



Timo Korhonen & Jukka Hietaniemi

# Puujulkisivujen paloturvallisuus lähiökerrostaloissa



# **Puujulkisivujen paloturvallisuus lähiökerrostaloissa**

Timo Korhonen & Jukka Hietaniemi  
VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

ISBN 951-38-6482-0 (nid.)  
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-6483-9 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)  
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

Copyright © VTT 2004

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT  
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT  
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland  
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Kivimiehentie 4, PL 1803, 02044 VTT  
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4815

VTT Bygg och transport, Stenkarlsvägen 4, PB 1803, 02044 VTT  
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4815

VTT Building and Transport, Kivimiehentie 4, P.O.Box 1803, FIN-02044 VTT, Finland  
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4815

Korhonen, Timo & Hietaniemi, Jukka. Puujulkisivujen paloturvallisuus lähiökerrostaloissa [Fire safety of wooden facades in suburban block of flats]. Espoo 2004. VTT Tiedotteita – Research Notes 2253. 58 s. + liitt. 36 s.

**Avainsanat** fire safety, fire prevention, facades, wooden structures, apartment buildings, risk analysis, fire scenarios, residential buildings

## Tiivistelmä

Suomen rakennusmääräyskokoelman (SRMK) osan E1 määräysten ja ohjeiden paloluokat ja lukuarvot määrittelevät rajoituksia puun käytölle P1-paloluokan rakennusten julkisivuissa ja muissa rakenteissa, mutta palomääräykset eivät estä puun käyttämistä näissä. Kyse on tavasta, jolla paloturvallisuutta koskevien olennaisten vaatimusten täyttyminen osoitetaan. Tälle on rakennusmääräyksissä olemassa kaksi vaihtoehtoista tapaa: Yleisimmin käytetty tapa on toteuttaa rakennus SRMK:n osan E1 määräysten ja ohjeiden paloluokkien ja lukuarvojen mukaisesti, mikä johtaa ratkaisuihin, joiden katsotaan täyttävän paloturvallisuusvaatimukset. Vaihtoehtoinen tapa on suunnitella ja rakentaa rakennus perustuen oletettuun palonkehitykseen (toiminnallinen paloturvallisuuslähetytymistapa), joka kattaa kyseisessä rakennuksessa todennäköisesti esiintyvät palotilanteet. Tällöin voidaan käyttää myös SRMK:n osan E1 määräysten ja ohjeiden paloluokista ja lukuarvoista poikkeavia ratkaisuja, kunhan ne osoitetaan turvallisiksi. Se, että tätä perinteiselle luokkavaatimukseen perustuvalla käytännöllä vaihtoehtoista tapaa voidaan käyttää, vaatii perustukseen vankkaa, todennettua aineistoa. Tässä julkaisussa esitetyn työn tarkoituksena on tuottaa tällaista aineistoa puisista julkisivuratkaisuista.

Tässä julkaisussa esitetään riskien suuruuden arviointiin perustuva paloturvallisuustarkastelu puujulkisivujen käyttämisestä korjausrakentamisen yhteydessä. Tehdyssä riskianalyysissä otettiin huomioon palokunnan sammutus- ja pelastustoiminta käyttämällä VTT:ssä kehitettyä ajasta riippuvaa tapahtumapuumallia. Riskit arvioitiin konkreettiselle esimerkkikohteelle, joka oli 3–4-kerroksinen betoninen lähiötalo Helsingin Laajasalossa. Puisen julkisivun vaikutuksen palon leviämiseen yläpuoleiseen asuntoon havaittiin olevan pieni verrattuna muihin palotilanteeseen liittyviin (ja usein satunnaisiin) tekijöihin. Esimerkiksi palokunnan ajomatalla on selvästi suurempi merkitys rakennuksen paloriskeihin kuin julkisivumateriaalilla. Lisäksi rakennuksen ja sen huoneistojen geometrioiden muutoksilla on usein suurempi vaikutus rakennuksen paloriskeihin kuin julkisivumateriaalilla. Asuinkerrostalopaloissa henkilövahingot syntyvät pääsääntöisesti palohuoneistossa sekä porrashuoneeseen levinneen savun aiheuttamina. Näihin julkisivun materiaalilla ei ole vaikutusta. Aineellisten vahinkojen muodostumiseen julkisivumateriaalilla on suurempi vaikutus, ja tämän vuoksi on syytä kiinnittää huomiota puujulkisivun suunnitteluun siten, että palo ei pääse esteettömästi leviämään räystäään kautta mahdolliseen yläpohjan onteloon.

Korhonen, Timo & Hietaniemi, Jukka. Puujulkisivujen paloturvallisuus lähiökerrostaloissa [Fire safety of wooden facades in suburban block of flats]. Espoo 2004. VTT Tiedotteita – Research Notes 2253. 58 p. + app. 36 p.

**Keywords** fire safety, fire prevention, facades, wooden structures, apartment buildings, risk analysis, fire scenarios, residential buildings

## **Abstract**

The fire classes and numerical criteria provided by the regulations and guidelines given in the part E1 of the National Building Code of Finland define restrictions to the use of wood in the facades and other structures of P1-class buildings, but the Code does not prevent the use of wood in these structures. The point is to attest that the essential requirements considering fire safety are fulfilled. There are two alternative ways to do this, which are mentioned in the National Building Code of Finland: the conventional way is to design and execute the building according to the fire classes and numerical criteria provided by the regulations and guidelines stated in the part E1 of the National Building Code of Finland, which will lead to constructions that are deemed to satisfy the fire safety requirements. The alternative way is to design and execute the building based on design fires that cover the most probable fire scenarios. In that case one can use constructions that differ from the fire classes and numerical criteria provided by the regulations and guidelines given in the part E1 of the National Building Code of Finland, if these constructions are shown to be safe. The use of this alternative way demands that there is firm and verified material on this subject. The aim of this study is to produce such information related to the wooden facades.

This report presents a fire safety analysis of wooden facades using a quantitative risk analysis. The rescue and extinguishing actions of the fire brigade are considered by using the time-dependent event tree method developed at VTT. The fire risks were evaluated for an existing building, a 3 to 4 storey high suburban block with concrete structures in Eastern Helsinki. The effect of the wooden facade on the fire spread to the above apartments was found to be small as compared to the other (and often random) variables related to the fire scenario. For example, the driving distance of the fire brigade has clearly a larger effect on the fire risks of the building than the material of the facade. Also the geometries of the building and its apartments have in many cases larger effects on the fire safety of the building than the material of the facade. The injuries and deaths in fires in multi-storey dwellings occur mainly in the fire apartment or due to smoke in staircases. The material of the facade has no influence on these consequences. The material of the facade has a greater effect on the damage to property and, thus, the facade should be planned in such a way that the fire can not freely spread through the eaves to the possible voids in the roof structure.

# Alkusanat

Nykyisen Suomen rakennusmääräyskokoelman osa E1 tuntee kaksi keskenään vaihtoehtoista tapaa osoittaa rakennuksen säädöksienmukaisuus paloturvallisuuden suhteen. Rakennus voidaan suunnitella noudattaen E1:n määräysten ja ohjeiden paloluokkia ja lukuarvoja (ns. taulukkomitoitus), jolloin paloturvallisuusvaatimusten katsotaan täyttyvän, tai vaihtoehtoisesti suunnitella rakennus oletettuun palonkehitykseen perustuvaa mitoitustapaa käyttäen, jolloin voidaan myös käyttää sellaisia ratkaisuja, jotka poikkeavat E1:n määräysten ja ohjeiden paloluokista ja lukuarvoista.

Suomessa etenkin 60–70-lukujen taitteessa rakennetut lähiökerrostalot tarvitsevat peruskorjausta, tärkeimpinä korjauskohteinaan julkisivut. Esimerkiksi P1-paloluokan kerrostalon ulkoseinää koskeva E1:n perusvaatimus rajoittaa voimakkaasti palosuojakäsittelmättömän puun käyttöä julkisivuissa. Tämän tutkimuksen tavoitteina ovat paloturvallisuustason määrittäminen, kun P1-paloluokan betonirunkoiseen kerrostaloon asennetaan puinen julkisivu korjausrakentamisen yhteydessä, paloturvallisuusvaatimusten toteutumisen osoittavan aineiston tuottaminen sekä puisiin julkisivuihin liittyvien väärin ennakkokäsityksien hälventäminen. Tutkimuksen tarkastelunäkökulmaksi valittiin yksittäiskohteesta yleistäminen, eli aluksi tehdään valitulle tyypilliselle esimerkkikohteelle riskianalyysi, jossa tarkastellaan korjausrakentamisen yhteydessä betonirunkoiseen P1-paloluokan asuinkerrostaloon asennettavan puisen julkisivun vaikutusta paloriskeihin. Tämän jälkeen osoitetaan, että esimerkkikohteelle tehdyt johtopäätökset ovat yleistettävissä vastaavanlaisiin 1960–1970-luvuilla rakennettuihin betonirunkoisiin lähiökerrostaloihin.

Tämä tutkimus on osa Wood Focus Oy:n ja Tekesin rahoittamaa hanketta, jonka johtoryhmään ovat kuuluneet seuraavat henkilöt: Pekka Nurro, puheenjohtaja (Wood Focus), Tero Lahtela (ProAgria), Jarmo Mylläri (Helsingin ATT), Marja Kallio (Skanska) ja Esko Mikkola (VTT). Johtoryhmän jäseniä kiitetään heidän mielenkiinnostaan ja asiantuntevasta ohjauksestaan työn kuluessa.

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	4
Alkusanat.....	5
1. Johdanto.....	9
2. Tarkasteltavat kohteet.....	12
2.1 Yleistä.....	12
2.2 Esimerkkikohde.....	13
3. Menetelmät.....	17
3.1 Tilastaselvitys.....	17
3.1.1 Julkisivumateriaalin vaikutus kerrostalopaloissa.....	17
3.1.2 Palojen lukumäärät ja niiden leviäminen.....	17
3.2 Paloskenaariot.....	18
3.2.1 Sisällä syttyvät palot.....	18
3.2.2 Ulkopuoliset syttymät.....	19
3.2.3 Julkisivu- ja kattorakenteiden vaikutus paloskenaarioihin.....	20
3.3 Lieskahtaneen huonepalon leviäminen.....	23
3.3.1 Huonepalon mallittaminen.....	23
3.3.2 Ulkoisen palon tuottama lämpörasitus.....	24
3.3.3 Palotilan yläpuoleisten ikkunoiden särkyminen.....	26
3.3.4 Vertailu koetuloksiin.....	26
3.4 Ajasta riippuva tapahtumapuumalli.....	27
3.4.1 Tapahtumapuun rakenne.....	27
3.4.2 Palon havainnointi ja alkusammutus.....	28
3.4.3 Palokunnan toiminta.....	30
3.4.4 Palokuorma.....	31
3.5 Mallin antaman riskitason normitus.....	32
3.5.1 Huonepalon leviäminen yläpuoleisiin huoneistoihin.....	32
3.5.2 Huonepalon leviäminen räystäälle.....	33
4. Tulokset esimerkkikohteelle.....	35
4.1 Huonepalon leviäminen yläpuoleisiin huoneistoihin.....	35
4.2 Huonepalon leviäminen räystäälle.....	36
4.3 Ulkoiset syttymät.....	37
4.3.1 Seinustan syttymät.....	38



4.3.2	Parvekepalot.....	39
4.4	Esimerkkikohteen tulosten herkkystarkastelu.....	39
4.5	Esimerkkikohteelle saatujen tulosten yhteenveto.....	42
4.5.1	Palovahingot.....	42
4.5.2	Esimerkkikohteen paloturvallisuusratkaisut.....	43
5.	Tulosten yleistys.....	45
5.1	Esimerkkikohteen erityispiirteiden vaikutus.....	45
5.2	Rakennuksen ominaisuuksien vaikutus.....	46
5.3	Yhteenveto tulosten yleistämisestä.....	52
6.	Päätelmät.....	54
	Loppusanat.....	56
	Lähdeluettelo.....	57
	Liitteet	
	Liite A: Tilastaselvitykset	
	Liite B: Ikkunasta ulos tulevan liekin korkeudesta	
	Liite C: Käytetyn mallin kelpoisuuden osoittaminen	



# 1. Johdanto

Korjausrakentaminen on kasvava rakentamisen ala niin Suomessa kuin muuallakin Euroopassa. Esimerkiksi Keski-Euroopassa korjausrakentamisen markkinat on arvioitu kymmenien miljardien eurojen suuruiseksi (Erkki Virtanen, kansliapäällikkö, KTM). Merkittävän uuden markkina-alueen korjausrakentamiselle muodostaa Euroopan itäinen osa (uudet EU-maat ja Venäjän läntiset osat), jossa talouden kohentuessa korjausrakentamisen markkinat kasvavat voimakkaasti.

Suomessa etenkin 60–70-lukujen taitteessa rakennetut lähiöt tarvitsevat peruskorjausta. Tärkeimpiä peruskorjauskohteita ovat julkisivut. Korjaustarpeet lähtevät lähinnä rakennusteknisistä ja energiataloudellisista syistä, mutta myös talojen esteettinen ulkonäkö ja siihen voimakkaasti liittyvä alueiden viihtyisyys vaativat muutoksia vastatakseen tämän päivän vaatimuksia.

Puu on oivallinen rakennusmateriaali korjausrakentamiseen. Sen käyttö on kestävän kehityksen periaatteiden mukaista: puulla on muihin rakennusmateriaaleihin verrattuna alhainen energiasisältö, ja rakennuskäytössä se sitoo ilmakehästä CO<sub>2</sub>-kaasua. Puun rakennuskäyttö ei uhkaa Euroopan metsävarantoja, vaan puuvarojen käyttö Euroopassa on kestävällä tasolla talousmetsien vuotuisen nettokasvun ollessa noin 460 milj. m<sup>3</sup> ja hakkuupoistuman noin 300 milj. m<sup>3</sup>. Laajalti käytettävistä rakennusmateriaaleista puu onkin ainoa uusiutuva raaka-aine. Rakennusteknisesti puurakentaminen on moniin muihin vaihtoehtoihin nähden kevyttä ja joustavaa, minkä vuoksi puurakentaminen soveltuu erinomaisesti myös ahtaisiin paikkoihin, joita korjausrakentamisessa usein tulee esille. Myös puun taloudellinen kilpailukyky muihin korjausrakentamisen materiaaleihin nähden on hyvä. Puuta on myös helppo yhdistää muiden materiaalien kanssa, mikä tarjoaa suuria mahdollisuuksia korjausrakentamisessa. Puun käyttö rakentamisessa lisää rakennetun ympäristön esteettisyyttä, mikä puolestaan lisää asumisviihtyvyyttä ja sitä kautta myös sosiaalisten rakenteiden ja turvallisuuden myönteistä kehitystä.

Metsät ovat Suomen tärkein luonnonvara, ja niiden tehokas hyödyntäminen myös rakentamisessa on tärkeää työllisyyden ja kansantalouden kannalta.

Suomessa korjausrakentamisen merkittävimmät kohteet ovat paloluokan P1 rakennuksia, minkä vuoksi puun käyttö niiden korjausrakentamisessa on paloturvallisuussyistä hyvin rajallista. Esimerkiksi ulkoseinää koskevana perusvaatimuksena on, että P1-luokan rakennuksessa tulee ulkoseinässä pääosin käyttää vähintään B-s1,d0-luokan rakennustarvikkeita, mikä voimakkaasti rajoittaa palosuojakäsittelmättömän puun käyttöä P1-luokan rakennusten julkisivuissa. Matalissa, enintään nelikerroksissa P1-luokan rakennuksissa puun käyttö on periaatteessa mahdollista ulkoseinän ja tuuletusraon ulkopinnoissa, mutta vain sillä edellytyksellä, että rakennuksen huoneistot on sprinklattu.

Korjausrakentamisessa tämä mahdollisuus ei kuitenkaan ole käytäntöön soveltuva vaihtoehto mm. sprinklerilaitteistojen aiheuttamien kustannuksien vuoksi.

Suomen rakennusmääräyskokoelman (SRMK) osan E1 [Ympäristöministeriö 2002] määräysten ja ohjeiden paloluokat ja lukuarvot määrittelevät rajoituksia puun käytölle P1-paloluokan rakennusten julkisivuissa tai muissa rakenteissa, kuten parvekkeissa tai lisäkerrosten rakennustarvikkeena, mutta palomääräykset eivät estä puun käyttämistä näissä kohteissa. Kyse on tavasta, jolla paloturvallisuutta koskevien olennaisten vaatimusten täytyminen osoitetaan. Tälle on Suomen rakennusmääräyksissä olemassa kaksi vaihtoehtoista tapaa. Yleisimmin käytetty tapa on toteuttaa rakennus SRMK:n osan E1 määräysten ja ohjeiden paloluokkien ja lukuarvojen mukaisesti, mikä johtaa ratkaisuihin, joiden katsotaan täyttävän paloturvallisuusvaatimukset. Vaihtoehtoinen tapa on suunnitella ja rakentaa rakennus oletetun palonkehityksen (toiminnallinen paloturvallisuuslähestymistapa) mukaan, joka kattaa kyseisessä rakennuksessa todennäköisesti esiintyvät tilanteet. Tällöin voidaan käyttää myös E1:n määräysten ja ohjeiden paloluokista ja lukuarvoista poikkeavia ratkaisuja, kunhan ne osoitetaan turvallisiksi. Tätä tapaa käytettäessä vaatimuksen täytyminen todennetaan dokumentoimalla suunnitelma ja sen perustana olevat tiedot ja menetelmät E1:ssä esitetyt edellytykset täyttävällä tavalla ottamalla huomioon rakennuksen ominaisuudet ja käyttö.

Tilanne on samankaltainen myös monissa muissa Euroopan maissa. Palomääräyksissä esitettyihin vaatimuksiin tiukasti nojautuvan perinteisen lähestymistavan ohella sallitaan rakennuksen ja sen paloturvallisuusmenetelmien toiminnasta lähtevä lähestymistapa. Toiminnallisen paloturvallisuuslähestymistavan ja siinä sovellettavan paloturvallisuustekniikan (Fire Safety Engineering, FSE) käyttö vaihtoehtoisena menettelytapana luokkavaatimuksille perustuvalla vaatimuksenmukaisuuden osoittamiselle on mahdollista tärkeissä suomalaisen puunjalostusteollisuuden vientimaissa, kuten Saksassa, Englannissa, Benelux-maissa, Tanskassa ja Italiassa. Ranskassa tämä menettelytapa on mahdollinen julkisten rakennusten kohdalla. Siellä alan kehitystyö on voimakasta ja toiminnallisen lähestymistavan käyttö tulee ilmeisesti laajenemaan lähitulevaisuudessa. Myös Euroopan ulkopuolella, kuten Japanissa, USA:ssa ja Australiassa, toiminnallinen paloturvallisuuslähestymistapa on tunnettu ja tunnustettu menetelmä. Paloturvallisuustekniikka tuo paloturvallisuussuunnitteluun uuden, tietotekniikan tehokkaaseen hyväksikäyttöön perustuvan korkean teknologian lähestymistavan, jolla voidaan saavuttaa merkittäviä etuja koko rakennustekniikan alalla. Siksi sen käyttö lisääntyy nopeasti, ja menettelytapoja kehitetään myös niissä EU:n jäsenmaissa, joissa sitä ei tällä hetkellä sovelleta. Tämän perusteella on myös luultavaa, että monet EU:n uudet jäsenmaatkin ottavat käyttöön toiminnallisuuden perustuvat paloturvallisuusmenetelmät.

Se, että voidaan käyttää perinteiselle palomääräyksiin luokkavaatimukseen perustuvalla käytännöllä vaihtoehtoisia tapoja, vaatii perustukseen vankkaa, todennettua aineistoa.

Esteenä puun käytölle lähiökerrostalojen korjaamisessa on tällä hetkellä juuri se, että ei ole olemassa aineistoa, jolla paloturvallisuusvaatimusten toteutuminen voidaan osoittaa. Tämä työ tähtää nimenomaan tällaisen aineiston tuottamiseen.

Aineiston avainkohderyhmänä ovat Suomen paikalliset paloviranomaiset, rakennusvalvontaviranomaiset sekä rakennus- ja rakennesuunnittelijat samoin kuin alan konsultit. Nykyisin käytössä olevat toiminnallista mitoitusta säätelevät määräykset ja niihin liittyvät ohjeet ovat vielä varsin yleisellä tasolla, eikä etenkään korjausrakentamiseen liittyvää seikkaperäistä aineistoa ole saatavilla. Tässä tutkimuksessa tuotetaan aineistoa betonirunkoisten P1-paloluokan kerrostalojen korjausrakentamiseen, jossa julkisivut tehdään puusta. Aineistossa esitettävien tietojen ja menetelmien kelpoisuus perustellaan luotettavalla tavalla siten, että se muodostaa käyvän perustan rakentajien ja palo- ja rakennusviranomaisten väliselle rakennuslupamenettelylle. Tärkeitä huomioon otettavia asioita ovat mm. palava-aineisten julkisivujen merkitys paloturvallisuusriskien kannalta koko rakennuksen paloturvallisuuden suhteen sekä palolaitoksen väliintulon ja pelastustoiminnan vaikutukset.

Aineistoa voidaan käyttää myös puurakentamisen riskeihin liittyvien ennakkokäsitysten hälventämiseen esim. suuren yleisön joukossa.

Koska toiminnallinen lähestymistapa paloturvallisuuteen lähtee tulipalotapahtuman sekä sen torjumiseksi ja sammuttamiseksi tehtävien toimien ominaisuuksista, Suomessa saadut tulokset ovat siirrettävissä myös muihin Euroopan maihin korvaamalla suomalaista rakennustapaa ja palontorjuntakäytäntöä koskevat kohdat kutakin kohdemaata vastaavilla tiedoilla. Juuri yleispätevyys on eräs tämän lähestymistavan voima, jolla voidaan tuottaa merkittävää lisäarvoa alan yrityksille. Suomessa toimivat yritykset voivat käyttää Suomea tuotekehityslaboratoriona ja siirtää tulokset muualle Eurooppaan. Yhteistyössä viranomaisten kanssa tehtynä tämä toiminta omalta osaltaan edistää toiminnallisen paloturvallisuussuunnittelun menetelmien yleiseurooppalaista käyttöä ja soveltamisalueiden laajentamista, mikä puolestaan poikii uusia mahdollisuuksia sen hyödyntämiseen.

Tässä julkaisussa tuotetaan aineistoa paloturvallisuustarkasteluihin, joissa tarkastelun kohteena on puisen julkisivun asentaminen P1-paloluokan betonirunkoiseen asuinkerrostaloon korjausrakentamisen yhteydessä. Tarkastelutapa lähtee tietyn kohteen riskitarkastelusta, joka sitten yleistetään vastaavatyyppeihin 1960–70-lukujen betonirunkoisiin lähiötaloihin. Luvussa 2 esitellään valittu esimerkkikohte. Luvussa 3 esitellään tarkasteltavat uhkakuvat, käytettävät laskennalliset mallit sekä tehdyn tilastaselvityksen päätulokset. Luvussa 4 esitellään tulokset käytetylle esimerkkikohteelle ja sen jälkeen luvussa 5 osoitetaan, että nämä tulokset ovat yleistettävissä vastaavatyypisille taloille. Viimeisessä luvussa kerrataan lyhyesti tutkimuksen päätulokset ja niiden vaikutus puujulkisivujen käyttöön korjausrakentamisen yhteydessä.

## 2. Tarkasteltavat kohteet

### 2.1 Yleistä

Korjausrakentamistarve 1960- ja 1970-luvuilla rakennetuissa lähiöissä on suuri. Tyypillinen tämän aikakauden talo on betonirunkoinen elementtitalo, jonka julkisivut on tehty paloa levittämättömistä materiaaleista, kuten pesubetoniset julkisivut. Nämä julkisivut ovat ajan saatossa rapistuneet, ja ne tarvitsevat korjausta. Korjaus voidaan toteuttaa joko poistamalla päällimmäinen pesubetonikerros tai jättämällä se paikoilleen ja laittamalla tämän päälle uusi julkisivukerros. Mahdollisia korjaustoimenpiteitä on useita, esimerkiksi julkisivun uloimman kerroksen korvaaminen tiiliverhouksella. Tämä on kuitenkin varsin kallis ja hidas vaihtoehto. Käyttämällä puuta on mahdollista tehdä julkisivukorjaus edullisemmin ja samalla sopeuttaa rakennus ympäröivään maisemaan paremmin sopivaksi. Puujulkisivuja voitaisiin käytännössä ajatella tehtäväksi suhteellisen mataliin (puuston korkeus) kerrostaloihin, sillä paljon yli puiden korkeuksiin nousevissa taloissa puisen julkisivun luonnonläheisyyden merkitys katoaa. Tässä työssä lähestymistapana on lähteä tutkimaan tietyn valitun esimerkkirakennuksen paloriskejä ennen ja jälkeen korjausrakentamisen, jolloin saadaan tietoa puujulkisivun lisäämiseen liittyvistä riskien suhteellisista muutoksista. Tämän jälkeen esimerkkikohteeseen liittyvät tulokset yleistetään koskemaan samantyyppisiä betonirunkoisia kerrostaloja tarkastelemalla eri muuttujien vaikutusta riskeihin.

