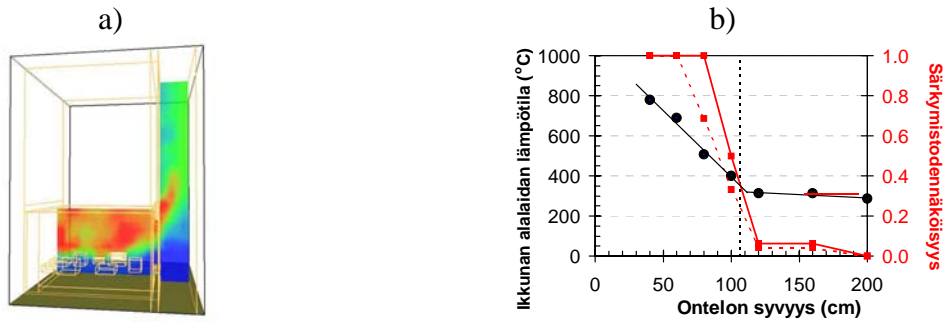


Kuva 7. a) Koejärjestely sekä b) palamattomasta ja c) palavasta aineesta tehty katko.

## KAKSOISLASIJULKISIVUN ONTELON PALOTURVALLISUUDESTA

Suomessa kaksoislasijulkisivuilla varustetut rakennukset ovat tyypillisesti suuria esim. toimistorakennuksia, joiden paloturvallisuuden perustana on sprinklaus ja muut aktiiviset toimet. Palo-osastot voivat olla hyvinkin suuria, eikä kaksoislasijulkisivun ontelo ole katkottu, vaan se ulottuu yhtenäisenä rakennuksen alhaalta ylös asti. Sprinklerit ovat tehokas keino pienentää palovaaroja. Jos riskit kuitenkin katsotaan erityisen suuriksi, niin myös sprinklereiden varsin pienellä todennäköisyydellä tapahtuvaan toimimattomuuteen voidaan varautua osastoimalla kaksoislasijulkisivun lasien välinen ontelo pystysuuntaista palonleviämistä vastaan. Näin on tehty mm. erityisen korkeissa kohteissa Saksassa (esim. 162 m korkea RWE Tower -rakennus Essenissä) ja Ruotsissa (31-kerroksinen Kista Science Tower Ruotsissa). Suomessa ei näin korkeita kohteita ole, mutta joidenkin kohteiden kohdalla laajan palon vahingot taloudellisine kerrannaisvaikutuksineen voivat mahdollisesti olla niin suuria, että tapauskohtainen riskianalyysi voisi osoittaa osastointiratkaisujen olevan tarpeen riskien pienentämiseksi.

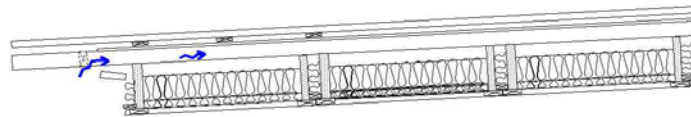
VTT:n tutkimus huonepalon palon leviämisestä kaksoislasijulkisivun ontelossa toi esille myös osastointia kevyemmän tavan pienentää palon leviämiskätkä (Kuva 8). Se perustuu ontelon mitoittamiseen siten, että sisemmän ja ulomman lasin välinen etäisyys jätetään huonepalosta ulostyöntyvien liekkiä luonnollista paksuutta suuremmaksi. Käytännössä tämä minimietäisyys on  $\frac{2}{3} \times$  ikkunan korkeus, joka tyypillisesti vastaa runsaan metrin etäisyyttä.



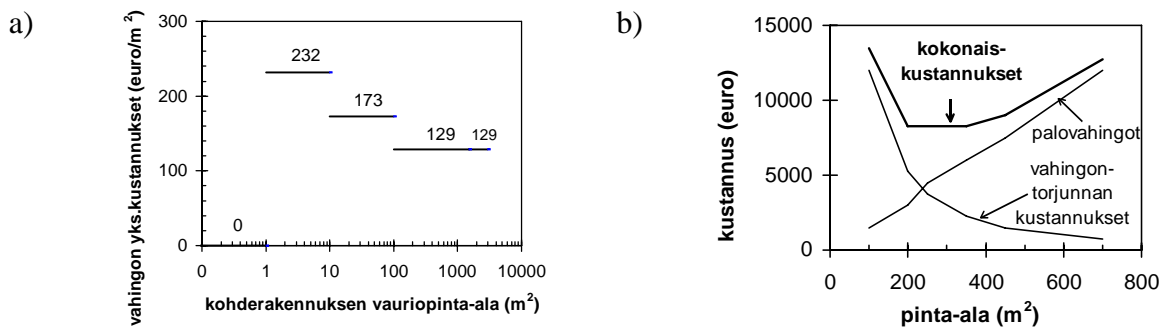
Kuva 8. a) Kaksoislasijulkisivussa leviävän palon uhkakuva: lieskahtaneen huonepalon liekit työntyvät onteloon ja uhkaavat rikkoa ylemmän kerroksen (tai ylempien kerrosten) ikkunan. b) Laskennallisella paloturvallisuusanalyysillä saatu tulos: tiettyä vähimmäisarvoa suuremmilla ontelon syvyyksillä yläpuoleisen ikkunan lämpörasitus ei ole oleellisesti suurempi kuin ilman onteloa, mutta tätä pienemmillä ontelon syvyyksillä lämpörasitus lisääntyy ja erityisesti siitä johtuva lasin rikkoutumisen todennäköisyys kasvaa voimakkaasti.