Riskitarkasteluissa otetaan palon kehittymisen mallituksen lisäksi huomioon palokunnan toiminta. Riskitarkastelun lähtökohtana on tapahtumapuuanalyysi, mutta koska paloon liittyvät tapahtumat riippuvat voimakkaasti ajasta (ikkunoiden särkyminen, palokunnan sammutustoimet, palon havainnointi jne.), työssä käytetään VTT:ssä kehitettyä ajasta riippuvaa tapahtumapuumallia (ARTP), joka huomioi palotapahtumaan liittyvän dynaamisuuden [Hietaniemi ym. 2002; Korhonen ym. 2003]. Tässä menetelmässä perinteiseen tapahtumapuuanalyysiin liittyvä käyttäjän määriteltävissä oleva hetki, jolloin tilannetta tarkastellaan, menettää merkityksensä, eivätkä sen valintaan liittyvät epävarmuudet vaikuta lopputuloksiin. Lisäksi tapahtumapuuden eri haarojen todennäköisyyksiin mahdollisesti liittyvät voimakkaat vaihtelut ajan mukana tulevat huomioitua.

Tehtyjen tilastaselvityksien (kohta 3.1 ja liite A) perusteella tarkastelukohteisiin liittyvä vaarallisin palotapaus on lieskahtanut huoneistopalo. Rakennuksen ulkopuoleiset syttymät (poislukien parvekepalot) ovat harvinaisia, joten todennäköisimmin tuli pääsee julkisivulle joko asunnon ikkunoiden tai parvekkeen kautta. Tutkimuksessa ei tarkastella parvekepaloja erikseen, sillä niitä on tarkasteltu tämän tutkimuksen rinnakkaisessa tutkimuksessa [RTE 2003]. Suurin mielenkiinto korjausrakentamisen yhteydessä asennettavaan puiseen julkisivuun liittyy siis sen vaikutukseen lieskahtaneiden huoneistopalo-

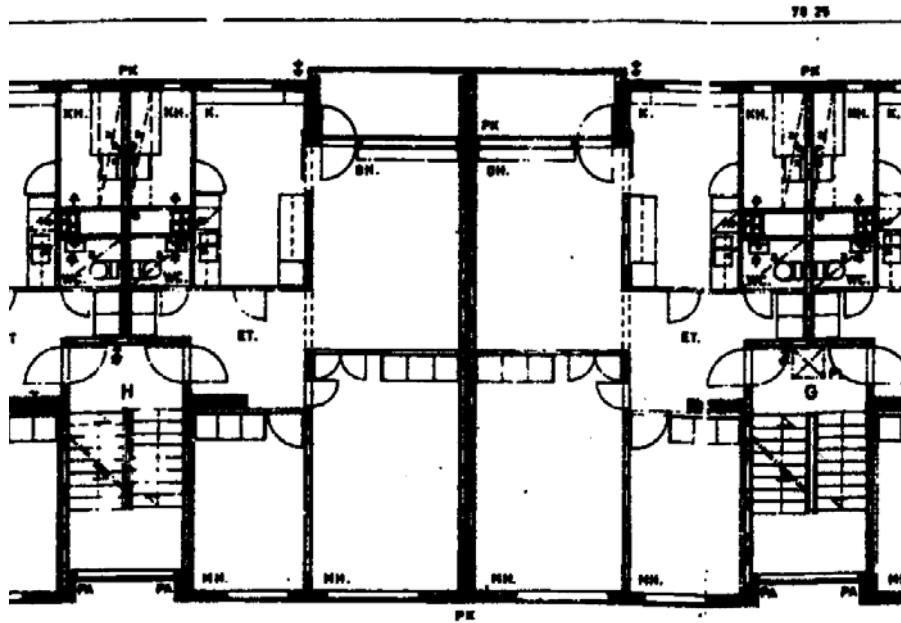
jen tapauksessa. Näitä palotilanteita mallitetaan käyttämällä palokokeisiin perustuvaa mallia ikkunasta ulos tulevalle liekille ja sen aiheuttamalle lämpörasitukselle.

## 2.2 Esimerkkikohte

Tarkasteltavana esimerkkikohteena on P1-luokan betonirunkoinen kerrostalo, johon asennetaan korjausrakentamisen yhteydessä puinen julkisivuverhous vanhan julkisivun päälle. Kohde on Helsingin Laajasalossa sijaitseva varsin tyypillinen betonirunkoinen asuinkerrostalo. Siihen on suunnitteilla julkisivujen korjaus sekä täydennysrakentamista. Talo on 3–4-kerroksinen, ja siinä on osin maan päällä oleva kellarikerros. Talon päädyissä ei ole ikkunoita, eikä päätyseinustojen vieressä ole mitään palavaa, esimerkiksi roska-astioita. Puujulkisivun ja vanhan julkisivun väliin jää tuuletusrako (koolauksi-  
neen). Tässä työssä pyritään vertailemaan puisen julkisivun lisäämisen vaikutuksia paloriskeihin eli vertailutilanteena käytetään alkuperäistä rakennusta (ennen korjausrakentamista). Tarkasteltavat kohteet ovat siis seuraavat:

- a) Betonirunkoinen P1-luokan 3–4-kerroksinen lähiötalo, jossa on paloa levittämätön julkisivu (vertailutapaus). Rakennuksessa ei ole automaattista paloilmointia eikä automaattista sammutuslaitteistoa.
- b) Betonirunkoinen 3–4-kerroksinen lähiötalo, joka on muuten rakennettu P1-luokan mukaisesti paitsi, että siihen on jälkikäteen lisätty puinen julkisivuverhous vanhan julkisivun (tai poistetun päällimmäisen pesubetonikerroksen) päälle.

Kohderakennuksen (lähes) kaikki asunnot ovat keskenään samanlaisia, eli niillä kaikilla on sama (tai peilikuva-) pohjapiirustus. Kussakin asunnossa on kaksi makuuhuonetta ( $2,7 \times 4,1 \text{ m}^2$  ja  $3,4 \times 5,3 \text{ m}^2$ ), olohuone ( $3,4 \times 4,6 \text{ m}^2$ ), keittiö ( $2,4 \times 4,5 \text{ m}^2$ ), eteinen ( $9,0 \text{ m}^2$ ), kylpyhuone sekä wc ( $6,5 \text{ m}^2$ ). Lisäksi kussakin asunnossa on olohuoneen levyinen parveke. Kerroskorkeus on 2,8 m. Kuvissa 1–4 on esitetty kohteen pohjapiirustus sekä julkisivu- ja leikkauskuvia.

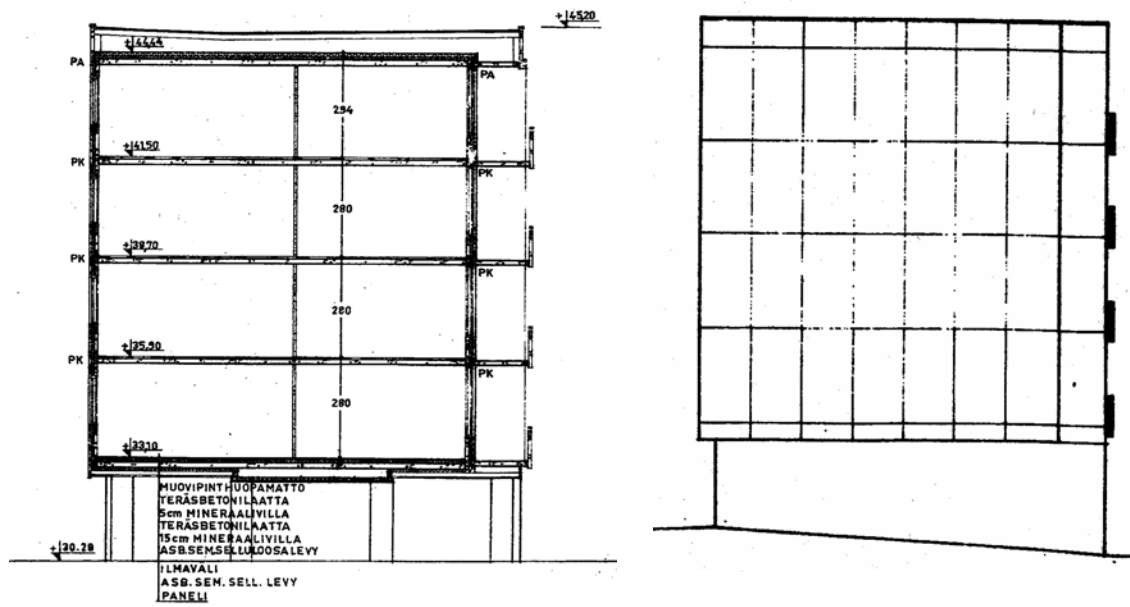


*Kuva 1. Esimerkkikohteen asuntojen pohjapiirustus. Rakennuksen huoneistot ovat pohjaltaan samanlaisia tai toistensa peilikuvia.*

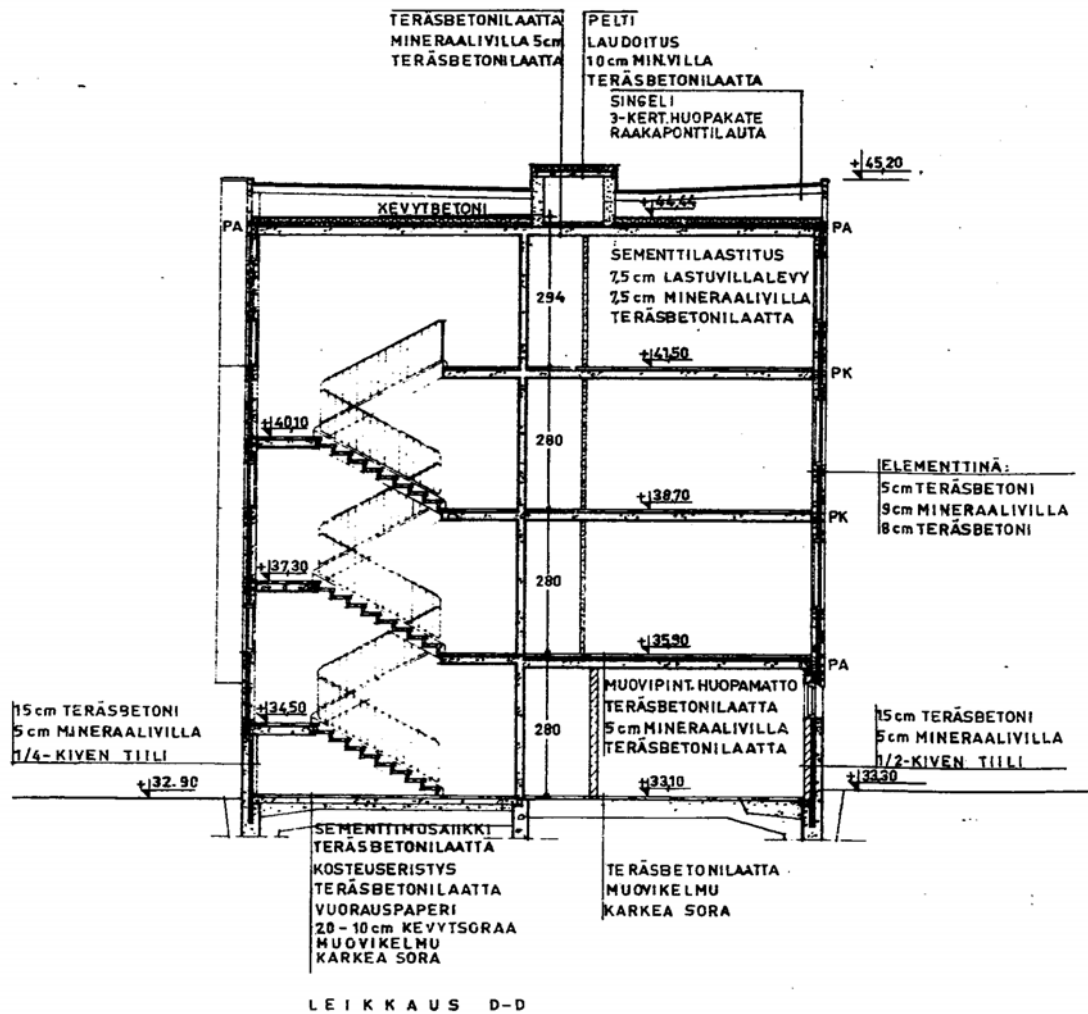


*Kuva 2. Esimerkkikohteen julkisivut itään (ylempi kuva) ja länteen (alempi kuva).*





Kuva 3. Esimerkkikohteen leikkaus parvekkeen kohdalta sekä rakennuksen pohjoispääty. Rakennuksen eteläpääty on muuten samanlainen kuin pohjoispäätykin, mutta se on kerroksen matalampi.



Kuva 4. Esimerkkikohteen leikkaus porrashuoneen kohdalta.

## **3. Menetelmät**

### **3.1 Tilastaselvitys**

Työssä tehtiin sisäasianministeriön ylläpitämästä PRONTO-onnettomuustietokannasta vuosia 1996–2001 koskeva selvitys, joka liittyi julkisivumateriaaliin sekä asuinkerrostalopaloihin. Tilastonselvityksen aineisto ja tulokset on esitetty liitteessä A. Seuraavassa kerrotaan selvityksen tulokset siltä osin kuin niitä tarvitaan tässä julkaisussa esitettävässä riskianalyysissä.

#### **3.1.1 Julkisivumateriaalin vaikutus kerrostalopaloissa**

Vuosien 1996–2001 PRONTO-tietokannasta tehtyjen hakujen perusteella saatiin selville kerrostalopalojen syttymien jakautuminen sisäpuoleisiin ja ulkopuoleisiin syttymiin (ks. liite A). Näistä tämän tutkimuksen kannalta tärkein tieto, kun vertaillaan eri julkisivumateriaaleja, on ulkopuolisten syttymien osuus kaikista syttymistä eri paloluokissa. Julkisivuluokan 1/I (paloa levittämätön, mm. pinnoitetut palamattomat levyt) rakennuksissa on rakennuksen ulkopuolella syttyneiden palojen osuus kaikista paloista pienempi kuin julkisivuluokan 2/- (mm. puu) rakennuksissa (1/I: noin 10 %, luokat 2/- ja -/-: 15–20 %). Luokka 1/I vastaa B-s1,d0-luokkaa ja luokka 2/- vastaa D-s2,d2-luokkaa. Vastaava ero havaitaan tutkimalla myös rakennuksen paloluokkaa. Paloluokan P1 rakennuksissa ulkopuoleisten syttymien osuus paloista on noin 10 % ja paloluokissa P2 ja P3 noin 15 %. Tämä paloluokan ja julkisivuluokan yhtäläisyys johtuu siitä, että ne kuvaavat samaa asiaa, eli P1-luokan rakennuksissa on pääsääntöisesti luokan 1/I julkisivu ja vastaavasti luokan P2 ja P3 rakennuksissa julkisivu on harvemmin luokkaa 1/I.

#### **3.1.2 Palojen lukumäärät ja niiden leviäminen**

PRONTO-tietokannasta löytyi vuosina 1996–2001 keskimäärin 425 sisällä syttynyttä tulipaloa vuodessa asuinkerrostaloille (95 %:n luottamusväli on 385–466). Näistä paloista vain 3 % oli kirjattu levinneeksi useisiin palo-osastoihin palokunnan saapuessa paikalle. Sisällä syttyneistä paloista 74 % rajoittui syttymishuoneeseen tai sen osaan. Alkusammutus sammutti palon 14 %:ssa tapauksista, ja 8 %:ssa tapauksista se rajoitti palon kehitystä. Vain 2 %:ssa tapauksista oli maininta siitä, että liekit olivat päässeet ulos tulipalon rikkomasta ikkunasta, ja näistä vain kolmessa tapauksessa palon oli raportoitu levinneen edelleen yläpuoleiseen asuntoon rikkomalla sen ikkunat (vain noin yksi promille kaikista sisällä syttyneistä paloista).

Tilastotietojen tarkasteluaikana asuinkerrostaloissa syttyi keskimäärin 50 paloa, jotka on luokiteltu ulkopuoleisiksi syttymiksi (noin 10 % kaikista syttymistä). Näistä ulkoisista syttymistä suurin osa (neljä viidestä) on parvekkeilla syttyneitä paloja, eli ”varsinaisia” ulkoisia syttymiä on vain noin kaksi paloa sadasta. Näitä ”varsinaisia” ulkoisia syttymiä ovat mm. roska-astioiden palot rakennuksen läheisyydessä, sähköisistä syistä syttyneet julkisivupalot yms. Parvekkeilla syttyneiden palojen, joita ei onnistuta alkusammuttamaan, voidaan noin 15 %:ssa tapauksista arvioida leviävän sisälle asuntoon. Kaikista parvekkeilla syttyneistä paloista vastaavasti noin 10 % leviää sisälle asuntoon.

## **3.2 Paloskenaariot**

Tarkasteltavana olevissa tyypillisissä 60–70-lukujen betonirunkoisissa lähiötaloissa henkilöturvallisuuden kannalta pahimpia palotapauksia ovat asunnon sisällä syttyneet tulipalot, jotka aiheuttavat suuren vaaran syttymisasunnossa oleville henkilöille sekä mahdollisesti porrashuoneeseen leviävän savun vuoksi myös muille saman portaan asukkaille. Näihin vahinkoihin ei rakennuksen julkisivumateriaalilla ole merkitystä, koska syttymisasunnossa olevat henkilöt menehtyvät savuun taikka kuumuuteen jo ennen kuin palo leviää julkisivulle. Myöskään porrashuoneeseen tulevan savun määrä ei riipu rakennuksen julkisivumateriaalista. Tämän vuoksi tässä tutkimuksessa ei tarkastella näitä tyypillisimpiä asuinkerrostalopaloihin liittyviä henkilövahinkoja vaan vain julkisivulle päässeitä paloja. Näitä ovat lieskahtanut huoneistopalo, joka leviää rikkomalla ikkunat (tai siten, että ikkunat ovat jo valmiiksi auki), parvekkeilla syttyneet palot sekä ulkopuoleiset syttymät (esim. roskalaatikko palaa seinän vieressä).

### **3.2.1 Sisällä syttyvät palot**

Huoneiston sisällä syttyneen palon kehittyminen ei riipu julkisivusta ennen kuin liekit pääsevät kuumentamaan julkisivua, mikä yleensä tapahtuu silloin, kun palotilan ikkuna rikkoontuu tulipalon aiheuttaman lämpörasituksen vuoksi. Vastaavasti julkisivumateriaalilla ei ole vaikutusta palon havainnointiin ennen ikkunan rikkoutumista. Ikkunan rikkouduttua savu ja mahdollisesti myös liekit pääsevät julkisivulle, jolloin sen materiaalilla voi olla vaikutusta palon havaitsemiseen. Tässä tehdään kuitenkin konservatiivinen arvio eli oletetaan, että puujulkisivun ja alkuperäisen julkisivun tapauksessa palo havaitaan samaan aikaan, vaikka palava julkisivu lisää palossa vapautuvan savun ja tulen määrää verrattuna paloa levittämättömään julkisivuun.

Sisällä syttyvien palotapauksien kehittymistä tarkastellaan kahdesta eri näkökulmasta. Palon havainnointiin liittyvät tapahtumat mallitetaan käyttämällä ns. vyöhykemallia, jonka avulla voidaan arvioida huonepalon kehittymistä ja sitä hetkeä, jolloin liekit pää-

sevät ikkunasta ulos. Tämän jälkeen siirrytään käyttämään kokeisiin perustuvaa korrelaatiokaavaa palotilan ikkunasta ulos tulevan liekin koolle ja liekin seinään aiheuttamalle lämpörasitukselle. Koska tässä tutkimuksessa huomio kohdistuu nimenomaan asunnosta julkisivulle päässeisiin paloihin, peruspalo tapauksena (eli oletettuna palonkehityksenä) on julkisivulle päässyt lieskahtanut huoneistopalo, jota mallitetaan tässä työssä, kuten myöhemmin kohdassa 3.3 on kerrottu.

### **3.2.2 Ulkopuoliset syttymät**

Tehdyn tilastaselvityksen mukaan ulkopuoleisten syttymien osuus (ks. liite A) on noin 10 % kaikista paloluokan P1 asuinkerrostalopaloista. Näistä paloista suurin osa (noin 80 %) oli syttynyt parvekkeilla. Työn tässä osassa ei tarkastella parvekepaloihin liittyviä riskejä lähemmin, sillä parvekepaloja käsiteltiin tämän tutkimuksen rinnakkaisessa tutkimuksessa [RTE 2003] tarkastelemalla toista esimerkkikohdetta. Rakennuksen julkisivumateriaalilla on vaikutusta parvekepalon leviämiseen yläpuoleiselle parvekkeelle, jota kautta palo voi vaarantaa yläpuoleisessa asunnossa olevien henkilöiden turvallisuuden. Palotilastoissa (vuodet 1996–2001) ei ole kuin muutama raportoitu tapaus, jossa palo olisi levinnyt parvekkeelta ylöspäin (tai sivulle). Huomattavasti suurempi henkilöriski tulee siitä, että parvekkeella syttynyt palo leviää suoraan parvekkeelta asunnon sisälle joko rikkomalla ikkunat tai parvekkeen avonaisesta ovesta. Tilastojen perusteella noin joka kymmenennen parvekepalon voidaan arvioida leviävän sisälle asuntoon. SRMK:n osan E1 taulukkomitoitus sallii puun tai muun palavan materiaalin käytön esimerkiksi olohuoneen ja parvekkeen välisen seinän ulkoverhouksessa, ja tällä on todennäköisesti suurempi vaikutus paloriskeihin kuin parvekekaiteen ulkopinnan materiaalilla.

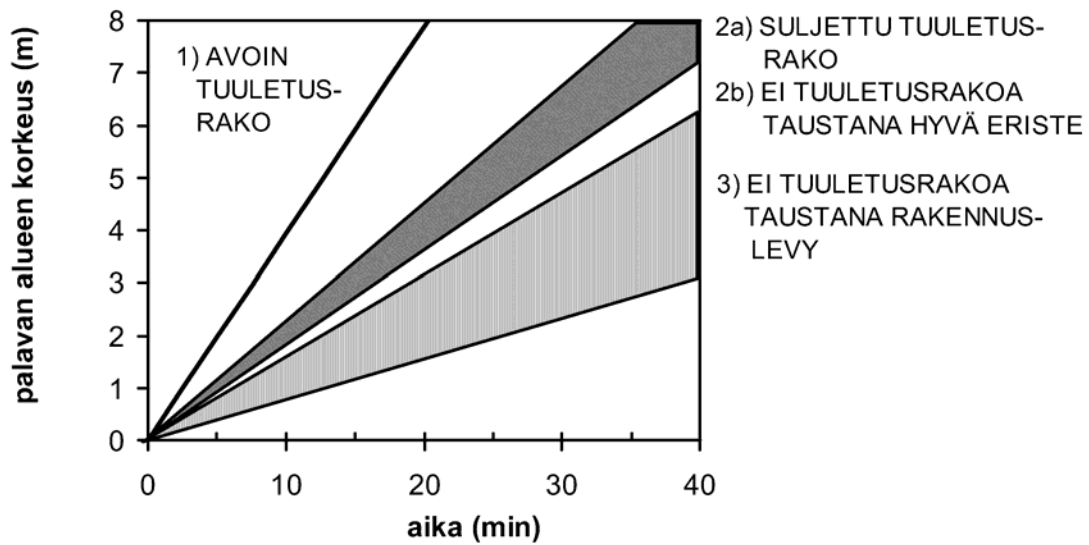
Muita ulkoisia syttymiä asuinkerrostaloissa on koko Suomessa vuodessa vain noin kymmenen tapausta vuodessa. Näitä ovat muun muassa roska-astioiden tuhopoltot rakennuksien seinien vieressä. Tarkasteltavassa esimerkkikohteessa ei ole roska-astioita tai mitään muitakaan esineitä talon seinuksien välittömässä läheisyydessä. Tarkasteltavan talon seinustoille ei myöskään voida helposti ajaa autoja. Tämän vuoksi ei tässä tutkimuksessa tarkastella näitä paloja enempää, sillä niiden pienen todennäköisyyden lisäksi myös palotapauksiin liittyvät henkilöriskit ovat vähäiset, sillä puisella julkisivulla palo etenee suhteellisen hitaasti ylöspäin eikä se vaikeuta poistumista porrashuoneiden kautta. Ainoastaan silloin, kun talon seinustalla syttyy (tai sytytetään) suuri määrä palavaa tavaraa ensimmäisen kerroksen ikkunoiden alapuolella, voi palo edetä ikkunat rikkoen sisälle asuntoon, jossa se voi aiheuttaa henkilövahinkoja. Ensimmäisen kerroksen alapuolella olevalla puisella julkisivulla on tähän samanlainen vaikutus kuin sillä on lieskahtaneen huoneistopalon leviämiseen yläpuoleiseen asuntoon ikkunoiden rikkoontumisen kautta.

Tarkasteltavan esimerkkikohteen päädyissä ei ole ikkunoita, joten talon päädyissä sytytetyt palot eivät aiheuta vaaraa rakennukselle ennen julkisivuremonttia. Mikäli talon päätyihin asennetaan julkisivuremontin yhteydessä puinen julkisivu, talon päätyyn sytytetty palo voi sytyttää suhteellisen korkean sokkelin yläpuolelta ensimmäisen kerroksen kohdalta alkavan puisen julkisivun. Palo voi levitä tätä seinää pitkin kohti räystästä, jolloin se voi päästä leviämään räystään kautta yläpohjan onteloon, ellei palokunta onnistu sammuttamaan paloa ajoissa. Vaikka palo pääsisikin leviämään yläpohjan onteloon, ei se esimerkkikohteen tapauksessa aiheuttaisi vaaraa alapuoleisen rakennuksen henkilöturvallisuudelle, sillä ylimmän asuinkerroksen katto on teräsbetoni-laatta, joka kestää yläpuoleisen rakenteen aiheuttaman palorasituksen.

Ikkunaseinustoilla julkisivupalo voi päästä sisään avonaisista tuuletusikkunoista tai parvekkeiden kautta. Suurin riski on ensimmäisen kerroksen asunnoilla, sillä ylempien kerroksien asuntojen ikkunoita suojaavat tehokkaasti alempien kerroksien ikkunoiden muodostamat palokatkot, eli palo voi edetä vain ikkunoiden vieressä olevaa seinää pitkin. Mikäli talossa on ns. nauhaikkunat, ne muodostavat hyvin tehokkaan palokatkon, eikä palo pääse leviämään ikkunaseinustoja pitkin kohti räystäsrakenteita. Itse puujulkisivupalosta aiheutuva lämpövuoto ikkunoihin on suhteellisen pientä [Hakkarainen ym. 1997; Hakkarainen & Oksanen 2002; Lattimer 2002], eikä tämä lämpörasitus tyypillisesti riitä rikkomaan sekä ulompaa että sisempää ikkunaa.

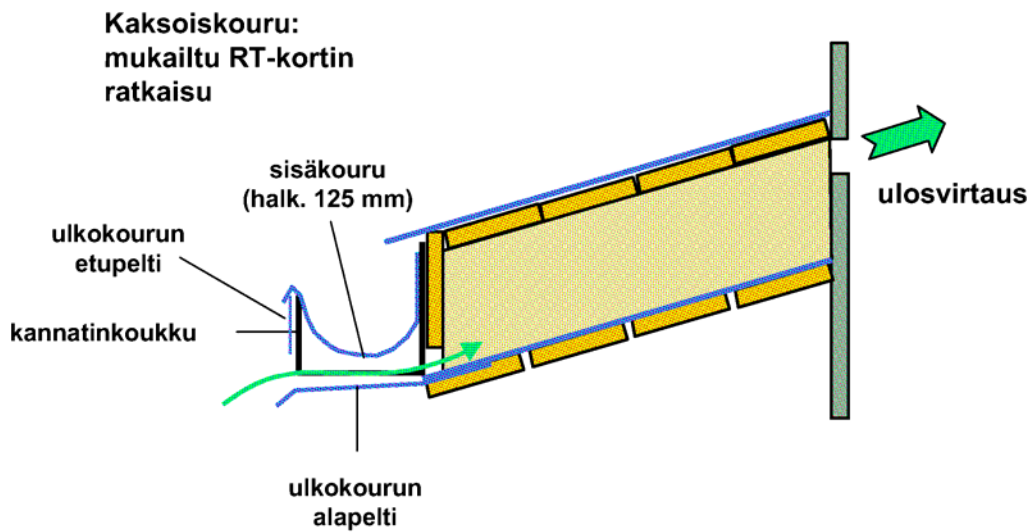
### **3.2.3 Julkisivu- ja kattorakenteiden vaikutus paloskenaarioihin**

Puisella julkisivulla etenevän palon etenemisnopeuteen vaikuttaa seinän rakenne päällimmäisen puukerroksen takana. Palon leviämistä puisella julkisivulla on tutkittu VTT:ssä aikaisemmin eri yhteyksissä [Kokkala ym. 1997; Hakkarainen ym. 1996; Hakkarainen ym. 1997; Hakkarainen & Oksanen 2002], ja näistä on äskettäisessä VTT:n tutkimuksessa [Hietaniemi ym. 2003] esitetty yhteenveto, jossa puisen julkisivun palonlevittämismominaisuudet tiivistettiin yhteen kuvaan (kuva 5). Mikäli tuuletusrako on katkaistu asianmukaisin katkoin, palon etenemisnopeus julkisivulla puolittuu noin 40 cm/min vauhdista noin 20 cm/min vauhtiin. Lisäksi kuumien palokaasujen pääsy suoraan tuuletusrakoa pitkin räystään alle estyy, kun tuuletusraossa on palokatkot.



Kuva 5. Avoimen tuuletusraon (pystykoolaus) tapauksessa palo leviää ylöspäin noin 40 cm/min vauhdilla, suljetun tuuletusraon (vaakakoolaus, palokatkot) tapauksessa noin 20 cm/min.

Puujulkisivun lisäämisen aiheuttamien paloriskien muutoksien merkitystä arvioitaessa pitää huomioida myös rakennukseen mahdollisesti korjausrakentamisen yhteydessä tehtävät kattorakenteen muutokset. Mikäli alkuperäisessä rakennuksessa on tasakatto, joka korjausrakentamisen yhteydessä halutaan muuttaa harjakatoksi, palon leviämistä räystään kautta yläpohjan onteloon voidaan rajoittaa, kuten myös palon leviämistä yläpohjan ontelossa. Näin voidaan pienentää palosta aiheutuvia omaisuusriskejä ja helpottaa palokunnan sammutustyötä. Yläpohjan ontelopaloista sekä räystäiden vaikutuksesta palon leviämisessä yläpohjan onteloon on äskettäin valmistunut VTT:ssä julkaisu [Hietaniemi ym. 2003], jossa on esitetty muun muassa yksityiskohtainen ehdotus paloa pidättäväksi räystäsratkaisuksi (kuva 6).



*Kuva 6. Ehdotus paloa pidättävän räystään rakenteesta [Hietaniemi ym. 2003].*

Mahdollisten omaisuusvahinkojen pienentämisen kannalta puisen julkisivun palonlevi-  
tysominaisuuksilla on vaikutusta. Haluttaessa vähentää näitä vaikutuksia voidaan jul-  
kisivupalon leviämistä hidastaa tuuletusraon palokatkein sekä hidastaa tai estää palon  
leviäminen yläpohjan onteloon sopivin räystäsratkaisuin. Lisäksi yläpohjan osastoinnil-  
la on vaikutusta omaisuusvahinkojen suuruuteen. Näiden toimenpiteiden kannattavuutta  
voidaan verrata asuinkeuhkalojen esiintymistiheyteen. Jos tarkasteltavan korjaus-  
rakentamiskohteen elinkaari on 30 vuotta, todennäköisyys, että kohteen yhdessä asun-  
nossa syttyy ainakin kerran tulipalo tuona aikana, on noin 1,5 %. Vain osa näistä paloista  
pääsee julkisivulle, sillä sisällä syttyneistä paloista vain harvat rikkovat palotilan ik-  
kunat. Tilastaselvityksen perusteella voidaan arvioida julkisivua ja sitä kautta kattora-  
kenteita vaarantavia paloja olevan noin kymmenes tilastoihin kirjatuista paloista. Näitä  
paloja ovat ulkoiset syttymät (esim. roska-astiat seinien vieressä), parvekepaloista se  
osa, jota ei onnistuta alkusammuttamaan, sekä ikkunasta ulos tulevat lieskahtaneet huo-  
neistopalot. Tämä tarkoittaisi esimerkiksi noin sadan asunnon taloyhtiössä sitä, että  
elinkaaren aikana noin 15 %:n todennäköisyydellä syttyy palo, joka pääsee julkisivulle.  
Vain tällöin julkisivun ja räystään rakenneratkaisuilla on vaikutusta paloon liittyvien  
omaisuusvahinkojen määrään.



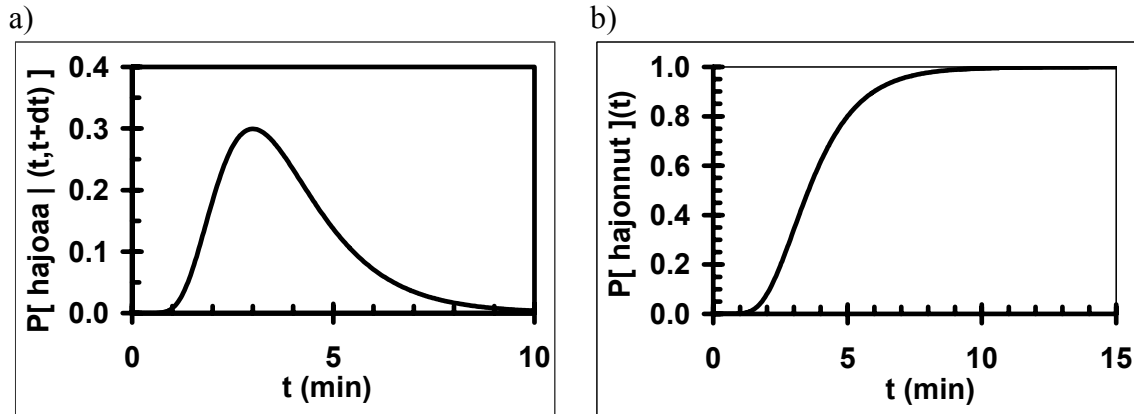
## 3.3 Lieskahtaneen huonepalon leviäminen

### 3.3.1 Huonepalon mallittaminen

Tulipalon kehittymistä tarkasteltavassa asunnossa simuloidaan CFAST-vyöhykelaskentaohjelmalla [Peacock ym. 1993]. Tulipalon syttymistä tarkastellaan neljässä eri tilassa: makuuhuoneissa (kaksi erikokoista), olohuoneessa sekä keittiössä. Palohuoneen oven oletetaan olevan auki näissä laskuissa, sillä palohuoneen (ei olohuone) oven ollessa kiinni palo tulee nopeasti happirajoitteiseksi eikä tila todennäköisesti kuumene niin paljoa, että huoneen ikkuna rikkoontuisi. Asunnosta julkisivulle pääsevien palojen osuutta kaikista syttymistä voidaan arvioida tilastojen perusteella, joten tässä työssä mitoituspalojen oletetaan aina kykenevän rikkomaan palotilan ikkunat. Pienempiä paloja ei tässä työssä malliteta, sillä niiden kehittymiseen ei mahdollisella puujulkisivulla ole mitään vaikutusta. Simulaatioilla kuvataan kuumen kerroksen paksuutta ja lämpötilaa ja näistä tiedoista päätellään ikkunoihin kohdistuvan lämpörasituksen voimakkuutta ja sitä, kuinka nopeasti ikkunat rikkoutuvat. Koska kaikki tarkasteltavan kohteen huoneet ovat suurin piirtein samankokoisia, ei ikkunoiden särkymisajoina ole suurta eroa huoneiden välillä. Paljon enemmän ikkunoiden särkymiseen vaikuttavat satunnaiset tekijät, kuten ikkunan kiinnitys karmeihin, mahdolliset jännitykset lasissa, pienet säröt lasien reunoissa sekä palon kehittymisnopeus. Näitä epävarmuuksia mallitettiin Monte Carlo -tekniikalla.

Palohuoneen ikkunoiden särkymistä arvioidaan vyöhykemallin tulosten perusteella seuraavasti. Sisemmän ikkunan oletetaan rikkoontuvan silloin, kun palotila saavuttaa 500 °C:n lämpötilan ja ulomman ikkunan keskimäärin kolme minuuttia tämän jälkeen. Ikkunan särkyminen on varsin satunnainen tapahtuma, eikä sille voida antaa mitään tarkkaa aikaa. Tämän vuoksi ulomman lasin särkymisen ajankohtaa varioidaan siten, että sen tyypillisenä arvona on kolme minuuttia. Särkymisajankohdan jakauman kuvaamiseen käytettiin logaritmista normaalijakaumaa, joka on esitetty kuvassa 7.

Edellä oletettiin palotilana olevan huoneen tuuletusikkunan olevan kiinni. Mikäli ikkuna olisi auki, saisi palo hapetta avonaisesta ikkunasta riittävästi rikkoakseen ikkunan, vaikka palohuoneen ovi olisikin kiinni. Tässä työssä tätä tapausta ei tarkastella erikseen vaan tilanteen oletetaan kehittyvän samoin kuin tuuletusikkunan ollessa kiinni. Tässä työssä ei huoneiston ovien asennolla ole merkitystä palon leviämiselle julkisivulle, sillä työssä mallitetaan vain niitä paloja, jotka pääsevät julkisivulle. Tämä tehdään siten, että jokaisen käytetyn mitoituspalon oletetaan rikkovan palotilan ikkunat. Näiden palojen osuutta kaikista asunnossa syttyneistä paloista voidaan arvioida edellä kerrotun tilastoaineiston perusteella.



Kuva 7. Ikkunan särkymisajalle käytetty logaritminen normaalijakauma, jonka todennäköisin arvo on 3 minuuttia: a) jakauman todennäköisyysfunktio, b) jakauman kertymäfunktio.

### 3.3.2 Ulkoisen palon tuottama lämpörasitus

Ikkunoiden särkymisen jälkeen liekki pääsee rakennuksen ulkopinnalle. Ikkunasta ulos tulevan liekin vaikutusta julkisivuun ja palotilan yläpuoleisiin ikkunoihin arvioidaan käyttämällä Law'n ja O'Brienin [1981] esittämää Eurocode 1:ssä olevaa mallia [CEN 2002], joka antaa lieskahtaneen huonepalon ikkunasta ulos tulevan liekin korkeuden ja koon. Tässä mallissa lieskahtaneen huonepalon paloteho  $\dot{Q}$  (kW) määräytyy lausekkeesta

$$\dot{Q} = 3150 \left( 1 - e^{-0,036/O} \right) A_v \sqrt{h_{eq} (W/D)}, \quad (1)$$

missä  $h_{eq}$  on ikkunan korkeus (m),  $W$  huoneen ikkunaseinän leveys (m),  $D$  huoneen syvyys (m),  $A_v$  ikkuna-aukon pinta-ala ( $m^2$ ) ja  $O$  niin sanottu aukkotekijä,  $O = A_v \sqrt{h_{eq}} / A_t$ , missä  $A_t$  on huoneen seinien, katon ja lattian yhteenlaskettu pinta-ala ( $m^2$ ). Liekin korkeus  $L_L$  (m) mitattuna ikkunan yläreunasta saadaan lausekkeesta

$$L_L = h_{eq} \left( 0,0237 \left( \frac{\dot{Q}}{A_v \rho_g \sqrt{h_{eq} g}} \right)^{2/3} - 1 \right), \quad (2)$$

missä  $\rho_g$  on kuumen kaasun tiheys ( $kg/m^3$ ) ja  $g$  putoamiskiihtyvyys ( $m/s^2$ ). Tämä liekin korkeus vastaa kaasun lämpötilaa  $540 \text{ }^\circ\text{C}$ . Palava julkisivu lisää palotehoa huoneen ulkopuolella, ja tämä otetaan tässä työssä huomioon siten, että palavasta pinta-alasta tuleva paloteho lisätään ikkunasta ulos tulevaan palotehoon.

Law'n malli ei anna ikkunasta ulos tulevan palopatsaan lämpötilaa tätä ylempänä ikkunasta. Tätä tietoa kuitenkin tarvitaan laskettaessa ikkunasta ulos tulevan liekin vaikutusta palotilan yläpuoleisten kerrosten ikkunoihin. Tässä työssä ikkunasta ulos tulevan liekin aiheuttama lämpövuoto seinään lasketaan yhdistämällä Law'n malli Backin [Back ym. 1994; Lattimer 2002] esittämään seinän vieressä olevan palopatsaan seinään aiheuttamaan lämpövuon kokeelliseen lausekkeeseen. Back käyttää Heskestadin palopatsasmallia arvioimaan liekin korkeutta  $L_f$  (m) seinän vieressä seuraavasti:

$$L_f = 0,23 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1,02D, \quad (3)$$

missä  $D$  on palon halkaisija (m) ja  $\dot{Q}$  paloteho (kW). Tässä kokeellisessa työssä saatiin seinän vieressä palavan palon aiheuttamalle lämpövuolle seuraavassa esitettävät korrelaatiot. Lämpövuon suurin arvo  $q''_{\text{peak}}$  (kW/m<sup>2</sup>) riippuu palotehosta seuraavasti:

$$q''_{\text{peak}} = 200[1 - \exp(-0,09 \cdot \dot{Q}^{1/3})]. \quad (4)$$

Tätä maksimilämpövuota vastaavia arvoja mitattiin liekin alaosassa,  $z \leq 0,4L_f$ , liekin keskilinjalla, missä  $z$  (m) on liekin juuresta mitattu korkeus. Tätä ylempänä mitatut lämpövuot alkoivat pienetä. Liekin seinään aiheuttama vuo liekin keskiakselilla liekin juuresta mitatun etäisyyden funktiona saadaan korrelaatioista

$$q''_{cl} = q''_{\text{peak}} \quad z \leq 0,4L_f \quad (5)$$

$$q''_{cl} = q''_{\text{peak}} - \frac{5}{3} \left( z/L_f - 2/5 \right) (q''_{\text{peak}} - q''_{L_f}) \quad 0,4L_f < z \leq 1,0L_f \quad (6)$$

$$q''_{cl} = q''_{L_f} \left( z/L_f \right)^{-5/3} \quad z > 1,0L_f \quad (7)$$

missä  $q''_{L_f}$  on lämpövuoto (kW/m<sup>2</sup>) liekin kärjen korkeudella. Sovitettaessa Law'n ja Backin malleja yhteen, käytettiin Law'n mallin antamaa lämpövuota liekin kärjen korkeudella. Back on myös antanut seinään tulevalle lämpövuolle lausekkeet silloin, kun tarkastellaan lämpövuon suuruutta sivusuunnassa, eli he ovat antaneet lämpövuon keskiakselista mitatun vaakasuoran siirtymän funktiona. Tässä työssä tarkastellaan kuitenkin vain lämpövuota palopatsaan keskiakselilla, sillä tarkasteltavana on yläpuoleisiin ikkunoihin kohdistuvat maksimilämpövuot.

Työssä tehtävässä paloriskianalyysissä yläpuoleisten huoneistojen ikkunoiden oletetaan olevan kiinni. Mikäli yläpuoleisessa huoneistossa olisi tuuletusikkuna auki, tällöin asunnossa on todennäköisesti paikalla henkilöitä, jotka havaitsevat palon aistinvaraisesti ja kykenevät sulkemaan ikkunan. Mikäli palotilan yläpuoleisen huoneen tuuletusikkuna

on auki, ei julkisivumateriaalilla ole suurta merkitystä siihen mahdollisuuteen, että alakerran ikkunasta tuleva liekki tunkeutuisi avonaisesta ikkunasta sisään, sillä lieskahtaneen palon liekki ylettää varsin todennäköisesti joka tapauksessa seuraavan kerroksen ikkunan korkeudelle.

### **3.3.3 Palotilan yläpuoleisten ikkunoiden särkyminen**

Yhdistämällä edellä kuvatulla tavalla Law'n malli ja Backin malli keskenään voidaan arvioida palotilan yläpuoleiseen ikkunaan kohdistuva lämpövuoto. Tätä lämpövuotoa voidaan verrata Mowrerin [1998] tekemiin kokeisiin ikkunan hajoamisesta eri säteilytasoilla. Tässä työssä ikkunan rikkoontumisaika normitetaan lämpövuonon mukaan seuraavasti: 35 kW/m<sup>2</sup> suuruinen lämpövuoto rikkoo ikkunan nopeasti eli kolmessa minuutissa, eikä alle 10 kW/m<sup>2</sup> suuruinen lämpövuoto riko ikkunaa ollenkaan. Siitä tiedosta, että kolme minuuttia kestävä 35 kW/m<sup>2</sup> suuruinen lämpörasitus särkee ikkunan, saadaan ikkunan rikkoontumiseen vaadittava lämpöenergian määrä, josta pienempiä tehoja vastaavat rikkoontumisajat voidaan laskea.

Tässä työssä tarkastellaan huoneistopalon leviämistä palotilan yläpuoleisiin huoneistoihin ikkunoiden kautta. Tämän lisäksi mallilla tarkastellaan huoneistopalon leviämistä rakennuksen räystäs- ja kattorakenteisiin. Koska tarkasteltavassa esimerkkikohteessa matalaan yläpohjan onteloon levinnyt palo ei betonisen yläpohjan vuoksi aiheuta vaaraa alapuoleisille asunnoille, ei näitä riskejä tarkastella tutkimuksessa yhtä perusteellisesti kuin palon leviämistä ikkunoiden kautta yläpuoleiseen asuntoon. Yläpohjan onteloon levinnyt palo aiheuttaa kylläkin taloudellisia vahinkoja, joita voidaan tarvittaessa pienentää jakamalla yläpohja osiin tai vaikeuttamalla liekkien pääsyä räystään kautta sinne.

### **3.3.4 Vertailu koetuloksiin**

Käytettyjä malleja on verrattu koetuloksiin liitteessä C. Käytettyä palon leviämisen mallia verrattiin VTT:ssä 1990-luvulla tehtyihin kokeisiin sekä Saksassa vuoden 2003 syksyllä tehtyihin täyden mittakaavan kokeisiin. Lisäksi liitteessä verrataan Saksassa tehtyjä kokeita alustavasti FDS3-kenttämalliohjelman antamiin tuloksiin. Käytetyn mallin havaitaan ennustavan täyden mittakaavan kokeessa saadut tulokset varsin hyvin. On huomattava, että mallin ennusteet laskettiin ennen kuin täyden mittakaavan koe tehtiin.

### 3.4 Ajasta riippuva tapahtumapuumalli

Edellä kerrotuista simuloinneista ja malleista saadaan johdettua palon leviämisen aika-kehitys. Tätä pitää verrata palokunnan toimintaedellytyksiin. Tämä tehdään tässä tutkimuksessa käyttämällä VTT:ssä kehitettyä ajasta riippuvaa tapahtumapuumallia (ARTP) [Hietaniemi ym. 2002; Korhonen ym. 2003]. Malli eroaa normaalista ajasta riippumattomasta tapahtumapuumallista siten, että siinä tehdään tapahtumapuu monelle eri ajanhetkelle ja nämä puut yhdistetään tämän jälkeen käyttämällä todennäköisyyslaskennan sääntöjä. Tämä mahdollistaa sen, että eri ajanhetkiin liittyvissä tapahtumapuissa voidaan käyttää eri haarautumistodennäköisyyksiä toisin kuin perinteisessä tapahtumapuumanalyysissa, jossa joudutaan valitsemaan jokin sopiva ajanhetki.

Menetelmällä saadaan kuva siitä, paljonko tulipaloihin liittyvät riskit puujulkisivuisessa talossa eroavat vertailutapauksesta (eli talossa alkuperäinen pesubetoninen julkisivu). Palokunnan toiminnan lisäksi mallilla voitaisiin myös tarkastella eri paloturvallisuustoimenpiteiden, kuten paloilmottimen ja automaattisen sammutusjärjestelmän, vaikutusta paloriskeihin.

#### 3.4.1 Tapahtumapuun rakenne

Tapahtumapuun rakenne esitetään kuvassa 8. Tällä puulla voidaan arvioida palon ajalista kehittymistä eli sitä, milloin palo saadaan hallintaan ja sammutettua. Kun tapahtumapuun eri haaroihin lisätään syntyneiden vaurioiden suuruudet eri ajanhetkinä, saadaan kuhunkin paloskenaarioon liittyvien tuhojen todennäköisyydet laskettua. Tällä tapahtumapuulla voidaan käsitellä alkusammutus, automaattisten sammutuslaitoksien toiminta sekä palokunnan sammutustoiminta. Palo voidaan havaita aistinvaraisesti, automaattisella paloilmottimella tai sammutuslaitoksen aktivoitumisella. Koska tässä työssä tarkastelukohteina olevissa rakennuksissa ei ole sprinklereitä eikä automaattisia paloilmottimia, näitä vastaavien tapahtumapuun haarojen todennäköisyydet ovat nolliä kaikilla ajan hetkillä.