## TUULETETUN TEOLLISUUSHALLIN KATON OSIINJAKAMINEN

Teollisuushallissa tehtävän työn laatu voi vaatia kattorakenteen toteuttamista tuuletettuna. Tällaisessa kattorakenteessa yhdistyy ontelorakenne usein runsaaseen palavan materiaalin määrään, mikä tekee sen palovaaralliseksi. Paloturvallisuuden parantamiseksi tällaiset katot jaetaan yleensä osiin; yleiseksi käytännöksi on muodostunut katto-onteloiden jako tyypillisesti 400 m<sup>2</sup>:n suuruisiin osiin EI30-luokitelluin rakentein. Koska katto-ontelo ei kuitenkaan muodosta erillistä palo-osastoa, palomääräykset eivät osiin jakamista sinänsä vaadi. Ontelotilojen katkomista tutkineessa hankkeessa tarkasteltiin, onko tuulettuvan teollisuushallin katon osiin jakaminen kannattavaa taloudellisista lähtökohdista katsottuna.



Kuva 9. Tarkasteltava kattorakenne.



Kuva 10. a) Kattopalon aiheuttamien suorien omaisuusvahinkojen riippuvuus vaurion pinta-alasta tarkastelulle kattorakenteelle. b) EI30-rakenteilla tehtyyn katon osiin jakamiseen suojauskustannuksien riippuvuus osiin jakamisen pinta-alasta.

Esimerkkilaskelmat on tehty seuraavanlaiselle, varsin tyypilliselle teollisuushallille: pituus 100 m, leveys 30 m ja korkeus 6 m; hallin kantavat rakenteet ovat liimapuupalkkeja; kattorakenne on toteutettu tuulettavana hallin toimintaan liittyvän suuren kosteuskuorman takia; katteena on peltikatto (Kuva 9). Kyseiselle katolle palossa koituvien vahinkojen suorat kustannukset esitetään kuvassa 10a. Kun nämä vahinkoarviot yhdistetään tilastotietoihin ja palonsimuloinnin antamiin tuloksiin, osoittautuu, että taloudellisessa mielessä optimaalinen osiin jakamisen koko tarkastelussa teollisuushallissa on noin 200-400 neliometriä (Kuva 10b).

## KIITOKSET

Hankkeen ovat rahoittaneet Palosuojelurahasto, Palotutkimusraati (ml. Palosuojelun edistämissäätiön erikoisrahasto sekä Suomen Vakuutusyhtiöiden Keskusliitto), Ympäristöministeriö, Wood Focus Oy, If Vahinkovakuutusyhtiö Oy ja VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Tutkimukselle antoivat apua ja tukea monet yritykset ja henkilöt, joita kaikkia kiitämme lämpimästi. Erityisesti kiitämme johtoryhmän jäseniä ja seuraavia henkilöitä/yrityksiä: Palokatkomiehet, Kari Helminen/Insinööritoimisto Tasoplan Oy (ent. K & H Oy), Matti Salmela/SPU-Systems Oy ja Mauri Nevalainen/ABB Talotekniikka.

## LÄHDELUETTELO

---

1. Hietaniemi, J., Hakkarainen, T., Vaari, J. & Weckman, H. Ontelotilojen paloturvallisuus: Ontelopalotapauksia ja - tutkimuksia. Helsinki: Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö, 2000. 68 s. + liitt. 11 s. (Palotutkimusraadin projektin nro. 68 julkaisu)
2. Hietaniemi, J., Hakkarainen, T., Huhta, J., Korhonen, T., Siiskonen, J. & Vaari, J. Ontelotilojen paloturvallisuus: Ontelopalojen tutkimus kokeellisesti ja mallintamalla. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 2002. 125 s. + liitt. 63 s. (VTT Tiedotteita - Meddelanden -Research Notes 2128.) ISBN 951-38-5953-3.
3. Hietaniemi, J., Hakkarainen, T., Huhta, J., Jumppanen, U.-M., Kouhia, I., Vaari, J. & Weckman, H. Ontelotilojen paloturvallisuus. Ontelopalojen leviämisen katkaiseminen. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 2002. 168 s. + liitt. 52 s. (VTT Tiedotteita - Research Notes 2202) ISBN 951-38-6156-2.
4. Hietaniemi, J. Puun palosuojauksen vaikutus suljetussa tilassa kehittyvään paloon: Kokeellinen todennus ja koetulosten soveltamisesimerkki. Palontorjuntatekniikka, 2001, Vol. 31, nro. 3-4, s. 109-114.
5. Brann i rekkehus [verkkodokumentti]. Oslo, NO: Statens bygningstekniske etat. (Melding HO-3/97), 1997. [Viitattu 19.2.2003]. Saatavissa: <http://www.be.no/beweb/regler/meldinger/973rekkehus/rekkehus.html>.
6. Hakkarainen, T. & Oksanen, T. Fire safety assessment of wooden facades. Fire and Materials, 2002, Vol. 26, s. 7-27.
7. Kokkala, M., Mikkola, E., Immonen, M., Juutilainen, H., Manner, P., Parker, W. Large-scale upward flame spread tests on wood products. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 1997. 29 s. liitt. + 116 s. (VTT Tiedotteita 1834) ISBN 951-38-5114-1