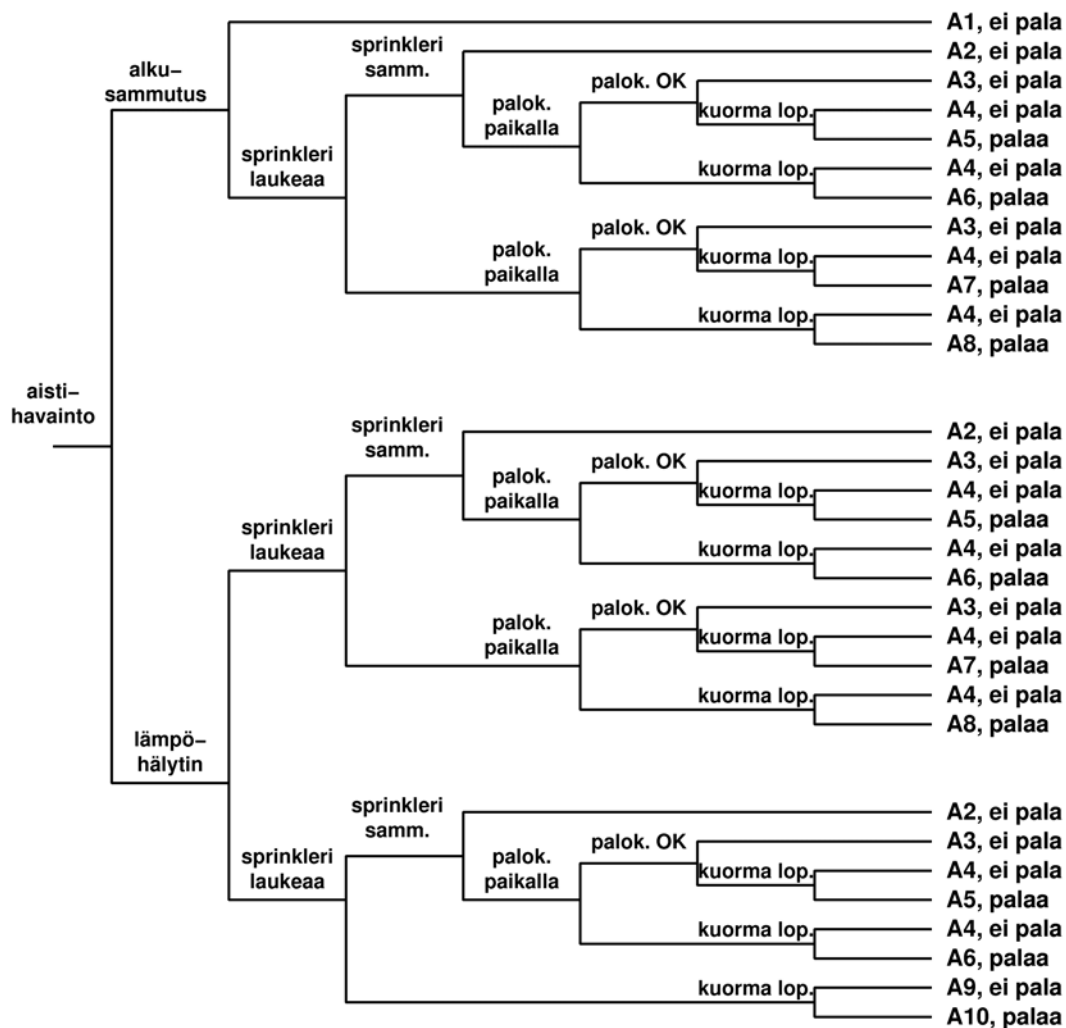
Tapahtumapuun alkutapahtuma on vakiintunut syttymä, jonka esiintymistaajuus saadaan palotilastoista. Ensimmäinen haara on aistinvarainen havainnointi, jota seuraavat mahdollinen alkusammutus, automaattisen sammutusjärjestelmän toiminta sekä palokunnan toiminta. Asunnoissa nykyisin pakollisena olevan palohälyttimen aktivoituminen sisällytetään aistinvaraisen havainnoinnin haaraan, sillä palohälyttimen äänisignaali havaitaan aistein ja tästä eteenpäin tapahtumat etenevät samalla tavoin kuin tapauksessa, jossa asukas havaitsee palon suoraan. Mikäli rakennuksessa olisi automaattinen paloilmottin, tämä huomioitaisiin tapahtumapuussa seuraavasti: automaattinen havainnointi huomioidaan vain, mikäli se tapahtuu ennen aistinvaraista havainnointia (eli oletetaan, että

jos ihminen on havainnut palon, ei automaattisella hälytyksellä ole enää vaikutusta tapahtumien kulkuun). Automaattisen hälytyksen jälkeen ei ole alkusammutushaaraa, vaan sitä seuraavat suoraan automaattiseen sammutusjärjestelmään ja palokuntaan liittyvät haarat. Tapahtumapuun viimeisenä haarana kaikkien sammutustoimenpiteiden jälkeen on vielä palon hiipuminen palokuorman loppuun palamisen johdosta.

Osa ajasta riippuvien tapahtumapuiden haarautumistodennäköisyyksistä voidaan mallittaa laskennallisilla työkaluilla sen jälkeen, kun käytettävät oletetut palonkehitykset on valittu. Tässä työssä ei tyydytä käyttämään kutakin paloskenaariota kohden vain yhtä oletettua palonkehitystä vaan käytetään suurta joukkoa palonkehityksiä, joiden parametrit poikkeavat jonkin verran keskimääräisestä palonkehityksestä. Tehdään siis ns. Monte Carlo -simulointia, jolloin eri parametrien väliset korrelaatiot saadaan näkyviin ja samalla saadaan tehtyä myös herkkyystarkastelu näiden muunneltavien simuloinnin syöteparametrien suhteen. Osa haarautumistodennäköisyyksistä arvioidaan tilastojen ja muiden tietojen perusteella, kuten alkusammutuksen onnistuminen sekä palon havainnoinnin nopeus.

### **3.4.2 Palon havainnointi ja alkusammutus**

Palon oletetaan alkavan samalla syttymistäajuustiheydellä kaikissa rakennuksen tiloissa, eli kerroksella eikä myöskään huonetilalla oleteta olevan tähän merkitystä. Tilastojen (ks. liite A) avulla arvioitiin tulipalon havainnoinnin nopeutta sekä alkusammutuksen osuutta palojen kehittymisessä. Aistinvaraista havainnointia huoneistopaloissa on vaikea mallittaa, joten havainnointi jaetaan kahteen eri kategoriaan: 1) Nopea havainnointi, jolloin asunnossa hereillä oleva aikuinen yrittää alkusammutusta ja hälyttää palokunnan puhelimitse (havainnointiaika luokkaa minuutti tai pari, puhelimella soitetun hätäilmoituksen käsittelyyn yksi minuutti). 2) Asunto tyhjillään tai asukas nukkuu sikeästi, jolloin palo havaitaan vasta silloin, kun palo rikkoo palotilan ikkunat. Käytännössä tässä tapauksessa palokunta ei ehdi vaikuttamaan palon leviämiseen yläpuoleiseen asuntoon, eli näissä paloissa palo pääsee aina julkisivulle saakka ja tällöin julkisivun ominaisuudet vaikuttavat aina palonkehitykseen. Nopeasti havaituista paloista osa sammuu alkusammutukseen ja osan palokunta ehtii sammuttamaan ennen kuin palo leviää rikkoontuneista ikkunoista julkisivulle.



Kuva 8. Palotilanteen ajallisen kehityksen tarkasteluun käytettävä tapahtumapuu. Tulipalon kesto-aika jaetaan useaan eri aikajaksoon ja kullekin aikajaksolle muodostetaan kuvan mukainen tapahtumapuu. Nämä eri ajanjaksoihin liittyvät tapahtumat liitetään yhteen kuvaamalla tilanne Markovin prosessina, jolloin mahdollisten todennäköisyyksien käsittely saadaan muutettua Markovin ketjun siirtomatriisien kertolaskuksi.

Palon jaottelu hitaasti ja nopeasti havaittuihin paloihin tapahtuu tilastoanalyysin perusteella. Kaikista asuinkerrostalojen sisällä syttyneistä paloista oli 74 % rajoittunut palon syttymishuoneistoon palokunnan tullessa paikalle, eli nämä palot eivät päässeet julkisivulle saakka. Tämän perusteella 70 % paloista oletetaan havaittavan nopeasti, joten 30 % paloista havaitaan hitaasti eli ainakin tämä osuus paloista pääsee tapahtumapuumallissa julkisivulle. Mallissa myös osa nopeasti havaituista paloista pääsee julkisivulle ennen palokunnan paikalle tuloa, joten käytetyt mitoituspaloit ovat vaarallisempia kuin

todellisuudessa esiintyvät palot, joista osa on hyvinkin pieniä paloja. Tämä otetaan huomioon tuloksia käsiteltäessä normittamalla mallin antamat tulokset palotilastoihin. Palon havainnointinopeuteen vaikuttavat rakennukseen asennetut palohälyttimet ja -ilmaisimet. Niiden vaikutus voidaan ottaa yksinkertaisesti huomioon lisäämällä tai vähentämällä nopeasti havaittujen palojen osuutta. Esimerkkikohteessa käytetyssä havainnointijaottelussa on oletettu, että kohteen varustelu ei eroa normaalista tapauksesta eli että kohteessa ei ole muita kuin huoneistokohtaisia (paristokäyttöisiä) savuhälyttimiä.

Alkusammutuksen on raportoitu sammuttaneen 14 % paloista ja rajoittaneen palonkehitystä 8 %:ssa paloista. Tämän perusteella tutkimuksessa oletetaan alkusammutuksen sammuttavan 25 % nopeasti havaituista paloista, jolloin alkusammutus sammuttaa siis 17,5 % kaikista sisällä syttyneistä paloista.

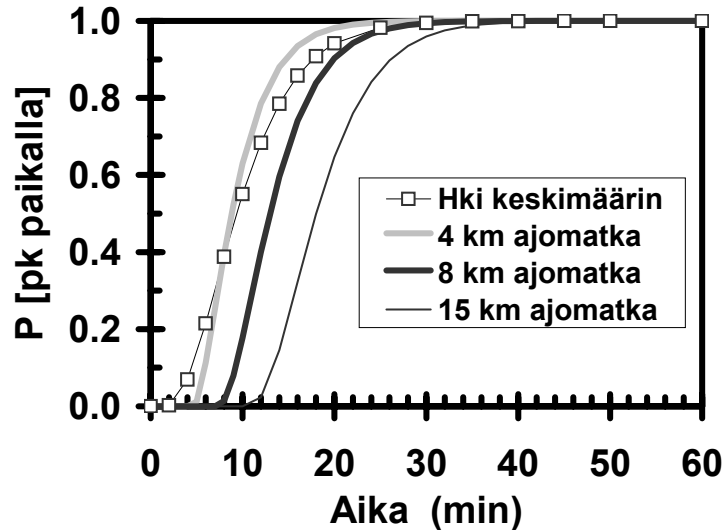
### **3.4.3 Palokunnan toiminta**

Palokunnan ajoaika palopaikalle sekä palokunnan lähtövalmiusaika mallitetaan VTT:ssa tehdyn tilastoanalyysin [Tillander & Keski-Rahkonen 2000] perusteella. Näihin aikoihin on vielä lisättävä palokunnan palopaikalla kuluttama selvitysaika ennen kuin pelastus- ja sammutustoimenpiteet alkavat. Palokunnan selvitysjan mallittaminen ei ole asuin-kerrostaloille yksinkertaista. Kirjallisuudesta löytyy Lontoon palotilastoihin perustuva, muita kuin asuinrakennuksia koskeva tutkielma [Särdqvist 1998], mutta sen havaintoja ei voida suoraan käyttää asuin-kerrostaloissa. Tämän vuoksi tutkimuksessa ei käytetä kilometrikselistoa verrattaessa keskenään eri etäisyydellä lähimmältä paloasemalta sijaitsevia kerrostaloja. Kohteen etäisyys kerrotaan arvioitujen sammutustoimenpiteiden alkamisajan mukaan, jolloin selvitysaikana on käytetty edellä kerrottua Lontoon palotilastoista saatavaa arviota. Esimerkkikohteesta matkaa lähimmälle paloasemalle, joka on Mellunkylän pelastusasema Itä-Helsingissä, on noin 8 km. Ensimmäisen yksikön oletetaan saapuvan täältä. Myös Kallion pääpelastusasemalta ajoaika on samaa luokkaa, sillä sieltä ajomatka kohteeseen on 10 km.

Palokunnan oletetaan onnistuvan rajaamaan palon niihin palo-osastoihin, joihin palo on ehtinyt levitä palokunnan sammutustoimien alkaessa, sillä tarkasteltavat rakennukset ovat P1-paloluokan rakennuksia. Palokunnalla voi olla ongelmia rajoittaa tulen etene- mistä kuitenkin tapauksissa, joissa tuli on päässyt leviämään kattorakenteisiin, jolloin palo voi levitä niitä pitkin koko ullakon leveydelle. Tästä ei yleensä aiheudu suurta vaaraa talon asukkaille, sillä tarkasteltavissa rakennuksissa on ylimmän asuin-kerroksen katon tyypillisesti ontelolaatta tai teräsbetonilaatta, jonka päällä mahdollisesti paloon osallistuvat kattorakenteet ovat.



Kuvassa 9 on esitetty palokunnan sammutuksen alkamishetki laskettuna palokunnan hälytyksestä. Näihin aikoihin on vielä lisättävä aika tulipalon syttymisestä sen havaitsemiseen ja lisäksi vielä hälyttämiseen kuluva aika (soitto hälytyskeskukseen). Helsingin pelastusyksiköiden keskimääräisen toimintavalmiusajan lisäksi on kuvassa esitetty myös pelastusyksiköiden saapumisajat silloin, kun tarkastellaan jotakin tiettyä rakennusta, jolloin palokunnan ajomatka tiedetään.



Kuva 9. Helsingin pelastusyksiköiden toiminta-ajat. Neliöillä on merkitty Helsingin pelastusyksiköiden toimintavalmiusaika ja yhtenäisillä viivoilla lähtövalmiusaika lisättynä eri ajomatkoja vastaavilla ajoajoilla. Lisäksi kaikkiin jakaumiin on lisätty palopaikalla kuluva aika saapumisesta sammutuksen aloittamiseen. Musta paksu viiva kuvaa esimerkkikohdetta (palokunta 8 km päässä).

### 3.4.4 Palokuorma

Palon katsotaan alkavan hiipua, kun 70 % palokuormasta on palanut. Tällöin liekit eivät enää tule ulos rikkonaisesta ikkunasta. Palokuorman tiheyden oletetaan olevan jakautunut Gumbelin jakauman mukaan keskiarvona 780 MJ/m<sup>2</sup> ja 80 % fraktiilina 948 MJ/m<sup>2</sup> [CEN 2002]. Maksimipaloteho arvioidaan palotilan pinta-alan mukaan. Keskimääräisen palotehon (per pinta-ala) oletetaan olevan 250 kW/m<sup>2</sup> asuinrakennuksille [CEN 2002]. Koska tarkasteltavassa esimerkkikohteessa vaaralliset ikkunasta ulos tulevat huoneistopalot ovat happirajoitteisia, määräytyy paloteho Law'n mallin yhtälön (1) mukaisesti. Tehdyissä Monte Carlo -simuloinneissa tämän annettiin kuitenkin vaihdella välillä –20 % ja +50 %, sillä ikkunasta ulos tulevien liekkien koko riippuu monista eri tekijöistä,

kuten polttoaineen laadusta ja sen sijoittelusta huoneessa sekä palotilan ilmanvaihtoon liittyvistä tekijöistä, joita Harmathy on tutkimuksessaan käsitellyt [Harmathy 1980/81]. Hän on kerännyt selluloosapohjaisten palokuomien palamisnopeuksia täysin kehittyneissä huonepaloissa ja tutkinut niiden vaihtelua. Tämän tutkimuksen perusteella tiettyyn aukkotekijään liittyvien palamisnopeuksien oletettiin vaihtelevan edellä mainitulla välillä.

### **3.5 Mallin antaman riskitason normitus**

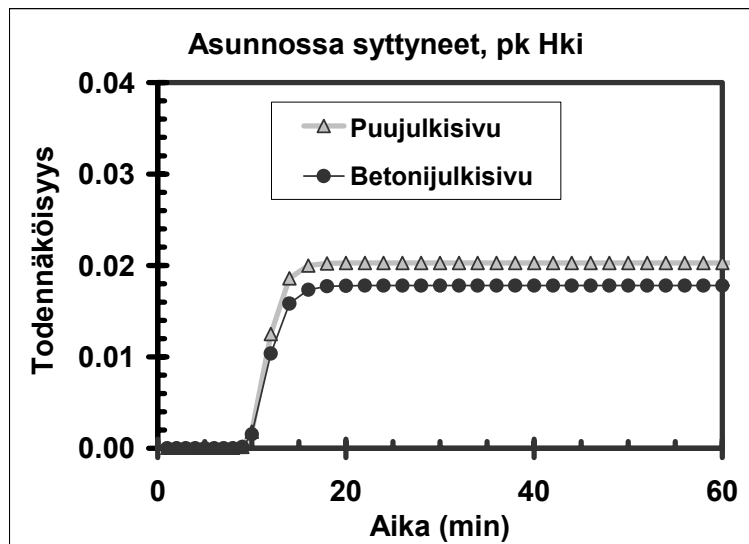
Koska riskitarkastelussa on vaikea arvioida kohteen riskien absoluuttisia arvoja, tässä tutkimuksessa normitetaan laskettujen riskien suuruus olemassa olevaan keskimääräiseen riskitasoon, joka voidaan arvioida tilastoista. Laskettujen riskien normituksessa palokunnalle käytetään Helsingin pelastusyksiköiden toimintavalmiusaikaa. Tämä vastaa riittävän hyvin palokuntien toimintaa suurissa kaupungeissa, joissa sijaitsee suurin osa asuinkerrostaloista. Pienemmissä kunnissa ja kaupungeissa asuinkerrostalot ovat tyypillisesti keskustoissa tai niiden välittömässä läheisyydessä, jolloin palokunnan ajo-matka on yleensä varsin lyhyt. Näin Helsingin tietoja käyttämällä normitetun riskitason voidaan katsoa vastaavan tilastaselvityksestä saatavia arvioita palon leviämisen yleisyydelle asuinkerrostalopaloissa.

Koska käytettävät mitoituspaloit ovat varsin voimakkaita eli ne kaikki rikkoisivat palotilan ikkunat saadessaan kehittyä vapaasti, malli antaa ikkunat rikkovia paloja lukumääräisesti paljon enemmän kuin tilastoista voidaan arvioida näitä paloja olevan. Paloista 3 %:n oli raportoitu levinneen useisiin palo-osastoihin, ja 2 %:ssa mainittiin palon rikkoneen ikkunoita. Täten siis noin 5 % paloista voidaan olettaa olevan paloja, jotka ovat päässeet julkisivulle saakka. ARTP-mallissa tämä otettiin huomioon siten, että sisällä syttyneiden palojen syttymistaajuutta pienennettiin niin paljon, että malli antoi ikkunat rikkovien palojen osuudeksi viisi prosenttia käytetyistä mitoituspaloista. Palokunnan toiminnan vaikutusta arvioitiin käyttämällä Helsingin pelastusyksiköiden toimintavalmiusaikaa nopeasti havaituille paloille. Kaikki hitaasti havaitut palot rikkovat ikkunat käytetyn palon havainnointijaottelun määrittelyn mukaan.

#### **3.5.1 Huonepalon leviäminen yläpuoleisiin huoneistoihin**

Kuvassa 10 on esitetty ARTP-mallilla lasketut normittamattomat tulokset sille, että palo leviää ikkunoiden kautta ylöspäin. Mallissa on oletettu, että viisi prosenttia käytetyistä mitoituspaloista rikkoo palotilan ikkunat. Koska palokunnan toimintaa mallitettiin tässä käyttämällä toimintavalmiusaikaa, esittävät tulokset siis keskimääräistä tilannetta kerrostaloissa suurissa kaupungeissa. Koska huoneistopaloja on vuodessa keskimäärin

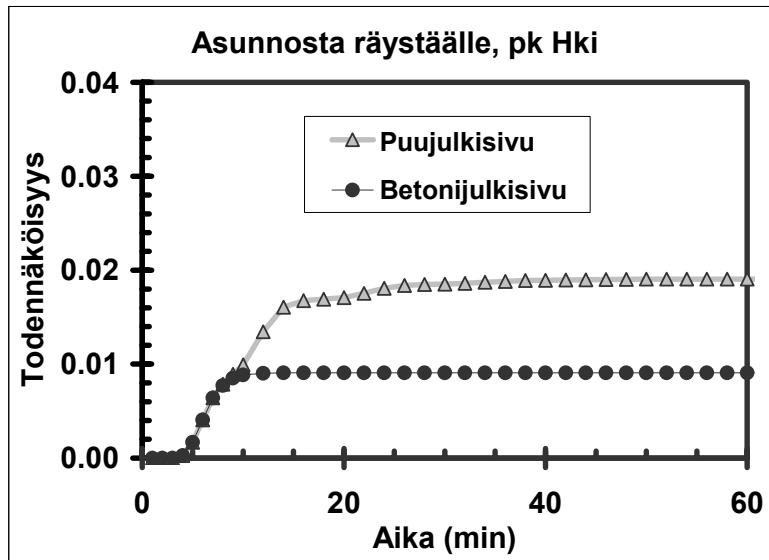
hieman yli 400 kappaletta, tuloksien mukaan pitäisi noin kymmenen palon levitä ikkunoiden kautta yläpuoleiseen asuntoon, mutta tilastoista löytyy tekijällä kymmenen vähemmän mainintoja palon leviämisestä tällä mekanismilla. Tämä merkitsee sitä, että tarkastelussa käytetyt mitoituspalot ikkunasta ulos tulevalle liekille edustavat pahinta kymmentä prosenttia palotapauksista. Siksi myöhemmin esitettävät käytetyllä mallilla lasketut tulokset esimerkkikohteen riskeille normitetaan tekijällä kymmenen pienemmiksi.



Kuva 10. Normittamaton todennäköisyys, että yhtiä huoneistossa syttyvää paloa kohden tuli leviää ikkunoiden kautta yläpuoleiseen asuntoon.

### 3.5.2 Huonepalon leviäminen räystäälle

Kuvassa 11 on esitetty normittamaton todennäköisyys huoneistopalon leviämiseksi räystäälle, kun palo pääsee leviämään ikkunoiden kautta julkisivulle. Tulokset on laskettu kuten edellä, eli palokunnan toiminta on kuvattu käyttämällä Helsingin toimintavalmiusaikaa. Todennäköisyys palon leviämiseksi räystäälle on samaa suuruusluokkaa kuin palon leviämisen todennäköisyys yläpuoleiseen huoneistoon, sillä mallissa ylimmässä kerroksessa syttyvä palo ikkunat rikkoessaan käytännössä aina leviää räystäälle. Tämän vuoksi käytetään palon räystäälle leviämisen normituksessa samaa tekijää kymmenen kuin edellä tarkasteltaessa palon leviämistodennäköisyyttä yläpuoleiseen asuntoon. Näille kahdelle eri leviämistapaukselle ei ole tarkoituksenmukaista määrittää kummallekin omaa normitustekijää, sillä havaintoja palon leviämisestä on vähän, jolloin tilastollisesti ei saataisi merkittävää eroa näiden kahden eri normitustekijän välille.



Kuva 11. Normittamaton todennäköisyys, että yhtä huoneistossa syttyvää paloa kohtaan tuli leviää räystäärakenteeseen. Mallissa ei ole otettu kantaa räystäään rakenteeseen eli siihen, mitä seurauksia palon etenemisellä räystäälle on. Esimerkkikohteessa on ylimmän kerroksen kattona olevan teräsbetoni-laatan yläpuolella matala ontelotila, jonka päällä on sisäänpäin kallistettu puurakenteinen vesikatto (ei ulkonevaa räystästä).

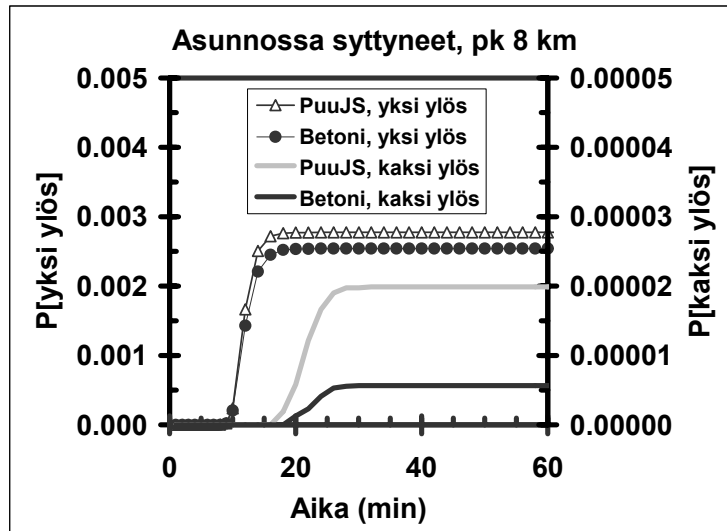
## 4. Tulokset esimerkkikohteelle

Tarkasteltava esimerkkikohte Helsingin Laajasalossa on noin 8 km:n päässä lähimmästä paloasemasta (Mellunkylän pelastusasema). Seuraavissa kohdissa on esitetty vertailu rakennuksen paloriskeistä ennen ja jälkeen korjausrakentamisen, jossa asennetaan puinen julkisivu pesubetonisen julkisivun tilalle tai sen päälle. Korjausrakentamisen yhteydessä tehtäviin kattorakenteiden muutoksiin ei oteta tässä juurikaan kantaa, sillä kuten aikaisemmin jo mainittiin, tarkasteltavan rakennuksen ylimmän kerroksen katto on tehty teräsbetonilaatoista, joten vesikattoon levinnyt palo ei pääse leviämään tämän laatan läpi alapuoleisiin asuntoihin.

### 4.1 Huonepalon leviäminen yläpuoleisiin huoneistoihin

Kuvassa 12 on esitetty palon leviämisen todennäköisyydet yläpuoleisiin asuntoihin. Puisen julkisivun nähdään lisäävän palon leviämisen todennäköisyyttä yläpuoleiseen asuntoon hieman (noin 9 %) verrattuna paloa levittämättömään julkisivuun. Vastaavasti palon leviämisen todennäköisyys suoraan kaksi kerrosta ylöspäin kasvaa noin 3,5-kertaiseksi. Puisen julkisivun lisääminen kohteeseen korjausrakentamisen yhteydessä näyttää siis lisäävän hieman kohteen paloriskejä, mutta tätä lisäystä pitää arvioida muiden tekijöiden, kuten palokunnan toiminnan, vaikutukseen kohteen paloriskeihin, jotta nähtäisiin, onko tämä pieni muutos merkittävä. Puujulkisivun ominaisuuksilla, kuten mahdollisilla palokatkoilla, ei voida juurikaan vaikuttaa palon leviämiseen lieskahtaneesta huoneistosta yläpuoleiseen huoneistoon, sillä ikkunoiden välissä oleva osuus puisesta julkisivusta syttyy, oli siinä palokatkoja tuuletusraossa tai ei.

Puisen julkisivun asentamisen aiheuttama palon leviämisen todennäköisyyden lisäys on suuruusluokkaa yksi tapaus kerran kymmenessä vuodessa normitettuna koko Suomen asuinkerrostaloille. Vaikka siis kaikkien asuinkerrostalojen julkisivut tehtäisiin puusta, eroa ei voisi huomata tilastollisesti merkittävästi käyttämällä kymmenen vuoden palotilastoja. Sadan vuoden tilastoista tämä muutos olisi ehkä havaittavissa, sillä olettamalla, että vuodessa leviää yksi palo ylöspäin (eli noin 0,2 % kaikista asuinkerrostaloissa syntyneistä paloista), sadassa vuodessa puiset julkisivut lisäisivät keskimäärin kymmenen tapausta lisää paloa levittämättömien julkisivujen keskimääräiseen arvoon sata nähden.



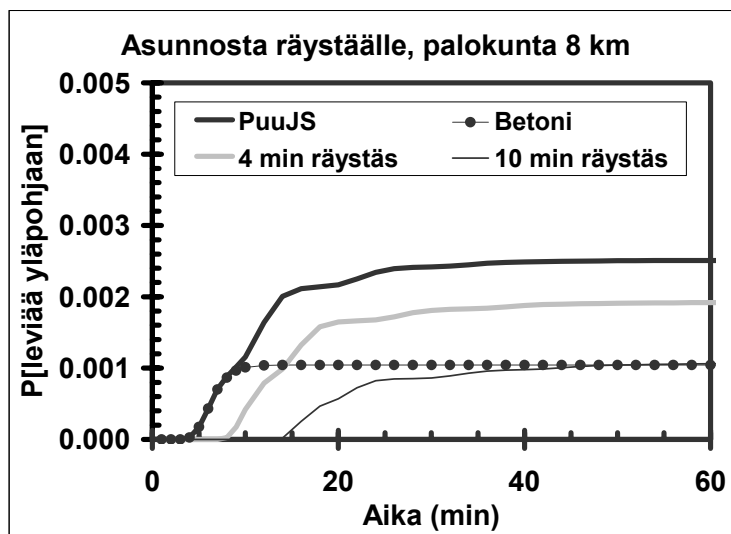
Kuva 12. Todennäköisyys, että yhtä huoneessa syttyvää tulipaloa kohden tuli leviää ikkunoiden kautta yläpuoleiseen asuntoon ("yksi ylös", vasemmanpuoleinen asteikko) tai kaksi kerrosta ylöspäin ("kaksi ylös", oikeanpuoleinen asteikko). Esimerkkikohde: palokunta 8 km:n päässä.

## 4.2 Huonepalon leviäminen räystäälle

Tarkastelukohteena olevan tyypillisen 1970-luvun betonirunkoisten P1-paloluokan asuinkerrostalon kattorakenteet eivät muodosta uhkaa alapuoleisille asunnoille, mikäli palo leviää kattorakenteisiin, sillä ylimmän kerroksen kattona on teräsbetoninen laatta. Täten myöskään korjausrakentamisen yhteydessä mahdollisesti tehtävät kattorakenteen muutokset, kuten harjakaton tekeminen, eivät lisää alapuoleisten asuntojen paloriskejä. Palokunnan toimintaan ja palon aiheuttamiin aineellisiin vahinkoihin kattorakenteilla on vaikutusta, ja tällöin puisen julkisivun lisääminen voi lisätä näitä riskejä, etenkin jos rakennuksessa on tai siihen asennetaan ulkonevat räystäät. Esimerkkikohteessa on katolla ylimmän teräsbetonilaatan yläpuolella matala ontelo, jonka päällä on puurakenteinen vesikatto. Lieskahtaneisiin huoneistopaloihin liittyvien henkilöriskien suuruuteen ei puujulkisivun palon levittämismomenteilla tai rakennuksen räystäärakenteilla ole merkitystä.

Kuvassa 13 on esitetty normitetut todennäköisyydet palon leviämiseksi räystäälle, kun esimerkkikohteessa syttynyt lieskahtanut huoneistopalo on päässyt ikkunan rikottuaan julkisivulle. Tekemällä räystääs paloa pidättäväksi saadaan palon leviämisen todennäköisyyttä kattorakenteisiin pienennettyä, kuten kuvassa on esitetty puiselle julkisivulle. Paloa levittämättömän julkisivun tapauksessa palon leviämismekanismi yläpohjaan on varsin suoraviivainen: palo leviää pääasiassa silloin räystäälle, kun ylimmäisessä ker-

roksessa palaa. Puisen julkisivun tapauksessa myös toiseksi ylimmässä kerroksessa syntyneet palot etenevät varsin nopeasti räystäälle, sillä palotilan ikkunasta tuleva liekki pystyy varsin usein sytyttämään puisen seinän palamaan yläpuoleisen ikkunan yläpuolelta, jolloin palo pääsee etenemään seinää pitkin räystäälle. Alemmista kerroksista palon leviäminen räystäälle julkisivua pitkin kestää varsin pitkään, jolloin palokunta ehtii sammuttamaan suurimman osan näistä paloista ennen kuin ne ehtivät yläpohjan onteloon. Suunnittelemalla räystäas ja yläpohjan ontelotila tarkoituksenmukaisesti voidaan palon leviämisen todennäköisyyttä pienentää ja palon leviämisen aiheuttamia omaisuusvahinkoja vähentää.



Kuva 13. Todennäköisyys, että yhtä huoneessa syttyvää tulipaloa kohden tuli leviää räystäärakenteisiin. Puujulkisivun tapauksessa on tutkittu kolmea erilaista räystääsratkaisua: "PuuJS" – räystäs ei pidättele paloa, "4 min räystäs" – räystäs pidättelee paloa 4 minuuttia, "10 min räystäs" – räystäs pidättelee paloa 10 minuuttia. Vertailukohtana on talo ennen julkisivuremonttia (pesubetoninen julkisivu) mutta samanlaisella räystäällä ja katolla varustettuna kuin tapaus "PuuJS".

### 4.3 Ulkoiset syttymät

Tehdyn tilastaselvityksen (liite A) mukaan ulkoisten syttymien osuus on noin 10 % kaikista asuinkerrostalopaloista, ja näistä suurin osa (noin 80 %) syttyy parvekkeilla. Täten siis talon seinustalla syttyviä paloja, kuten roska-astiapalot, suurempi riski talon asukkaiden henkilöturvallisuudelle ovat parvekkeilla syttyneet palot, jotka aiheuttavat suoran uhan kyseiselle asunnolle ja siellä oleville henkilöille.

### 4.3.1 Seinustan syttymät

Esimerkkikohteessa seinustalla syttyneet palot eivät aiheuta vaaraa, että palo leviäisi räystäälle, mikäli talossa on paloa levittämätön julkisivu, kuten alkuperäiset pesubetoniset julkisivuelementit. Koska talo on 3–4-kerroksinen, tarvittaisiin huomattavan suuri määrä palavaa tavaraa rakennuksen seinän viereen, jotta liekit ylettäisivät tekemään tuhoa räystäällä. Tämä on hyvin epätodennäköistä, sillä kohteessa ei ole roskalaatikoita, roskakatosta taikka autokatosta seinien läheisyydessä. Mikäli taloon asennetaan puinen julkisivu, riski ikkunaseinustalla olevan palon leviämisestä räystäälle vastaa tilannetta, jossa ensimmäisessä kerroksessa oleva huoneistopalo rikkoo ikkunan ja pääsee sitä kautta julkisivulle. Kuvasta 13 nähdään, että kaukana räystään alapuolella syttyneet huoneistopalot (alin kerros, 3–4-kerroksinen rakennus) eivät juurikaan lisää riskiä palon leviämiselle räystään kautta yläpohjan onteloon. Palolta kuluu aikaa yli 15 (25) minuuttia levitä kaksi (kolme) kerrosta ylöspäin julkisivupalona, jolloin palokunta ehtii estämään leviämisen, mikäli rakennus ei ole hyvin kaukana paloasemasta. Ulkoisia paloja paljon suurempi riski yläpohjalle on rakennuksen ylimmässä kerroksessa syttyneen lieskahtaneen huoneistopalon leviäminen yläpohjan onteloon. Käytetyssä mallissa on oletettu, että julkisivun tuuletusraot on katkaistu.

Esimerkkikohteena olevan talon päädyissä ei ole ikkunoita, joten näillä seinustoilla syntyneisiin paloihin ei liity suurta riskiä. Mikäli taloon tehdään korjausrakentamisen yhteydessä harjakatto, omaisuusvahinkoriskin pienentämiseksi räystään rakenne on syytä tehdä tiiviiksi, jotta palo ei pääsisi leviämään yläpohjan onteloon. Leviämisen estäminen helpottaa myös palokunnan sammutustyötä ja lisää samalla siis sammutushenkilöstön työturvallisuutta kuten myös yläpohjan osastointi. Itse asiassa P1-paloluokan asuinkerrostaloissa saa nykyisenkin ympäristöministeriön ympäristöoppaan [Ympäristöministeriö 2003] mukaan tehdä umpipäädyn tai muun vastaavan ikkunattoman julkisivun osan kokonaan puusta, mikäli se ei ole rakennuksen ikkunallisessa sisänurkassa tai lähellä toista taloa. Esimerkkikohteen tapauksessa ei ole vaaraa palon leviämisestä naapurirakennuksiin, sillä ne ovat yli 8 m:n päässä sekä rakennuksen pääty- että sivuseinistä.

Talon seinustalla syttyneiden ulkoisten palojen leviäminen sisälle asuntoon on vähäinen riski verrattuna talon sisällä syttyviin huoneistopaloihin sekä parvekepaloihin verrattuna. Suurimman riskin nämä syttymät aiheuttavat silloin, kun palavaa tavaraa kasataan suoraan jonkin ensimmäisen kerroksen asunnon ikkunan alle. Tällöin palavan julkisivun aiheuttama lisäriski on samaa suuruusluokkaa kuin lieskahtaneen huoneistopalon tapauksessa, eli palavan seinämateriaalin vaikutus ikkunan särkymiseen ei ole tässä ratkaiseva tekijä. Esimerkkikohteessa on kellarikerros osittain tai kokonaan maan päällä, joten puinen julkisivu alkaa varsin korkealta, jolloin ei kovin pienellä ”nuotiolla ” saada puujulkisivua syttymään.



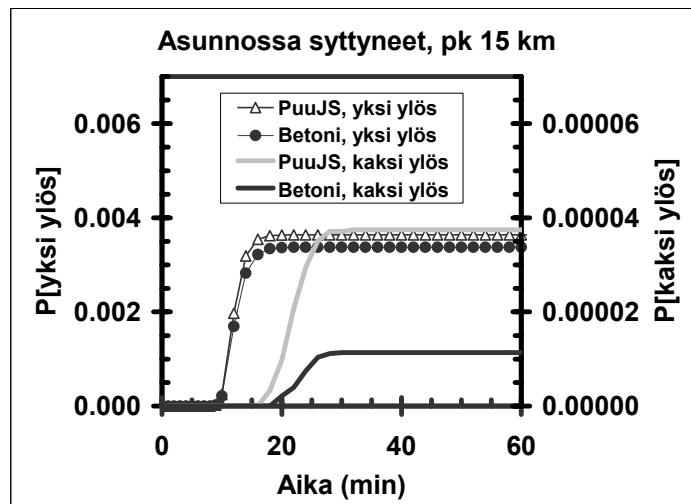
### 4.3.2 Parvekepalot

Esimerkkikohteen parvekkeissa on betoniset parvekekaiteet ja väliseinät. Mikäli korjausrakentamisen yhteydessä parvekkeiden kaiteita ei muuteta oleellisesti, parvekepalon leviämisen riski yläpuoleiselle parvekkeelle säilyy ennallaan. Arvioitaessa parvekepaloihin liittyviä riskejä on syytä muistaa, että SRMK:n osa E1 sallii parvekkeilla käytettävän esimerkiksi puuverhousta asunnon ja parvekkeen välisessä ulkoseinässä ja parvekkeen kaiteessa. Puisen julkisivun lisäriskinä paloa levittämättömään julkisivuun verrattuna on se, että parvekepalo saattaa sytyttää parvekkeen vieressä olevan julkisivun ja saada näin enemmän voimaa levitä ylöspäin. Tämä riski ei ole kuitenkaan suuri, sillä palo etenee hitaasti puujulkisivulla sivusuunnassa eikä julkisivun syttymä varsinaisen palopatsaan sivussa leviä ylöspäin nopeasti.

Tilastaselvityksessä ei tullut esille tutkittujen kuuden vuoden aikana yhtäkään mainintaa asuinkerrostalojen parvekepalloista, joissa palo olisi levinnyt ylöspäin. Kahdessa tapauksessa palon oli raportoitu levinneen sivusuunnassa. Suurempi parvekepaloihin liittyvä riski on se, että palot leviävät ikkunan tai oven kautta suoraan kyseiseen parvekkeeseen liittyvään huoneistoon. Tehdystä tilastotarkastelusta voidaan päätellä, että noin 10 % parvekepalloista levisi sisälle asuntoon tai särki asunnon ja parvekkeen välisiä ikkunoita, mihin liittyi siten palon mahdollisuus levitä asunnon sisäpuolelle. Nämä palot ovat suora uhka henkilöturvallisuudelle, eikä uhkaan ole muun julkisivun materiaalilla vaikutusta. Tämän vuoksi työssä ei käsitellä parvekepaloihin liittyviä riskejä tämän enempää. Näihin paloihin liittyviä riskejä on käsitelty tämän tutkimuksen kanssa rinnakkain tehdyssä toisessa tutkimuksessa [RTE 2003].

## 4.4 Esimerkkikohteen tulosten herkkystarkastelu

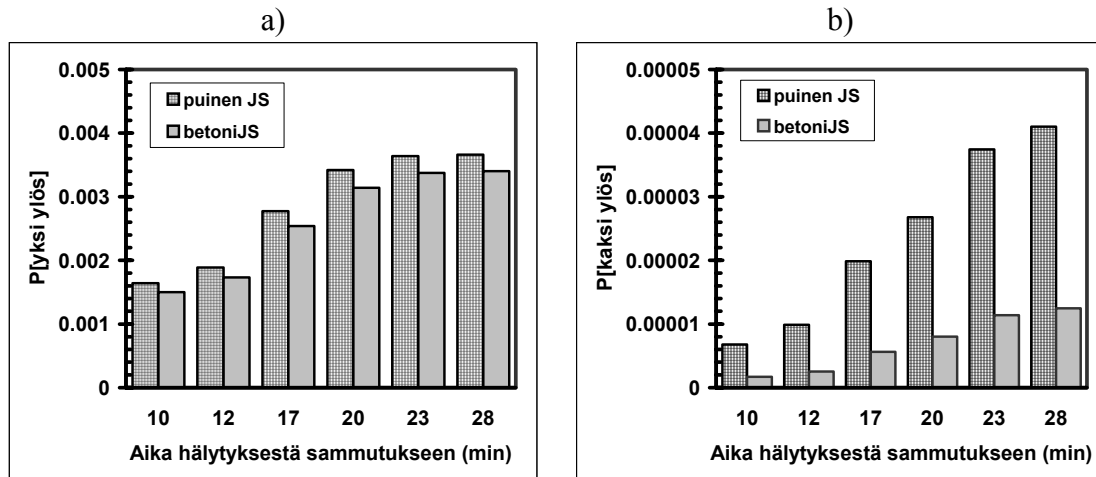
Kuvassa 14 on esitetty asunnossa syttyneen palon leviämistodennäköisyys yläpuoleiseen asuntoon laskettuna esimerkkikohteelle siten, että etäisyys palokuntaan on 15 km eikä 8 km (vrt. kuva 12). Nyt siis palokunnan ajoaika on pidempi, ja tällöin myös palon leviämisen todennäköisyydet kasvavat. Palon leviämisen todennäköisyys yläpuoleiseen asuntoon kasvaa runsaat 30 %, ja leviämisen todennäköisyys kaksi kerrosta ylöspäin kaksinkertaistuu verrattuna 8 km:n ajomatkaan. Puisen julkisivun ja paloa levittämättömän julkisivun suhteelliset todennäköisyydet eivät juurikaan muutu. Palon leviämisen todennäköisyys lisääntyy puisen julkisivun asentamisen takia yläpuoleiseen asuntoon 9 % verrattuna alkuperäiseen pesubetoniseen julkisivuun, kun palokunnan ajomatka on 8 km, ja 8 %, kun ajomatka on 15 km. Vastaavasti palon leviämisen todennäköisyys kaksi kerrosta ylöspäin on 3,5 kertaa suurempi puisella julkisivulla kuin paloa levittämättömällä julkisivulla, kun palokunnan ajomatka on 8 km, ja 3,3-kertainen, kun ajomatka on 15 km.



Kuva 14. Todennäköisyys, että yhtä huoneessa syttyvää tulipaloa kohden tuli leviää ikkunoiden kautta yläpuoleiseen asuntoon ("yksi ylös", vasemmanpuoleinen asteikko) tai kaksi kerrosta ylöspäin ("kaksi ylös", oikeanpuoleinen asteikko). Kohde on muutoin sama kuin tutkimuksessa käytetty esimerkkikohde, mutta palokunta on tässä tapauksessa 15 km:n päässä kohteesta.

Kuvassa 15 esitetään palokunnan ajoajan (tässä aika hälytyksestä sammutuksen aloittamiseen) vaikutus lieskahtaneen huoneistopalon leviämiseen yläpuoleisiin asuntoihin. Palokunnan ajomatkan vaikutus palon leviämiseen yläpuolella olevaan asuntoon on paljon suurempi kuin puujulkisivun lisäyksen aiheuttama leviämistodennäköisyyden kasvu. Tarkasteltaessa palon leviämisen todennäköisyyttä suoraan kaksi kerrosta ylöspäin (eli alkuperäisestä palohuoneistosta tuleva liekki yltää rikkomaan ikkunat kaksi kerrosta ylöspäin) puujulkisivun vaikutus näyttää olevan suurempi kuin palokunnan ajomatkan vaikutus. Tässä on syytä ottaa huomioon se, että leviämistodennäköisyys on kaksi kertaluokkaa pienempi kuin palon leviämisen todennäköisyys suoraan yläpuoleiseen asuntoon, joten tämän vaikutus rakennuksen paloriskeihin on marginaalinen. Tätä voidaan myös verrata todennäköisyyksiin, jolla palo etenee kerros kerrokselta ylöspäin, eli palo sytyttää ensiksi yläpuoleisen huoneen ja tämän huoneen palosta aiheutuvat liekit levittävät paloa edelleen seuraavaan kerrokseen. Nämä todennäköisyydet ovat 0,00033 puujulkisivulle ja 0,00027 pesubetoniselle julkisivulle esimerkkikohteen tapauksessa, joten tämä on todennäköisempi leviämismalli kaksi kerrosta ylöspäin kuin suoraan alkuperäisen palotilan ikkunasta tulevan liekin aiheuttama leviäminen, mutta tämäkin leviämistapa on hyvin epätodennäköinen. Tapaukset, joissa palo ehtisi levitä tällä mekanismilla kaksi kerrosta ylöspäin, liittyvät käytetyssä mallissa siihen, että palokunnan toimintavalmiusaikoja on mallitettu käyttämällä tilastollisia jakaumia, jolloin mallissa on mahdollista, että palokunta tulee palopaikalle hyvin myöhään. Tästä leviämismekanismista johtuva ero puujulkisivun ja paloa levittämättömän julkisivun välillä peittyi

palon leviämiseen suoraan yläpuoleiseen asuntoon liittyvien muutoksien, kuten palokunnan sijainnin aiheuttaman vaihtelun, alle. Täten esimerkkikohteelle lasketut suhteelliset palon leviämisen todennäköisyydet puu- ja pesubetoniselle julkisivuille eivät ole herkkiä palokunnan ajoajan suhteen eivätkä palokunnan palopaikalla käyttämän selvitysajan suhteen.



Kuva 15. Palokunnan ajoajan vaikutus esimerkkikohteen tuloksiin. a) Palon leviämistodennäköisyys kerros ylöspäin, b) palon leviämistodennäköisyys kaksi kerrosta ylöspäin. Palokunnan ajoajan vaikutus tuloksiin on suurempi kuin puisen julkisivun lisäämisen vaikutus. Palon leviämiseen kaksi kerrosta ylöspäin palokunnan ajoajan vaikutus on suurempi kuin leviämiseen seuraavaan kerrokseen, sillä leviäminen kaksi kerrosta ylöspäin tapahtuu myöhemmin kuin kerros ylöspäin, jolloin palokunta ehtii vaikuttamaan tilanteen kulkuun enemmän. Huomaa, että palon leviämisen todennäköisyys kaksi kerrosta ylöspäin on kaksi kertaluokkaa pienempi kuin kerros ylöspäin. (17 min vastaa edellä tarkasteltua esimerkkikohdetta.)

Esimerkkikohteelle saadut tulokset eivät ole myöskään herkkiä palon havaitsemisnopeudelle, joka käytetyssä mallissa jaettiin karkeasti kahteen eri luokkaan, nopeaan ja hitaaseen havainnointiin. Käytetyssä mallissa palon havaitsemisnopeus vaikuttaa samalla tavoin kuin palokunnan ajoaika, eli ne molemmat vaikuttavat siihen, milloin palokunta aloittaa sammutustoimet. Mikäli hitaan havainnoinnin osuutta kasvatettaisiin, tämä vastaisi palokunnan siirtoa hieman kauemmaksi kohteesta. Esimerkiksi nopeuttamalla palon havainnointia (olkoon 80 % tapauksista nopeasti havaittuja, kun luku edellä oli 70 %) saadaan tulos, jossa puu- ja pesubetonisille julkisivulle lasketut palon leviämistodennäköisyydet kerros ylöspäin pienenevät molemmat saman verran kuin edellä oli eroa puisen ja pesubetonisen julkisivun välillä.

## 4.5 Esimerkkikohteelle saatujen tulosten yhteenveto

Edellä esitettiin riskianalyysin antamat tulokset palotilanteille, joissa palo pääsee julkisivulle. Näitä ovat lieskahtaneet huoneistopalot, jotka rikkovat palotilan ikkunat, parvekepalot sekä ulkoiset syttymät rakennuksen seinustalla. Seuraavassa esitetään yhteenveto esimerkkikohteen paloriskeistä ja painotetaan niitä kohtia, joihin julkisivumateriaalilla on vaikutusta. Huomattavaa on, että pahimpaan palotapaukseen eli lieskahtaneeseen huoneistopaloon liittyvistä riskeistä suurimpaan osaan ei julkisivulla ole vaikutusta, sillä palotilassa syntyvä savu ja lämpö sekä mahdollisesti porrashuoneeseen päässyt savu aiheuttavat suurimman osan paloihin liittyvistä henkilövahingoista.

### 4.5.1 Palovahingot

Asuinhuoneistoissa syttyvät palot aiheuttavat lähes kaikki henkilövahingot (palokuolemat) asuinkerrostalojen tulipaloissa. Tyypillisesti palon uhrin löytyvät syttymisosastona olleesta asunnosta tai porrashuoneesta. Näihin vahinkoihin ei rakennuksen julkisivun materiaalilla ole vaikutusta. Myöskään porrashuoneessa (mm. tuhopoltot) syttyneiden palojen vaikutuksiin ei julkisivumateriaalilla ole merkitystä. Vastaavasti kerrostalon yhteisissä tiloissa (kellarit, saunat tms. tilat) syttyneiden palojen tapauksessa ei julkisivun materiaalilla ole vaikutusta henkilövahinkoihin. Ainoastaan silloin, kun sisällä syttynyt palo pääsee julkisivulle, on julkisivumateriaalilla vaikutusta.

Lieskahtaneen huoneistopalon päästessä julkisivulle palo voi levitä yläpuoleisiin asuntoihin ja vaarantaa siellä olevien henkilöiden turvallisuuden. Edellä esimerkkikohteelle tehdyssä riskitarkastelussa havaittiin, että puinen julkisivu lisää palon leviämisen todennäköisyyttä yläpuoleiseen asuntoon jonkin verran, mutta tämä lisäys on pieni verrattuna vaikkapa palokunnan toimintaedellytyksien muutoksiin. Lisäksi jäljempänä kohdassa 5.2 osoitetaan puisen julkisivun aiheuttaman riskin lisäyksen olevan vähäinen verrattuna moniin muihin rakennuksen ominaisuuksien, kuten huoneen muotojen ja kokojen, ikkunoiden ominaisuuksien yms., vaikutuksiin nähden. Julkisivumateriaalilla on suurempi vaikutus lieskahtaneen palon leviämiseen suoraan kaksi kerrosta ylöspäin, mutta se on kaksi kertaluokkaa harvinaisempaa kuin palon leviäminen yläpuoleiseen asuntoon, joten tähän liittyvät puisen ja pesubetonisen julkisivun eroavaisuudet ovat merkityksettömiä. Myös palon leviäminen monta kerrosta ylöspäin kerros kerrokselta on varsin harvinaista, ja tähän leviämismekanismiin pätevät tietenkin samat havainnot kuin palon leviämiseen yhden kerroksen ylöspäin. Toisin sanoen monilla muilla asioilla on enemmän vaikutusta palon leviämiseen kuin julkisivumateriaalilla.

Koska tarkasteltavassa esimerkkikohteessa vesikaton alla on teräsbetoni-laatta ylimmän asuinkerroksen kattona, ei kattorakenteisiin päässyt palo aiheuta vaaraa alapuoleisissa

asunnoissa oleville henkilöille, joten puisen julkisivun lisäämisen aiheuttamalla kasvulla palon leviämistodennäköisyyteen räystäälle ei ole vaikutusta asukkaiden turvallisuuteen. Sen sijaan tällä on vaikutusta pelastushenkilökunnan työturvallisuuteen sekä palosta syntyviin omaisuusvahinkoihin, minkä vuoksi on korjausrakentamisen yhteydessä mahdollisesti tehtävän kattoremontin aikana syytä kiinnittää huomiota räystään ja katon rakenteisiin. Puinen julkisivu lisää palon leviämisen todennäköisyyttä räystäälle saakka verrattuna palo levittämättömään julkisivuun nähden, joten lisättäessä puinen julkisivu pitää kattorakenteiden paloturvallisuutta lisätä etenkin, jos kohteeseen tehdään katto, jossa on ulkonevat räystäät (esim. muutetaan vanha katto harjakatoksi).

Mikäli korjausrakentamisen yhteydessä halutaan, että esimerkkikohteen henkilöturvallisuus paranee oleellisesti, on ensisijaisen tärkeää kohdistaa toimenpiteet asioihin, jotka vaikuttavat suoraan henkilöturvallisuuteen. Julkisivun materiaalilla on edellä esitetyn perusteella vain toissijainen vaikutus asuinkerrostalojen henkilöriskeihin. Helpoimpia turvallisuutta lisääviä toimenpiteitä ovat rakennuksen seinustan puhtaana pitämiseen vaikuttavat ratkaisut (roskakatokset kauaksi seinästä, ei autoja seinien viereen), porrashuoneiden pitäminen tavaroista vapaana (ei lastenvaunuja tms. välineitä) ja kellaritilojen pitäminen lukossa. Lisäksi paloista aiheutuvia vahinkoja voidaan vähentää monin teknisin laittein, kuten savunpoistojärjestelyt porrashuoneissa, paloilmoittimet ja automaattiset sammutusjärjestelmät. Huomattavaa on kuitenkin, että suurin syy palokuolemiin ovat sosiaaliset ja inhimilliset syyt, joihin ei voida helposti puuttua teknisin määräyksin.

Ulkoisten syttymien aiheuttamia palovahinkoja puisen julkisivun lisäämisen jälkeen voidaan pienentää hidastamalla palon leviämistä ylöspäin tuuletusraon palokatkoilla. Näin palon pääsy kattorakenteisiin hidastuu, ja palokunnalle jää enemmän aikaa sammuttaa palo ennen sen leviämistä mahdolliseen yläpohjan onteloon. Vastaavasti myös räystäärakenteilla voidaan hidastaa palon etenemistä yläpohjan onteloon. Näillä toimenpiteillä voidaan vähentää paloista aiheutuvia omaisuusriskejä.

#### **4.5.2 Esimerkkikohteen paloturvallisuusratkaisut**

Mikäli esimerkkikohteen kattorakenne (matala yläpohjan ontelo) muutetaan harjakatoksi ja pesubetoninen julkisivu korvataan puujulkisivulla (tai puujulkisivu asennetaan suoraan vanhan julkisivun päälle), pitää huomioida seuraavat asiat:

- Räystääs rakennetaan tiiviiksi (ks. kuva 6).
- Yläpohjan ontelotila osastoidaan.

- Roska- ja autokatokset eivät saa olla lähellä seinää eivätkä muutakaan kiinteää rakennelmaa seinien läheisyydessä. Nämä seikat voidaan laittaa rakennuslupaan ehdoiksi.

Mikäli kohteeseen asennetaan puinen julkisivu mutta kattorakenne jätetään entiselleen, pitää huomioida seuraavat asiat:

- Roska- ja autokatokset eivät saa olla lähellä seinää eivätkä muutakaan kiinteää rakennelmaa seinien läheisyydessä. Nämä seikat voidaan laittaa rakennuslupaan ehdoiksi.
- Mikäli kattorakenteita korjataan, samalla pitää yläpohjan ontelotila osastoida, jotta palon leviäminen rajoittuu ja sammutustoimet helpottuvat.

Mikäli kohteeseen asennetaan puinen julkisivu ja yläpohjan ontelo muutetaan tasakatoiksi, jossa ei ole ontelotilaa, pitää huomioida seuraava asia:

- Roska- ja autokatokset eivät saa olla lähellä seinää eivätkä muutakaan kiinteää rakennelmaa seinien läheisyydessä. Nämä seikat voidaan laittaa rakennuslupaan ehdoiksi.

Porrashuoneiden ikkunalliset ulkoseinät tulee tehdä pääsääntöisesti paloa levittämättömistä materiaaleista, joskin näissä voi olla puuta vähäisissä määrin. Asukkaiden henkiloturvallisuuden parantamiseksi porrashuoneisiin voidaan asentaa alhaalta laukaistavat savunpoistoluukut tai -ikkunat.

## 5. Tulosten yleistys

Edellä tarkasteltiin korjausrakentamisen yhteydessä betonirunkoiseen P1-paloluokan asuinkerrostaloon asennettavan puisen julkisivun vaikutusta tietyn Helsingissä sijaitsevan rakennuksen paloriskeihin. Tuloksista havaittiin, että palon leviämisen todennäköisyys yläpuoleisiin asuntoihin ja kattorakenteisiin kasvaa hieman, mikäli alkuperäisen julkisivun pinta muutetaan korjausrakentamisen yhteydessä puiseksi. Puisen julkisivun lisäämisen aiheuttamaa palon ylöspäin leviämisen todennäköisyyden kasvua verrattiin muun muassa palokunnan toiminnan edellytyksiin (ajomatka, palon havainnointinopeus) ja havaittiin, että näiden tekijöiden vaikutus palon leviämistodennäköisyyksiin on ainakin yhtä merkittävää kuin puisen julkisivun vaikutus.

Tarkasteltavana olevaan rakennustyyppiin kuuluvat talot eroavat toisistaan monin tavoin, ja näillä tekijöillä on vaikutusta myös palon leviämisen todennäköisyyksiin. Tämän vuoksi tässä kohdassa tarkastellaan muiden tekijöiden, kuten rakennuksen asuntojen geometrian, vaikutuksia laskettuihin palon leviämistodennäköisyyksiin. Todennäköisyyksiä tarkasteltaessa on muistettava, että suurin osa paloihin liittyvistä henkilövahingoista ei riipu julkisivumateriaalista, sillä vahingot syntyvät ennen kuin palo mahdollisesti pääsee leviämään asunnosta julkisivulle. Varsinkin lähiökerrostaloissa, jotka ovat tyypillisesti P1-paloluokan rakennuksia, henkilövahingot liittyvät palon syttymispaikana olevaan asuntoon ja siitä tyypillisesti porrashuoneeseen levinneeseen savuun.

Seuraavassa tarkastellaan, onko tarkastelukohteeksi valittuun rakennustyyppiin kuuluvien rakennuksien keskinäisillä eroavaisuuksilla merkitystä esimerkikohteen perusteella tehtyihin johtopäätöksiin, ja kerrataan esimerkikohteen erityispiirteet ja niiden merkitys tehtyihin tarkasteluihin ja johtopäätöksiin. Lähtökohtana seuraavissa tarkasteluissa on verrata puisen julkisivun aiheuttamia palon leviämisen todennäköisyyksien muutoksien suuruutta muihin rakennuksiin liittyvien erilaisuuksien aiheuttamiin muutoksiin leviämistodennäköisyyksissä.

### 5.1 Esimerkkikohteen erityispiirteiden vaikutus

Esimerkkikohteen päätyseinät ovat ikkunattomia, joten seinien julkisivut saataisiin tehdä ympäristöministeriön ympäristöoppaan [2003] mukaan kokonaan puusta. Tutkittaessa jotakin toista kohdetta pitää tarkastaa, onko kohteessa ikkunoita päätyseinissä ja onko rakennus riittävän kaukana naapurirakennuksista. SRMK:n osan E1 mukaan palo ei saa levitä helposti naapurirakennuksiin. Jos rakennuksien etäisyys on alle 8 m, pitää rakenteellisin tai muunlaisin keinoin rajoittaa palon leviämistä rakennuksesta toiseen sekä lisäksi vesikaterakenteen tulee olla sellainen, ettei se syty helposti naapuritalon palosta.

Mikäli rakennukset ovat niin lähellä toisiaan, että palon leviäminen on ilmeistä, on käytettävä palomuuria. Tästä perussäännöstä voidaan poiketa, jos samalla tontilla olevia rakennuksia voidaan käsitellä yhtenä rakennuksena eli jos niillä on sama paloluokka ja ne mahtuvat yhdessä E1:n rajoitusten piiriin. Nyt tarkastelukohteina olevat rakennukset ovat P1-paloluokan betonirunkoisia kerrostaloja, joten pinta-ala- tai henkilömäärärajoitukset eivät ole esteenä tälle menettelylle. Tällöin tavanomainen osastointi on riittävää, kun otetaan huomioon ulkoseinän epäsymmetrisyys sekä ikkunoiden vaikutus. Ympäristöministeriön [2003] oppaassa P3-luokan pientaloille annettuja ohjeita voidaan käyttää soveltuvin osin arvioitaessa ikkunoiden koon ja palonkestävyyden vaikutuksia palon leviämiseen. Samaten huomiota tulee kiinnittää rakennuksissa mahdollisesti oleviin sisänurkkiin, joita ei tarkastellussa esimerkikohteessa ollut.

Esimerkkikohteessa on porrashuoneissa ikkunalliset ulkoseinät, jotka ovat hieman siempänä kuin muu julkisivu. Tällöin porrashuoneiden ulkoseinä voidaan tehdä eri materiaalista kuin muu julkisivu ilman, että se rikkoisi julkisivun yhtenäisyyden. Koska porrashuoneen seinissä on ikkunoita, on julkisivu tehtävä pääsääntöisesti näissä kohdissa paloa levittämättömistä materiaaleista; tosin puuta voidaan käyttää näissä pinnoissa vähäisessä määrin.

Esimerkkikohteen vesikatto on räystäätön lievästi keskelle viettävä huopakate raaka-ponttilaudoituksen päällä, jonka alla on matala yläpohjan ontelo. Yläpohjarakenteen alla on teräsbetonilaatta, joka toimii ylimmän asuinkerroksen katonä. Täten ei ole vaaraa siitä, että yläpohjan ontelotilassa oleva palo leviäisi alapuoleisiin asuntoihin. Ulkonevien räystäiden puuttuminen pienentää lieskahtaneesta huoneistopalosta julkisivulle päässeen palon leviämiskä yläpohjan ontelotilaan. Mikäli rakennukseen asennetaan korjausrakentamisen yhteydessä harjakatto, jossa on ulkoneva räystäs, tulee räystäään ja yläpohjan rakenteisiin kiinnittää huomiota, jotta palon leviämisen riskiä yläpohjan onteloon voitaisiin rajoittaa ja näin välttyä kohtuuttomilta omaisuusvahingoilta, oli julkisivu tehty sitten puusta tai paloa levittämättömästä materiaalista.

## **5.2 Rakennuksen ominaisuuksien vaikutus**

Esimerkkikohteen huoneiden muotojen ja ikkunoiden kokojen vaikutusta saatuihin tuloksiin tutkittiin muuntelemalla kohteen huoneen muotoja ja ikkunoiden kokoja. Tämä tehtiin vertailemalla esimerkikohteen huoneiden lisäksi kolmea muuta huoneratkaisua, joissa kaikissa kunkin huoneen pinta-ala on sama kuin esimerkikohteessäkin mutta huoneen muotoa tai ikkunoiden kokoa on muutettu. Verrattavina ovat seuraavan tyyppiset asunnot: A) esimerkikohteen alkuperäiset huoneet, B) huoneiden pohja neliön muotoinen, ikkunat kuten esimerkikohteessä, C) huoneiden pohja kuten esimerkikohteessä mutta ikkunat huoneiden levyiset, D) huoneiden leveydet ja syvyydet vaihdettu kes-

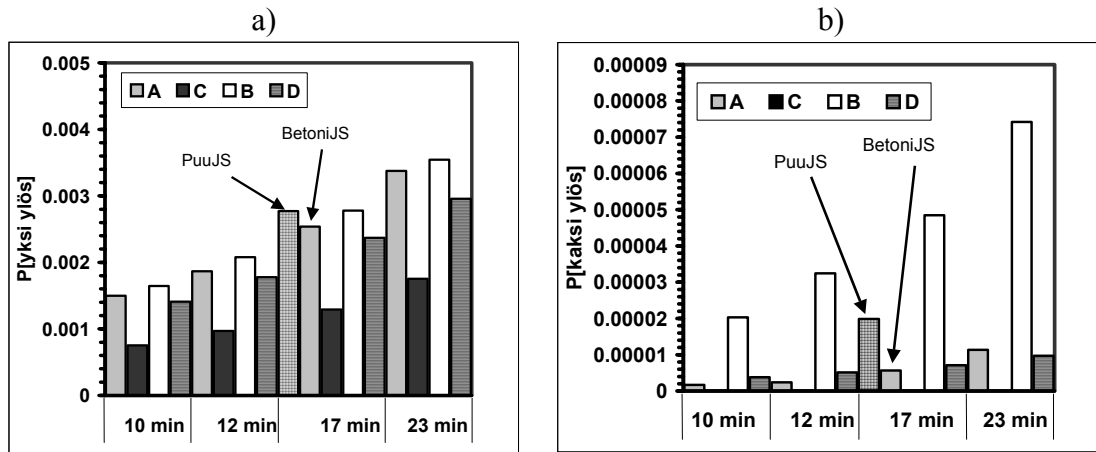


kenään, eli huoneet ovat leveitä sekä ikkunat kaksi kertaa leveämmät kuin esimerkki-kohteessa.

Kuvassa 16 on esitetty huoneiden geometrian vaikutus asunnossa syttyneen palon leviämisen todennäköisyyteen yläpuoleiseen asuntoon. Kuvassa on vertailtu edellä lueteltuja neljää eri huonetyyppiä paloa levittämättömillä julkisivuilla esimerkki-kohteeseen, johon on asennettu korjausrakentamisen yhteydessä puinen julkisivu. Kaikki kuvissa esitetyt vaihtoehtoiset rakennukset, joissa on paloa levittämätön julkisivu, ovat E1:n sallimia ratkaisuja ja käytetyt huoneiden muodot ja ikkunat ovat varsin mahdollisia ratkaisuja asuinkerrostalojen huoneille. Lasketuista palon leviämisen todennäköisyyksistä havaitaan, että puujulkisivun lisäyksen vaikutus palon etenemiseen ylöspäin on vähäistä verrattuna asuntojen geometrian muutoksiin.

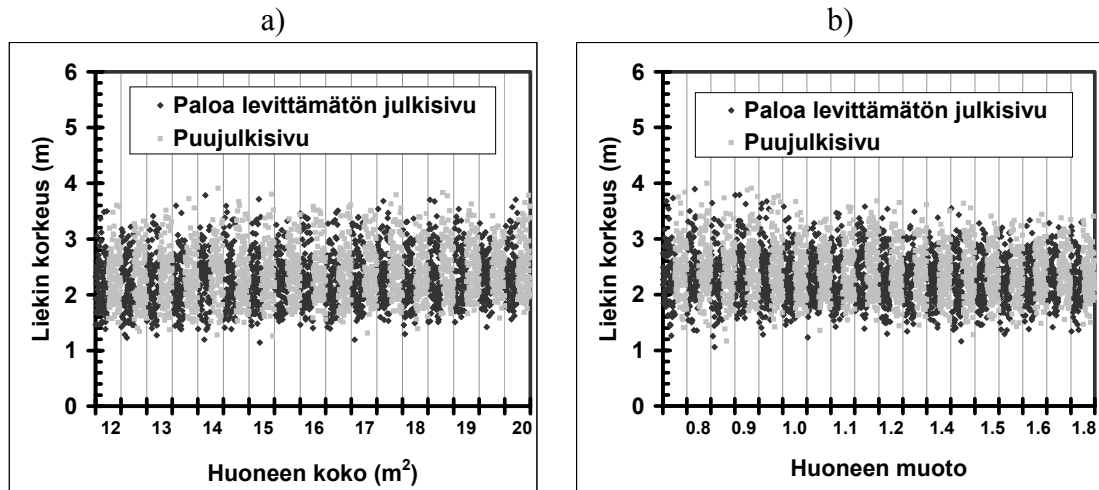
Valittu esimerkkihohde edustaa varsin tyypillistä 1960- ja 70-lukujen lähiörakentamista. Edellä esitettyjen riskianalyyysien tuloksien perusteella puinen julkisivu ei lisää merkittävästi esimerkkihohdeen kaltaisiin rakennuksiin liittyviä paloriskejä. Edellä on tulokset esitetty palon leviämistodennäköisyyksinä, joiden laskennassa on otettu muun muassa huomioon palokunnan toiminta, palon havainnointi ja alkusammutus sekä ikkunoiden särkyminen. Tarkasteltaessa palon leviämistä ylöspäin tärkein suure on ikkunasta ulos tulevan liekin korkeus, joka on verrannollinen palon leviämisen riskiin yläpuoleisiin asuntoihin. Tämän vuoksi seuraavassa keskitytään tarkastelemaan eri muuttujien vaikutusta liekin korkeuteen.

Liitteessä B on esitetty lyhyt tutkielma huoneen ominaisuuksien vaikutuksesta ikkunasta ulos tulevan liekin korkeuteen, minkä perusteella liekin korkeuteen vaikuttavista tekijöistä puisen julkisivun aiheuttama lisäys on pientä. Jotta eri muuttujien vaikutus liekin korkeuteen voitaisiin havainnollistaa, tässä tutkimuksessa tehtiin laskuja, joissa kiinnitettiin yksi asuntoihin liittyvä geometrinen suure tai jokin laskennallisen mallin parametri ja annettiin muiden muuttujien vaihdella järkevissä rajoissa (esim. huoneen koko 12–20 m<sup>2</sup>). Kutakin kiinnitettyä parametria kohden tehtiin sata laskua liekin korkeudelle sekä puiselle että paloa levittämättömälle julkisivulle siten, että muut parametrit saivat vaihdella.



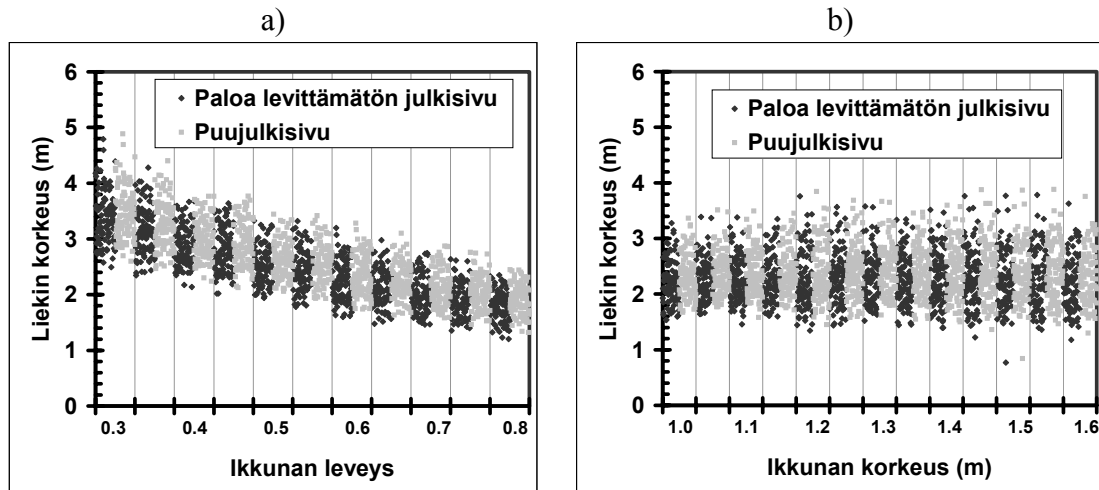
Kuva 16. Palokunnan ajoajan ja rakennuksen huoneiden geometrian vaikutus palon leviämistodennäköisyyksiin 3–4-kerroksisille P1-luokan betonikerrostaloille. a) Huonepalon leviämistodennäköisyys kerros ylöspäin, b) huonepalon leviämistodennäköisyys kaksi kerrosta ylöspäin. Esimerkkikohteen tulokset on merkitty kuvaan sekä ennen ("BetoniJS") että jälkeen ("PuuJS") puisen julkisivun lisäyksen. Esimerkkikohteen huoneiden ja ikkunoiden kokoja (A) on vaihdeltu seuraavasti: huoneet neliönmuotoisia mutta pinta-alat ennallaan (B), huoneet alkuperäisen muotoisia mutta ikkunat huoneen levyiset (C), huoneiden syvydet ja leveydet vaihdettu päittäin ja ikkunat kaksi kertaa leveämmät (D). Kuvassa olevat ajat vastaavat eri etäisyyksillä palokunnasta sijaitsevia kerrostaloja siten, että ajat vastaavat palokunnan keskimääräisiä sammutustoimien aloittamisaikoja mitattuna palokunnan hälytyshetkestä. Huoneiden geometriasta ja palokunnan sammutuksen aloitusajankohdasta johtuva vaihtelu palon leviämistodennäköisyyksiin on merkittävämpää kuin puisen julkisivun lisäyksestä aiheutuva vähäinen leviämistodennäköisyyden kasvu.

Kuvassa 17 on esitetty huoneen lattiapinta-alan sekä huoneen muodon (syvyys/leveys) vaikutus ikkunasta ulos tulevan liekin korkeuteen. Kuvista nähdään, että näillä suureilla ei ole suurta vaikutusta mallin antamaan liekin korkeuteen, eli palotilanteen ja mallin muihin suureisiin liittyvät vaihtelut aiheuttavat huomattavasti suurempia vaihteluita liekin korkeuteen. Lisäksi nähdään, että puisen julkisivun tapauksessa liekkien keskimääräinen korkeus ei eroa merkittävästi paloa levittämättömästä julkisivusta verrattuna liekin korkeuden muista syistä johtuvaan vaihteluun. Se, että huoneen muoto ja koko eivät vaikuta merkittävästi liekin korkeuteen, johtuu siitä, että esimerkiksi leveässä huoneessa on yleensä myös leveät ikkunat, jolloin nämä tekijät kompensoivat toisinaan. Mikäli leveässä huoneessa olisi kapea ikkuna, tulisi ikkunasta ulos korkea liekki, mutta ikkunan levetessä ulos tuleva liekki lyhenee.



Kuva 17. a) Huoneen lattiapinta-alan ja b) huoneen muodon vaikutus huoneen ikkunasta ulos tulevan liekin korkeuteen. Mustat pisteet ovat paloa levittämättömille julkisivuille ja vaaleanharmaat pisteet puisille julkisivuille. Huoneen koolla ei ole käytännössä vaikutusta liekin korkeuteen, kuten ei myöskään huoneen muodolla (huoneen muoto = syvyys/leveys). Kuvista nähdään myös, että puisen julkisivun vaikutus on vähäinen verrattuna muihin liekin korkeuteen vaikuttaviin tekijöihin.

Kuvassa 18 on esitetty ikkunan muodon vaikutus palohuoneesta ulos tulevan liekin korkeuteen. Kuvista nähdään, että ikkunan korkeuden vaikutus liekin korkeuteen on vähäistä mutta ikkunan leveydellä on selvempi vaikutus liekin korkeuteen. Palon leviämisen riskiä arvioitaessa on liekin korkeuden lisäksi otettava huomioon se, että korkean ikkunan tapauksessa yläpuoleisen ikkunan alareuna on lähempänä palotilan ikkunan yläreunaa, jolloin liekki ylettyy helpommin yläpuoleiseen ikkunaan, mikä lisää palon leviämisen todennäköisyyttä. Kuvista havaitaan myös sama asia kuin edellä, eli puinen julkisivu ei lisää merkittävästi liekin korkeutta verrattuna paloa levittämättömään julkisivuun, vaan muilla palotilanteeseen liittyvillä (satunnaisilla) tekijöillä on suurempi vaikutus.

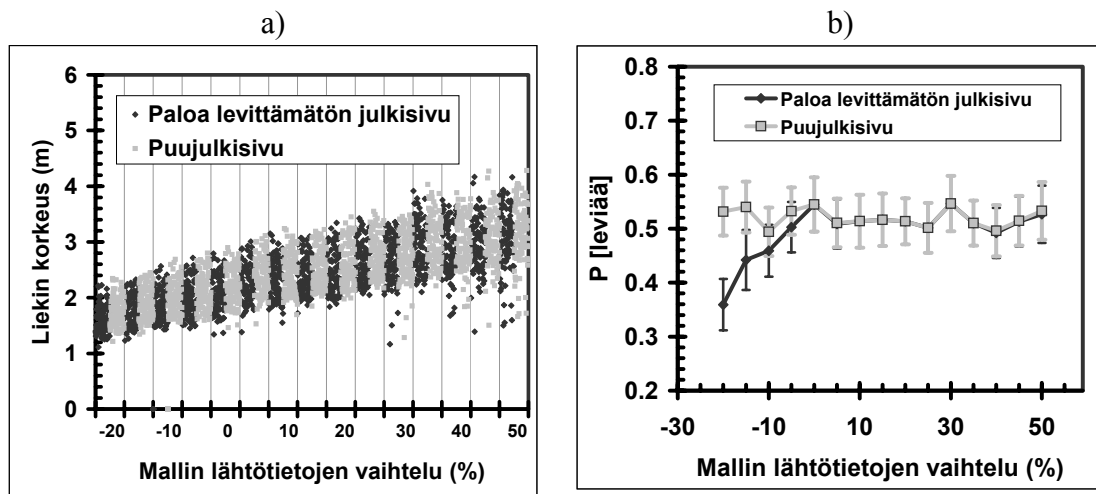


Kuva 18. a) Ikkunan leveyden (osuus huoneen leveydestä) ja b) ikkunan korkeuden vaikutus huoneen ikkunasta ulos tulevan liekin korkeuteen. Mustat pisteet ovat paloa levittämättömille julkisivuille ja vaaleanharmaat pisteet puisille julkisivuille. Ikkunan korkeudella ei ole käytännössä vaikutusta liekin korkeuteen, mutta ikkunan leveyden vaikutus on selvästi huomattavissa. Kuvista nähdään myös, että puisen julkisivun vaikutus on vähäinen verrattuna muihin liekin korkeuteen vaikuttaviin tekijöihin.

Kuvassa 19 on tutkittu liekin korkeuden laskentaan käytetyn mallin sisäisen vaihtelun vaikutusta sen antamiin tuloksiin. Harmathy [1980/81] on esittänyt selluloosapohjaisille polttoaineille kokeellisia tuloksia, joista voidaan arvioida täysin kehittyneisiin huonepaloihin liittyvän palotehon vaihtelua. Näiden tulosten pohjalta voidaan arvioida laskennassa käytetyn mallin palotehon vaihtelevuudeksi keskiarvonsa ympärillä olevan noin  $-20\% - +50\%$ . Kuvista nähdään, että tämä mallin vaihteluun liittyvä systemaattinen liekin korkeuden vaihtelu eli itse huonepaloon liittyvä epävarmuus on paljon voimakkaampaa kuin puisen julkisivun asentamisen tuoma pieni lisäys liekin korkeuteen. Lisäksi kullakin palotehon tasolla muiden muuttujien, kuten huoneen ja ikkunan geometriat, vaihteluun liittyvä liekin korkeuden vaihtelu on paljon suurempaa kuin puisen julkisivun lisäyksen vaikutus.

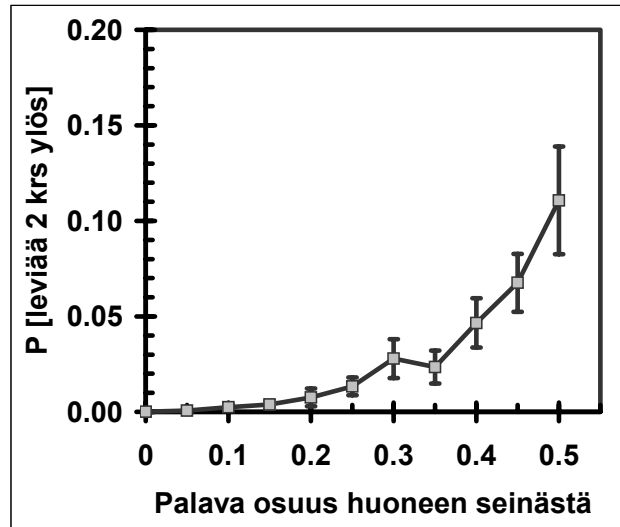
Kuvassa 19 on myös esitetty todennäköisyys huonepalon leviämislle yläpuoleiseen asuntoon. Todennäköisyys on laskettu käyttämällä palokunnalle Helsingin pelastusyksiköiden toimintavalmiusaikajakaumaa. Puiselle julkisivulle lasketut todennäköisyydet eroavat paloa levittämättömän julkisivun arvoista vain silloin, kun ikkunasta ulos tulevat liekit ovat pieniä. Puujulkisivusta aiheutuva palotehon lisä ikkunasta ulos tulevaan palopatsaaseen on suhteellisesti merkittävämpi tällöin, ja tämä lisäteho voi voimistaa liekkiä sen verran, että se kykenee rikkomaan yläpuoleisen ikkunan. Tällöin huoneessa on vain vähän palokuormaa (vähän palavaa pinta-alaa) ja tällöin myös todennäköisyys

sille, että palo rikkoo palotilan ikkunan, on todellisuudessa pienempi kuin kuvassa esitettyjä tuloksia laskettaessa on oletettu.



Kuva 19. Liekin korkeuden laskentaan käytetyn mallin vaihtelevuuden vaikutus a) liekin korkeuteen ja b) palon leviämistodennäköisyyteen kerros ylöspäin. Käytetyissä mallissa palohuoneen paloteho määräytyy deterministisesti huoneen ja ikkunan aloista ja muodoista. Todellisuudessa paloteho riippuu myös muista tekijöistä, kuten huoneessa olevan polttoaineen laadusta, määrästä ja sijoittelusta. Tämän vuoksi mallin antamaa palotehoa vaihdeltiin välillä  $-20\%$  ja  $+50\%$ , jotta näiden tekijöiden vaikutus saataisiin näkyviin. Mustat pisteet ovat tulokset betoniselle julkisivulle ja vaaleanharmaat pisteet puiselle julkisivulle. Kuvista nähdään, että julkisivumateriaalin vaikutus on pieni verrattuna muihin liekin korkeuteen vaikuttaviin tekijöihin.

Kuvassa 20 on esitetty puisen seinämateriaalin vaikutus palon leviämisen todennäköisyyteen silloin, kun puinen seinämateriaali laitetaan julkisivun asemasta huoneen sisäseinille. Kuvasta nähdään, että palon leviämistodennäköisyys suoraan ikkunasta ulos tulevan liekin välityksellä kaksi kerrosta ylöspäin kasvaa, kun puun osuus sisäseinän pinta-alasta kasvaa. Todennäköisyydet ovat paloa levittämättömälle julkisivulle 0,0003 ja puiselle julkisivulle 0,0016, kun huoneen sisäseinien materiaali ei osallistu paloon. Puisen julkisivun aiheuttama lisäriski palon leviämiselle on siis mitätön verrattuna siihen, että puuta käytettäisiin asunnon sisäpuoleisten seinien verhouksessa.



*Kuva 20. Huoneen sisustuksen vaikutus palon leviämiselle kaksi kerrosta ylöspäin. Palohuoneen ikkunasta ulos tuleva liekki suurenee, kun puisen seinäpaneloinnin osuus kasvaa palohuoneessa, ja tällöin kasvaa todennäköisyys, että ikkunasta ulos tuleva palopatsas kykenee rikkomaan ikkunat kaksi kerrosta ylempänä. Leviämistodennäköisyys on laskettu yhtä ikkunasta julkisivulle pääsyttä paloa kohti.*

### 5.3 Yhteenveto tulosten yleistämisestä

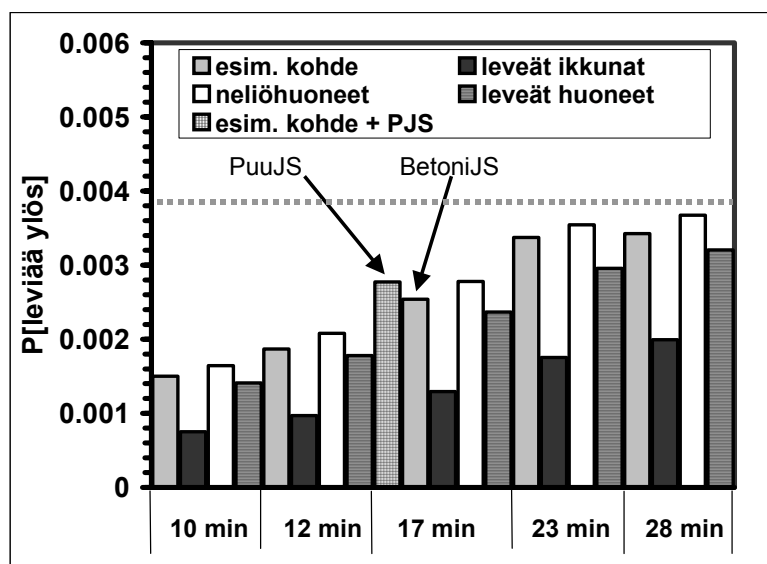
Edellä olevasta voidaan siis päätellä, että puisen julkisivun lisäyksen vaikutus kerrostalohuoneistossa syttyvän palon leviämisen todennäköisyyteen yläpuoleisiin asuntoihin on marginaalinen eikä se siten lisää rakennuksen paloriskiä merkittävästi. Lisäksi edellä olevista tuloksista havaitaan, etteivät esimerkkikohteelle tehdyt johtopäätökset puujulkisivun vaikutuksesta palon leviämisen todennäköisyyksiin ole herkkiä rakennuksen ja sen huoneiden geometrian muutoksille sekä muille mallissa käytetyille parametreille, kuten palokunnan etäisyydelle kohteesta.

Käytetylle esimerkkikohteelle saadut johtopäätökset ovat siis yleistettävissä vastaavan tyyppisiin 1960–70-lukujen betonirunkoisiin P1-paloluokan asuinkerrostaloihin. Erityisesti todetaan, että palon leviämiseen yläpuoleisiin asuntoihin vaikuttaa puujulkisivua enemmän rakennuksen sijainti palokuntaan nähden, sen huoneiden ja ikkunoiden geometria sekä huoneistojen sisustus ja sisäverhous, joka voidaan P1-luokan asuinkerrostaloissa tehdä luokan D-s2,d2 materiaalista (puupanelointi, vaneriverhous, yms.). Edellä lueteltujen tekijöiden vaihtelut peittävät puisen julkisivun aiheuttaman pienen leviämistodennäköisyyden kasvun.

Yleistystä tehtäessä on otettava huomioon, että esimerkkikohteessa ei talon päädyissä ole ikkunoita, jolloin näillä seinustoilla syttyneistä julkisivupaloista ei ole vaaraa rakennuksen sisätiloille. Lisäksi kohteen naapuritalot olivat etäällä (yli 8 m), eikä täten palon leviämisestä niihin ole vaaraa. Esimerkkikohteessa ei myöskään ollut ulkonevia parvekkeita. Muuten voidaan soveltaa varsin suoraan kohdassa 4.5 esimerkkikohteesta kerrotuja tuloksia, kunhan rakennuksen kerrosten lukumäärä ei ole oleellisesti suurempi kuin esimerkkikohteessa, joka oli 3–4-kerroksinen.

## 6. Päätelmät

Tarkasteltavaksi valitun Helsingin Laajasalossa sijaitsevan esimerkkikohteen tapauksessa puisen julkisivun lisääminen korjausrakentamisen yhteydessä ei kasvata rakennuksen paloriskejä merkittävästi. Asunnossa syttyneen palon leviämisen suhteellinen todennäköisyys yläpuoleiseen asuntoon kasvaa yhdellä kymmenesosalla, kun kohteeseen lisätään korjausrakentamisen yhteydessä puinen julkisivu, verrattuna korjausrakentamista edeltävään aikaan. Tätä riskin lisäyksen suuruutta voidaan havainnollistaa olettamalla, että kaikkiin Suomen asuinkerrostaloihin tehtäisiin puiset julkisivut ja että kaikki asuinkerrostalot olisivat esimerkkikohteen kaltaisia tyypillisiä 70-luvun lähiökerrostaloja. Tällöin kymmenyksen lisäys riskissä merkitsisi kerran kymmenessä vuodessa yhtä sellaista tapausta lisää, jossa huoneistopalo leviää yläpuoleiseen asuntoon. Arvioitaessa tämän riskin lisäyksen vaikuttavuutta verrattuna muihin palon leviämiseen vaikuttaviin tekijöihin havaitaan, että puista julkisivua enemmän yläpuolelle leviävien palojen määrään vaikuttavat monet muut tekijät, kuten kuvasta 21 voidaan havaita.



Kuva 21. Huonepalon leviämisen todennäköisyydet 3–4-kerroksisille P1-luokan betonirunkoisille kerrostaloille. Huoneiden geometrian sekä palokunnan ajomatkan vaikutukset palon leviämisen todennäköisyyteen ovat suurempia kuin puisen julkisivun aiheuttama muutos. Kuvassa vaaka-akselilla on palokunnalta hälytyksestä sammutustoimenpiteiden aloittamiseen kuluva aika. Kuvaan on harmaalla katkoviivalla merkitty riskitaso, jonka alapuolelle esimerkkikohteen tapaisten kerrostalojen tässä työssä käytetyllä mallilla lasketut riskitasot jäävät, kun ne on suunniteltu E1:n taulukkomitoituksen mukaan. Esimerkkikohteen tulokset on merkitty kuvaan sekä ennen ("BetoniJS") että jälkeen ("PuuJS") puisen julkisivun lisäyksen.



Esimerkiksi korvaamalla esimerkkikohteen suhteellisen kapeat huoneet vastaavan ko-koisilla leveillä huoneilla, jolloin huoneissa on myös leveämmät ikkunat ("leveät huoneet"), esiintyisi vuositasolla noin 0,07 palonleviämistapausta vähemmän Suomen kaikkia kerrostaloasuntoja kohden laskettuna. Tämä on samaa suuruusluokkaa kuin edellä puujulkisivun lisäävä vaikutus. Mikäli kohteessa olisi alkuperäisten ikkunoiden sijasta lähes koko huoneen levyiset ikkunat, tämä tekisi vuositasolla noin 0,5 leviämistapausta vähemmän. Käyttämällä neliönmuotoisia huoneita ja alkuperäisiä ikkunakokoja lisääntyisi tapausten määrä noin 0,1 tapauksella vuodessa. Nopeuttamalla palokunnan keskimääräistä toimintaa (17 min:n sijasta 12 min) vähenisi leviämistapauksien määrää yli 0,3 tapauksella vuodessa. Esimerkkikohteen tapauksessa on merkille pantavaa se, että juuri tällainen palokunnan toimintaan liittyvä tapaus on ajankohtainen, sillä Helsingin pelastuslaitos lakkautti Herttoniemen pelastusaseman ja rakensi uuden aseman Mellunkylään. Näin palokunnan ajomatka kasvoi huomattavasti, minkä vaikutus kohteen paloriskeihin on suurempi kuin mahdollisen puisen julkisivun asentamisen vaikutus.

Esimerkkikohteen tulokset ovat yleistettävissä vastaavan tyyppiin 1960–70-lukujen betonirunkoisiin P1-paloluokan lähiökerrostaloihin, joiden kerrosmäärä ei poikkea merkittävästi tarkastellusta kohteesta. Koska kerrostaloja saa rakentaa kauaksi paloasemista sekä kuntiin, joissa ei ole vakinaista palokuntaa, ei puisen julkisivun asentamista korjausrakentamisen yhteydessä tarkastellun esimerkkikohteen tyyppiin asuinkerrostaloihin voida pitää oleellisesti kohteen paloturvallisuutta vaarantavana tekijänä.

Asuinkerrostalojen paloturvallisuutta voidaan kohentaa paljon enemmän muilla toimenpiteillä kuin kieltämällä hyvin toteutettujen puisten julkisivujen käyttö. Henkilöturvallisuuden kannalta asuinkerrostaloissa olisi yleensä ottaen tärkeintä syttymien vähentäminen. Syttymishuoneiston ulkopuolella syntyvien henkilövahinkojen ehkäisemisessä ehkä tärkein tekninen toimenpide on savun hallinta, eli savun kulkeutumista porrashuoneisiin on rajoitettava ja porrashuoneisiin on järjestettävä toimiva savunpoisto. Myös asuntokohtaisten palovaroittimien toimintavarmuuden parantaminen parantaisi henkilöturvallisuutta. Nämä toimenpiteet ovat yhtä merkittäviä riippumatta talon julkisivumateriaalista, sillä savun leviämiseen asunnon sisällä ja sieltä edelleen porrashuoneeseen ei julkisivumateriaalilla ole vaikutusta. Puiseen julkisivumateriaaliin liittyviä paloriskejä voidaan pienentää pitämällä rakennuksen seinusta vapaana, kuten siirtämällä roska- ja autokatokset pois seinän vierestä, estämällä autojen pysäköinti seinän viereen jne.

## Loppusanat

Tässä tutkimuksessa tehtiin valitulle P1-paloluokan betonirunkoiselle asuinkerrostalolle riskianalyysi, jossa tutkittiin korjausrakentamisen yhteydessä asennettavan puisen julkisivun vaikutusta kohteen paloriskeihin. Analyysin tuloksista havaittiin, että puujulkisivun lisääminen kasvattaa hieman lieskahtaneen huoneistopalon leviämisen todennäköisyyttä yläpuoleisiin asuntoihin, mutta tämä muutos on pieni verrattuna SRMK:n osan E1 taulukkomitoituksen sallimien rakennuksen muiden ominaisuuksien vaihteluiden vaikutuksiin. Tämän johtopäätöksen osoitettiin olevan yleistettävissä myös vastaavan tyyppisille betonirunkoisille P1-paloluokan asuinkerrostaloille.

P1-paloluokan betonirunkoisissa taloissa lieskahtaneen huoneistopalon leviäminen ulkokautta yläpuoleisiin asuntoihin on hyvin harvinaista, jolloin myös palon leviämiseen liittyvät henkilövahingot ovat harvinaisia. Tyypillisesti palotilana olevan asunnon ulkopuoleiset henkilövahingot liittyvät porrashuoneen kautta kulkeutuneeseen savuun ja siihen, että ihmiset hengittävät savua yrittäessään poistua savun täyttämää porrashuonetta pitkin. Täten henkilövahinkojen vähentämisessä korostuvat rakennuksen sisäpuoleiset paloturvallisuusratkaisut, joihin ei julkisivun materiaalilla ole vaikutusta. Omaisuusvahinkojen laajuuteen voidaan vaikuttaa rakennettavan puisen julkisivun rakenneratkaisulla. Julkisivun tuuletusrako voidaan katkaista, jolloin seinää pitkin etenevän palon etenemisnopeus hidastuu. Haluttaessa estää palon pääsy yläpohjan rakenteisiin voidaan räystästä tehdä tiivis, jolloin se myös hidastaa ylimmässä kerroksessa lieskahtavan huoneistopalon etenemistä yläpohjan onteloon. Samaten yläpohjan ontelon osastointi vähentää vaurioiden laajuutta ja helpottaa palokunnan sammutustoimenpiteitä. Lisäksi roska- ja autokatosten sekä muun palavan esineistön sijoittaminen pois rakennuksen seinän välittömästä läheisyydestä pienentää ulkoisten syttymien aiheuttamia paloriskejä puujulkisivulla varustetuissa taloissa.

## Lähdeluettelo

Back, G., Beyler, C. L., DiNunno, P. & Tatem, P. 1994. Wall Incident Heat Flux Distributions Resulting from an Adjacent Fire. Teoksessa: Kashiwagi, T. (toim.). Fire Safety Science – Proceedings of the Fourth International Symposium. Ottawa, Canada, July 13–17, 1994. Boston, USA: International Association for Fire Safety Science. S. 241–252.

CEN 2002. Eurocode 1: Actions on Structures – Part 1–2: General Actions - Actions on structures exposed to fire. Brussels: CEN. 59 s. (EN 1991-1-2:2002 E.)

Hakkarainen, T., Oksanen, T. & Mikkola, E. 1996. Puujulkisivujen paloturvallisuus sprinklatuissa kerrostaloissa. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 29 s. + liitt. 16 s. (VTT Tiedotteita 1736.) ISBN 951-38-4892-2

Hakkarainen, T., Oksanen, T. & Mikkola, E. 1997. Fire behaviour of facades in multi-storey wood-framed houses. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 42 s. + liitt. 16 s. (VTT Tiedotteita 1823.) ISBN 951-38-5098-6

Hakkarainen, T. & Oksanen, T. 2002. Fire Safety Assessment of Wooden Facades. Fire and Materials, Vol. 26, No. 1, s. 7–27.

Harmathy, T. Z. 1980/81. Some Overlooked Aspects of the Severity of Compartment Fires. Fire Safety Journal, Vol. 3, s. 261–271.

Hietaniemi, J., Baroudi, D., Korhonen, T., Björkman, J., Kokkala, M. & Lappi, E. 2002. Yksikerroksisen teollisuushallin rakenteiden palonkestävyyden vaikutus paloturvallisuuteen. Riskianalyysi ajasta riippuvaa tapahtumapuumallia käyttäen. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 95 s. + liitt. 51 s. (VTT Tiedotteita 2123.) ISBN 951-38-5935-5  
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2123.pdf>

Hietaniemi, J., Hakkarainen, T., Huhta, J., Jumppanen, U.-M., Kouhia, I., Vaari, J. & Weckman, H. 2003. Ontelotilojen paloturvallisuus. Ontelopalojen leviämisen katkaiseminen. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 168 s. + liitt. 52 s. (VTT Tiedotteita 2202.) ISBN 951-38-6156-2. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2202.pdf>

Kokkala, M., Mikkola, E., Immonen, M., Juutilainen, H., Manner, P. & Parker, W. J. 1997. Large-scale upward flame spread tests on wood products. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 29 s. + liitt. 116 s. (VTT Tiedotteita 1834.) ISBN 951-38-5114-1

Korhonen, T., Hietaniemi, J., Baroudi, D. & Kokkala, M. 2003. Time-Dependent Event-Tree Method for Fire Risk Analysis: Tentative Results. Teoksessa: Evans, D. (toim.). Fire Safety Science – Proceedings of the Seventh International Symposium. Worcester, MA, USA, June 16–21, 2003. Boston, MA, USA: International Association for Fire Safety Science. S. 321–332.

Lattimer, B. Y. 2002. Heat fluxes from fires to surfaces. Teoksessa: DiNenno, P. J., Drysdale, D., Beyler, C. L. & Walton, W. D. (toim.). SFPE Handbook for Fire Protection Engineering. 3. painos. S. 2/269–296.

Law, M. & O'Brien, T. 1981. Fire safety of bare external structural steel. Constrado. ISBN 0-86200-026-2

Mowrer, F. W. 1998. Window Breakage Induced by Exterior Fires. Gaithersburg, MD, USA: National Institute of Standards and Technology. 40 s. (NIST-GCR-98-751)

Peacock, R. D., Forney, G. G. P., Reneke, P., Portier, R. & Jones, W. W. 1993. CFAST, The consolidated model of fire growth and smoke transport. Gaithersburg, MD, USA: National Institute of Standards and Technology, 1993. 246 s. (Technical Note 1299).

RTE 2003. Kuortaneen liikuntahotellin julkisivun puuverhoilun vaikutus paloturvallisuuteen. Espoo: VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka. (Tutkimusseloste RTE3339/03)

Särdqvist, S. 1998. Real Fire Data. Fires in non-residential premises in London 1994–1997. Lund: Lund University. 59 s. (Report 7003) ISSN 1102-8246, ISRN LUTVDG/TVBB--7003—SE

Tillander, K. & Keski-Rahkonen, O. 2000. Palokunnan saatavuuden merkitys rakennuksen paloriskitarkastelussa. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 200 s. + liitt. 55 s. (VTT Tiedotteita 2013.) ISBN 951-38-5634-8. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2013.pdf>

Ympäristöministeriö 2003. Rakennusten paloturvallisuus & Paloturvallisuus korjausrakentamisessa. Helsinki: Ympäristöministeriö. 160 s. (Ympäristöopas 39) ISBN 952-11-1375-8

Ympäristöministeriö 2002. E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma – Rakennusten paloturvallisuus. Helsinki: Ympäristöministeriö. 40 s.

# Liite A: Tilastaselvitykset

## Asunnossa syttyneet palot

PRONTO-tietokannasta löytyi vuosina 1996–2001 keskimäärin 425 sisällä syttyntä tulipaloa vuodessa asuinkerrostaloille (95 %:n luottamusväli 385–466). Näistä paloista vain 3 % oli kirjattu levinneeksi useisiin palo-osastoihin palokunnan saapuessa paikalle. Sisällä syttyneistä paloista 74 % rajoittui syttymishuoneeseen tai sen osaan. Alkusammuutus sammutti palon 14 %:ssa tapauksista ja 8 %:ssa tapauksista se rajoitti palon kehitystä.

Kaikkiaan tarkasteltujen kuuden vuoden 1996–2001 aikana oli 2 %:ssa tapauksista (48 kpl) maininta siitä, että liekit olivat päässeet ulos tulipalon rikkomasta ikkunasta. Näistä kolmessa tapauksessa palon oli raportoitu levinneen edelleen yläpuoleiseen asuntoon rikkomalla sen ikkunat.

## Parvekkeilla syttyneet palot

Ulkopuoleisia syttymiä oli vuosina 1996–2001 yhteensä 308 kappaletta ja asuinkerrostalopaloja kaikkiaan 2 856. Parvekepaloja ulkopuolella syttyneistä paloista oli 243 kappaletta, jolloin muita ulkopuolisia syttymiä oli 65 kappaletta. Parvekepaloja on siis 8,5 % kaikista asuinkerrostalopaloista, ja noin neljä viidestä ulkopuolella syttyneistä paloista on parvekepaloja. Vuodessa parvekkeilla syttyy siis keskimäärin 40 paloa (95 %:n luottamusväli on 29–54 paloa vuodessa). Arvioitaessa johonkin tiettyyn asuntoon liittyvää parvekepalon riskiä on huomioitava, että kaikissa kerrostaloasunnoissa ei ole parvekettä, mikä täytyy ottaa huomioon arvioitaessa syttymistäajuutta parvekkeilla.

Tilastokeskuksen mukaan kerrostaloasuntojen lukumäärä Suomessa vuonna 1999 oli 1 079 926 kappaletta, ja niiden keskimääräinen pinta-ala oli 56,1 m<sup>2</sup> [Tilastokeskus 2001]. Täten asuinkerrostalopalojen syttymistäajuus asuntoa kohden laskettuna on  $4,4 \times 10^{-4}/a$  ja niiden syttymistäajuustiheys on  $7,9 \times 10^{-6}/m^2a$ . Jakamalla asuinkerrostalopalojen määrä asuinkerrostalojen kerrosalalla, joka oli 78 730 420 m<sup>2</sup> vuonna 1999 [Tilastokeskus 2001] saadaan syttymistäajuustiheydeksi  $6,0 \times 10^{-6}/m^2a$ . Huomaa, että edellä kerrosalassa on mukana asuntojen pinta-alan lisäksi muukin kerrosala, eli tämän vuoksi edellä asuntoa kohti laskettu syttymistäajuustiheys on hieman suurempi, koska paloja syttyy myös mm. kellaritiloissa ja porrashuoneissa. Käyttämällä oletusta, että kahdessa kolmasosassa asuntoja on parveke, jonka pinta-ala noin 10 % asunnon pinta-alasta, saadaan syttymistäajuudeksi parvekettä kohden  $5,6 \times 10^{-5}/a$  ja syttymistäajuustiheydeksi parvekkeilla noin  $10^{-5}/m^2a$ . Täten syttymistäajuustiheys parvekkeilla on samaa suuruusluokkaa kuin asuinnoissakin.

Nämä 243 parvekepaloa aiheuttivat mm. seuraavia vaurioita:

- 25 paloa levisi sisälle asuntoon (tai rikkoi osan ikkunoista).
- 2 paloa levisi (myös) sivusuunnassa.
- 3 paloa levisi räystäälle (tms.) rakenteisiin.
- 8 paloa "levisi": irtaimistovahingot yli 10 000 mk ja koko syttymishuone.
- Alkusammutus: 59 sammutti, 25 rajoitti, 7:llä ei vaikutusta, eli 91 tapauksessa (38 %) yritetty alkusammutusta (eli havaittu nopeasti), näistä on onnistuttu sammuttamaan 64 % (24 % kaikista parvekepalloista).

Edellä mainitusta voidaan päätellä, että noin 10 % parvekkeella syttyneistä paloista leviää sisälle asuntoon. Alkusammutusta yritetään noin 40 %:ssa tapauksista, ja näistä yrityksistä noin 90 % on onnistunut sammuttamaan palon tai rajoittamaan sen etenemistä. Kaikista parvekkeella syttyneistä paloista alkusammutuksen voidaan siis olettaa sammuttavan noin 30 % paloista. Näistä luvuista voidaan arvioida, että noin 15 % parvekkeella syttyneistä paloista, joita ei onnistuta alkusammuttamaan, leviää sisälle asuntoon.

### **Parvekepalojen syttymissyyt**

Parvekepalloista 98 (40 %) oli syttynyt kynttilästä tai ulkotulesta ja 85 tapausta (35 %) tupakoinnista. Kynttilät olivat tyypillisesti sytyttäneet muovisen alustan (muovinen parvekepöytä tms.), jolle ne oli laitettu palamaan. Tietoa syttymissyystä ei ollut 24 tapauksessa (10 %). Kynttilästä mahdollisesti syttyneitä palloja voidaan arvioida olevan edellisten lisäksi ne 7 tapausta, joissa on mainittu palaneen (muovisen) parvekepöydän tai vastaavan esineen. Tupakoinnista ovat lisäksi todennäköisesti sytyneet ne kolme tapausta, joissa on mainittu parvekekukkalaatikon palaneen, sillä niitä voidaan käyttää tuhkakuppeina.

### **Julkisivumateriaalin vaikutus**

Julkisivuluokan 1/I (palloa levittämätön, mm. pinnoitetut palamattomat levyt) rakennuksissa on rakennuksen ulkopuolella syttyneiden pallojen osuus kaikista paloista pienempi kuin julkisivuluokan 2/- (mm. puu) rakennuksissa (1/I: noin 10 %, luokat 2/- ja -/- 15–20 %). Luokka 1/I vastaa B-s1,0-luokkaa ja luokka 2/- vastaa D-s2,d2-luokkaa. Vastava ero saadaan tutkimalla rakennuksen paloluokkaa. Paloluokan P1 rakennuksissa ulkopuoleisten syttymien osuus paloista on noin 10 % ja paloluokissa P2 ja P3 noin 15 %. Tämä paloluokan ja julkisivuluokan yhtäläisyys johtuu siitä, että ne kuvaavat samaa asiaa: P1-luokan rakennuksissa on pääsääntöisesti luokan 1/I julkisivu, ja vastaavasti luokkien P2 ja P3 rakennuksissa julkisivu on harvemmin luokkaa 1/I. Lisäksi luokkien

P2 ja P3 talot ovat keskimäärin matalampia kuin luokan P1 talot, jolloin niissä on vähemmän asuntoja rakennuksen pohjapinta-alaan (tai piiriin) nähden.

## Virhearviot

Asuinkerrostalojen tulipalojen voidaan olettaa olevan toisistaan riippumattomia tapauksia, jolloin niiden lukumäärä  $N$  tietyllä tarkasteluajavälillä noudattaa Poisson-jakaumaa. Tällöin lukumäärähavaintojen keskihajonta on  $\sqrt{N}$  ja yksinkertainen arvio 95 %:n luottamusvälille on  $(\sqrt{N} \pm 0,98)^2$ . Tällöin siis asuinkerrostalopalojen 95 %:n luottamusväli on 385–466 keskiarvon ollessa 425 paloa vuodessa. Arvio perustuu oletukselle, että  $\sqrt{N}$  on normaalisti jakautunut. Kun havaintoja  $N$  on vähän (vain muutama kymmenen), luottamusvälin arviointi on hankalampaa ja keskustelun alla on yhä se, miten Poisson-jakautunut satunnaissuure pitää esittää, kun havaintoja on vähän.

## Julkisivumateriaalin vaikutus palonkehitykseen: PRONTO-datat

Jäljempänä olevissa taulukoissa on tulokset hauista, joissa yritettiin selvittää rakennuksien ominaisuuksien vaikutusta palonkehitykseen sekä sisällä syttyneissä paloissa että ulkopuolisissa syttymissä. Tarkastelussa keskityttiin lähinnä vertailemaan rakennuksen julkisivumateriaalin vaikutusta palonkehitykseen asuinkerrostaloissa.

### "Kerrostalot" vs. kaikki rakennukset

Seuraavassa "kerrostalo" on määritelty siten, että pienet rakennukset eli saunat, omakotitalot yms. on siivottu tilastoaineistosta pois. Tämä kattaa suuremman joukon rakennuksia kuin myöhemmin "asuinkerrostalo"-luokituksella tehty PRONTO-haku. Luokitus tehtiin, jotta aineistoon saataisiin mukaan enemmän rakennuksia, joissa on puinen (tai muu palava-aineinen) julkisivu. Näiden hakujen tulokset on esitetty taulukoissa A1–A5.

Taulukko A1. Ulkoisten syttymien osuudet eri paloluokkiin kuuluvissa kerrostaloissa. "Kaikki" on kaikkien kyseessä olevien kerrostalopalojen lukumäärä, "P1–P3 yht" niiden palojen määrä, joissa rakennuksen paloluokka oli merkitty asianomaiseen kenttään. Kuten luvuista nähdään, lähes aina rakennuksen paloluokka oli täytetty PRONTOn tietueisiin.

kerrostalot	ulk	tot	ulk(%)	kaikki talot	ulk	tot	ulk(%)
P1	361	3630	9,94 %	P1	562	5331	10,54 %
P2	63	415	15,18 %	P2	216	1337	16,16 %
P3	170	1252	13,58 %	P3	1726	12454	13,86 %
P1-P3 yht	594	5297	11,21 %	P1-P3 yht	2504	19122	13,09 %
kaikki	597	5311	11,24 %	kaikki	2512	19171	13,10 %
ei merk(%)	0,50 %	0,26 %		ei merk(%)	0,32 %	0,26 %	

Taulukko A2. Ulkoisten syttymien osuudet eri paloluokkiin kuuluvissa asuinkerrostaloissa.

asuinkerrostalot	ulk	tot	ulk(%)	kaikki talot	ulk	tot	ulk(%)
P1	242	2 582	9,37 %	P1	562	5331	10,54 %
P2	8	64	12,50 %	P2	216	1337	16,16 %
P3	9	212	4,25 %	P3	1726	12454	13,86 %
summa	259	2858	9,06 %	summa	2504	19122	13,09 %
kaikki	261	2 864	9,11 %	kaikki	2512	19171	13,10 %
ei merk(%)	0,77 %	0,21 %		ei merk(%)	0,32 %	0,26 %	

Taulukko A3. Ulkoisten syttymien osuudet eri julkisivun materiaaliluokkiin kuuluvissa kerrostaloissa. Luvuista huomataan, että läheskään aina ei rakennuksen julkisivun luokasta ole merkintää.

kerrostalot	ulk	tot	ulk(%)	kaikki talot	ulk	tot	ulk(%)
01_1/I	298	2857	10,43 %	01_1/I	650	5552	11,71 %
02_1/II	3	39	7,69 %	02_1/II	15	133	11,28 %
03_1/-	9	52	17,31 %	03_1/-	44	280	15,71 %
04_2/-	149	736	20,24 %	04_2/-	1011	6418	15,75 %
05_-/-	25	142	17,61 %	05_-/-	397	2494	15,92 %
summa	484	3826	12,65 %	summa	2117	14877	14,23 %
kaikki	597	5311	11,24 %	kaikki	2512	19171	13,10 %
ei merk(%)	18,93 %	27,96 %		ei merk(%)	15,72 %	22,40 %	



Taulukko A4. Ulkoisten syttymien osuudet eri julkisivun materiaaliluokkiin ja eri palo-  
luokkiin kuuluvissa kerrostaloissa.

kerrostalot:						
	ulk. sytt.			kaikki palot		
seinät	P1	P2	P3	P1	P2	P3
01_1/I	248	25	25	2378	197	280
02_1/I	1	1	1	9	13	17
03_1/-	3	2	4	15	18	19
04_2/-	25	16	106	71	69	594
05_-/-	2	5	18	14	14	114
summa	279	49	154	2487	311	1024
kaikki	361	63	170	3630	415	1252
ei merk(%)	22,71 %	22,22 %	9,41 %	31,49 %	25,06 %	18,21 %
	ulk(%)			P1-P3		
seinät	P1	P2	P3	ulk.	kaikki	ulk(%)
01_1/I	10,43 %	12,69 %	8,93 %	298	2857	10,43 %
02_1/I	11,11 %	7,69 %	5,88 %	3	39	7,69 %
03_1/-	20,00 %	11,11 %	21,05 %	9	52	17,31 %
04_2/-	35,21 %	23,19 %	17,85 %	149	736	20,24 %
05_-/-	14,29 %	35,71 %	15,79 %	25	142	17,61 %
summa	11,22 %	15,76 %	15,04 %	484	3826	12,65 %
kaikki	9,94 %	15,18 %	13,58 %	597	5311	11,24 %
ei merk(%)				18,93 %	27,96 %	

Taulukko A5. Ulkoisten syttymien osuudet eri julkisivun materiaaliluokkiin ja eri palo-  
luokkiin kuuluvissa rakennuksissa.

kaikki talot						
	ulk. sytt.			kaikki palot		
seinät	P1	P2	P3	P1	P2	P3
01_1/I	387	111	152	3446	717	1385
02_1/I	1	8	6	13	41	79
03_1/-	6	5	33	40	44	196
04_2/-	33	40	935	122	207	6081
05_-/-	6	10	379	48	61	2380
summa	433	174	1505	3669	1070	10121
kaikki	562	216	1726	5331	1337	12454
ei merk(%)	22,95 %	19,44 %	12,80 %	31,18 %	19,97 %	18,73 %
kaikki talot						
	ulk(%)			P1-P3		
seinät	P1	P2	P3	ulk.	kaikki	ulk(%)
01_1/I	11,23 %	15,48 %	10,97 %	650	5552	11,71 %
02_1/I	7,69 %	19,51 %	7,59 %	15	133	11,28 %
03_1/-	15,00 %	11,36 %	16,84 %	44	280	15,71 %
04_2/-	27,05 %	19,32 %	15,38 %	1011	6418	15,75 %
05_-/-	12,50 %	16,39 %	15,92 %	397	2494	15,92 %
summa	11,80 %	16,26 %	14,87 %	2117	14877	14,23 %
kaikki	10,54 %	16,16 %	13,86 %	2512	19171	13,10 %
ei merk(%)				15,72 %	22,40 %	

Edellä olevista taulukoista nähdään, että P1-paloluokan rakennuksissa ulkopuoleisten syttymien osuus paloista on pienempi kuin P2- ja P3-paloluokkien rakennuksissa. Taloluokalla (kerrostalo / kaikki talot) ei ole vaikutusta. (P1 noin 10 %, P2 noin 15–16 %, P3 noin 14 %.) Asuinkerrostaloissa P3-paloluokan taloissa ulkoisten syttymien osuus näyttäisi olevan pienempi, vain noin 5 %, mutta pieni havaintojen määrä (noin 200) voi aiheuttaa virhettä.

Seinäateriaaliluokan 1/I rakennuksia syttyy ulkopuolelta suhteellisesti harvemmin kuin luokkien 2/- ja -/- rakennuksia: 10 % vs. 20 % kerrostaloille, 12 % vs. 16 % kaikille rakennuksille ja asuinkerrostaloille 10 % vs. 15 %.

Edellä suurin osa seinämateriaaliluokan 2/- kerrostaloista (106/147) on P3-paloluokan taloja, kun taas seinämateriaaliluokan 1/I kerrostaloista suurin osa (248/298) on P1-paloluokan taloja, eli paloluokat P1–P3 ja seinämateriaaliluokat mittaavat samaa asiaa, jolloin näiden kahden eri luokittelukriteerin ristiinvertailua ei voi suorittaa. Havaittujen erojen ei voida siis sanoa syntyvän julkisivumateriaalin vaikutuksesta. Ennemmin erojen taustalla ovat rakennuksien kovin erilaiset piirteet, eli P3-paloluokan talot ovat tyypillisesti pieniä ja matalia, kun taas P1-paloluokan kerrostalot ovat isoja ja monikerroksisia rakennuksia.

Kaikkia rakennuksia edustava aineisto antaa samansuuntaisen tuloksen kuin aineisto, josta on poistettu pienet rakennukset (ns. kerrostalodata), eli 1/I-ulkoseinät P1-luokassa ja 2/-ulkoseinät P3-luokan rakennuksissa. Tosin nyt 1/I-luokan seiniä on myös P2- ja P3-luokkien taloissa (P1 ja P3 molemmat noin 11 % ulkoisia syttymiä, P2 noin 15 % ulkoisia syttymiä).

### **Asuinkerrostalot verrattuna kaikkiin rakennuksiin**

Seuraavissa taulukoissa rakennukset on jaottelu asuinkerrostaloihin ja kaikkiin taloihin. Yhteensä asuinkerrostalopaloja oli vuosina 1996–2001 Prontossa 2 864 kpl. Näistä 9 % oli ulkopuolelta syttyneitä (261 kpl).

#### **Rakennuksen paloluokka**

Yli 90 % asuinkerrostalorakennuksista kuului paloluokkaan P1. P1-paloluokan kerrostalopaloista 9 % oli ulkoa syttyneitä, kun taas P3-luokan asuinkerrostaloissa vastaava osuus oli pienempi. Kaikissa rakennuspaloissa vastaavat osuudet olivat 11 % P1-luokalle ja 14 % P3-luokalle.

## **Palon laajuus**

Kohdat ”palo/savu ei levinnyt rakennuksen sisälle” ja ”palo/savu levisi rakennuksen sisälle yhteen osastoon” voidaan yhdistää ulkopuolelta syttyneisiin paloihin.

Kaikki rakennukset: Sisäpuolelta syttyneistä paloista palokunnan saapumisen ja lopputilanteen välillä oli n. 1–2 %:n ero paloissa, jotka olivat levinneet osastosta. Samoin oli ulkoa syttyneissä, paitsi ulkoseinäluokassa 1/II, jossa ero oli 14 % (vain 16 palotapausta eli ei ole tilastollisesti merkittävää).

## **Alkusammutuksen vaikutus**

Alkusammutuksen sammuttamien palojen osuus ulkoa syttyneissä paloissa on asuinkerrostaloissa hieman suurempi kuin kaikissa rakennuksissa. Ero on pieni, kun tilastollinen virhe huomioidaan.

## **Ullakko**

Asuinkerrostalot: Käyttöullakko harvinaisempi ulkoa syttyneissä paloissa.

Suurimmassa osassa ei ole ullakkoa tai yläpohjan onteloa (31 %); osuus on hieman sisältä syttyneitä paloja suurempi.

## **Pintakerrosten vaikutus**

Asuinkerrostalot: Ulkopuolelta syttyneissä paloissa palojen, joissa pintakerros edisti paloa, osuus on kaksinkertainen sisäpuolelta syttyneisiin verrattuna.

## **Ulkoseinät, luokka**

Asuinkerrostalot: Luokan 2/- osuus ulkopuolisista paloista oli 10 % ja sisäpuolisista 5 %. 1/I: ulkopuoli 68 %, sisäpuoli 61 %. (Huomattava, että 31 %:ssa sisäpuolelta syttyneissä paloissa ja 20 %:ssa ulkopuolella syttyneissä paloissa ei ollut kerrottu ulkoseinän luokkaa.)

## Asuinkerrostalot

*Taulukko A6. Rakennuksen paloluokka.*

Rakennuksen paloluokka	Lukumäärät			Prosentuaaliset osuudet		
	Sisäpuolelta syttyneet	Ulko-puolelta syttyneet	Yhteensä	Sisäpuolelta syttyneet	Ulko-puolelta syttyneet	Yhteensä
P1	2 340	242	2 582	90 %	93 %	90 %
P2	56	8	64	2 %	3 %	2 %
P3	203	9	212	8 %	3 %	7 %
Ei tietoa	4	2	6	0,2 %	0,8 %	0,2 %
<b>Yhteensä</b>	<b>2 603</b>	<b>261</b>	<b>2 864</b>			

*Taulukko A7. Palon syttymiskohta.*

Palon syttymiskohta	Lukumäärät			Prosentuaaliset osuudet		
	Sisäpuolelta syttyneet	Ulko-puolelta syttyneet	Yht.	Sisäpuolelta syttyneet	Ulko-puolelta syttyneet	Yht.
Irtaimisto rakennuksen sisällä	2 263		2 263	87 %		79 %
Rakennuksen sisäpuoliset rakenteet	323		323	12 %		11 %
Irtaimisto rakennuksen välittömässä läheisyydessä		166	166		64 %	6 %
Rakennuksen ulkopuoliset rakenteet		95	95		36 %	3 %
Ei tietoa	17		17	0,7 %		0,6 %
<b>Yhteensä</b>	<b>2 603</b>	<b>261</b>	<b>2 864</b>			

*Taulukko A8. Palon kehittymisaste palokunnan saapuessa.*

Palon kehittymisaste palokunnan saapuessa	Lukumäärät			Prosentuaaliset osuudet		
	Sisäpuolelta syttyneet	Ulko-puolelta syttyneet	Yht.	Sisäpuolelta syttyneet	Ulko-puolelta syttyneet	Yht.
Syttymisvaihe	1 317	106	1 423	51 %	41 %	50 %
Palamisvaihe	858	107	965	33 %	41 %	34 %
Jäähtymisvaihe	376	45	421	14 %	17 %	15 %
Nokipalo	3		3	0,1 %	0,0 %	0,1 %
Palo sammutettu/sammunut	35	3	38	1 %	1 %	1 %
Ei tietoa	14		14	0,5 %		0,5 %
<b>Yhteensä</b>	<b>2 603</b>	<b>261</b>	<b>2 864</b>			

Taulukko A9. Palon laajuus palokunnan saapuessa.

Palon laajuus palokunnan saapuessa	Lukumäärät			Prosentuaaliset osuudet		
	Sisäpuolelta syttyneet	Ulko-puolelta syttyneet	Yht.	Sisäpuolelta syttyneet	Ulko-puolelta syttyneet	Yht.
Osa syttymishuonetta	1 693	58	1 751	65 %	22 %	61 %
Koko syttymishuone	373	11	384	14 %	4 %	13 %
Koko palo-osasto	141	3	144	5 %	1 %	5 %
Levinnyt useisiin palo-osastoihin	35	2	37	1 %	1 %	1 %
Palo/savu ei levinnyt rakennuksen sisälle	40	112	152	2 %	43 %	5 %
Palo/savu levisi rakennuksen sisälle yhteen osastoon	112	41	153	4 %	16 %	5 %
Palo sammunut tai sammutettu, ei savukaasuja	180	31	211	7 %	12 %	7 %
Ei tietoa	29	3	32	1 %	1 %	1 %
<b>Yhteensä</b>	<b>2 603</b>	<b>261</b>	<b>2 864</b>			

Taulukko A10. Palon laajuus tilanteen lopussa.

Palon laajuus tilanteen lopussa	Lukumäärät			Prosentuaaliset osuudet		
	Sisäpuolelta syttyneet	Ulko-puolelta syttyneet	Yht.	Sisäpuolelta syttyneet	Ulko-puolelta syttyneet	Yht.
Osa syttymishuonetta	1 515	61	1 576	58 %	23 %	55 %
Koko syttymishuone	408	10	418	16 %	4 %	15 %
Koko palo-osasto	276	6	282	11 %	2 %	10 %
Levinnyt useisiin palo-osastoihin	81	4	85	3 %	2 %	3 %
Levinnyt toiseen rakennukseen	1		1	0,04 %		0,03 %
Palo/savu ei levinnyt rakennuksen sisälle	32	113	145	1 %	43 %	5 %
Palo/savu levisi rakennuksen sisälle yhteen osastoon	106	36	142	4 %	14 %	5 %
Palo sammunut tai sammutettu, ei savukaasuja	73	16	89	3 %	6 %	3 %
Ei tietoa	111	15	126	4 %	6 %	4 %
<b>Yhteensä</b>	<b>2 603</b>	<b>261</b>	<b>2 864</b>			

Taulukko A11. Alkusammutus ja sen vaikutus paloon.

Alkusammutus ja sen vaikutus paloon	Lukumäärät			Prosentuaaliset osuudet		
	Sisäpuolelta syttyneet	Ulko-puolelta syttyneet	Yht.	Sisäpuolelta syttyneet	Ulko-puolelta syttyneet	Yht.
Kohteessa ei ollut alkusammutuskalustoa	1 514	130	1 644	58 %	50 %	57 %
Alkusammutuskalustoa ei käytetty	435	44	479	17 %	17 %	17 %
Alkusammutus sammutti palon	368	54	422	14 %	21 %	15 %
Alkusammutus rajoitti paloa	209	22	231	8 %	8 %	8 %
Alkusammutuksella ei ollut vaikutusta	61	9	70	2 %	3 %	2 %
Alkusammutin ei toiminut	4	1	5	0,2 %	0,4 %	0,2 %
Ei tietoa	12	1	13	0,5 %	0,4 %	0,5 %
<b>Yhteensä</b>	<b>2 603</b>	<b>261</b>	<b>2 864</b>			

Taulukko A12. Ullakko.

Ullakko	Lukumäärät			Prosentuaaliset osuudet		
	Sisäpuolelta syttyneet	Ulko-puolelta syttyneet	Yht.	Sisäpuolelta syttyneet	Ulko-puolelta syttyneet	Yht.
Käyttöullakko	599	33	632	23 %	13 %	22 %
Käyttämätön ullakko	338	37	375	13 %	14 %	13 %
Yläpohjan ontelo	628	75	703	24 %	29 %	25 %
Ei ullakkoa tai yläpohjan onteloa	608	81	689	23 %	31 %	24 %
Ei tietoa	430	35	465	17 %	13 %	16 %
<b>Yhteensä</b>	<b>2 603</b>	<b>261</b>	<b>2 864</b>			

Taulukko A13. Pintakerrosten vaikutus.

Pintakerrosten vaikutus	Lukumäärät			Prosentuaaliset osuudet		
	Sisäpuolelta syttyneet	Ulko-puolelta syttyneet	Yht.	Sisäpuolelta syttyneet	Ulko-puolelta syttyneet	Yht.
Hidasti paloa	1 096	129	1 225	42 %	49 %	43 %
Ei vaikutusta	1 145	71	1 216	44 %	27 %	42 %
Edisti paloa	221	43	264	8 %	16 %	9 %
Ei tietoa	141	18	159	5 %	7 %	6 %
<b>Yhteensä</b>	<b>2 603</b>	<b>261</b>	<b>2 864</b>			

Taulukko A14. Ulkopuoliset seinät, luokka.

Ulkopuoliset seinät, luokka	Lukumäärät			Prosentuaaliset osuudet		
	Sisä- puolelta syttyneet	Ulko- puolelta syttyneet	Yht.	Sisä- puolelta syttyneet	Ulko- puolelta syttyneet	Yht.
1/I	1 595	177	1 772	61 %	68 %	62 %
1/II	8	1	9	0,3 %	0,4 %	0,3 %
1/-	17	4	21	0,7 %	1,5 %	0,7 %
2/-	140	25	165	5 %	10 %	6 %
-/-	24	3	27	0,9 %	1,1 %	0,9 %
Ei tietoa	819	51	870	31 %	20 %	30 %
<b>Yhteensä</b>	<b>2 603</b>	<b>261</b>	<b>2 864</b>			

**Kaikki rakennukset, jotka syttyneet ulkopuolelta vuosina 1996–2001  
(Pronto, syttymiskohta 03 tai 04).**

Taulukko A15. Palon laajuus palokunnan saapuessa.

Palon laajuus palokunnan saapuessa	Ulkoseinän luokka				
	1/I	1/II	1/-	2/-	-/-
Osa syttymishuonetta	141	2	14	199	52
Koko syttymishuone	29		4	104	83
Koko palo-osasto	38	3	5	279	120
Levinnyt useisiin palo-osastoihin	13	1		37	6
Levinnyt toiseen rakennukseen	4		1	31	18
Palo/savu ei levinnyt rakennuksen sisälle	247	6	11	185	63
Palo/savu levisi rakennuksen sisälle yhteen osastoon	100	2	5	137	46
Palo sammunut tai sammutettu, ei savukaasuja	75	2	3	89	26
<b>Yhteensä</b>	<b>647</b>	<b>16</b>	<b>43</b>	<b>1 061</b>	<b>414</b>

Taulukko A16. Palon laajuus palokunnan saapuessa.

Palon laajuus palokunnan saapuessa	Ulkoseinän luokka				
	1/I	1/II	1/-	2/-	-/-
Osa syttymishuonetta	22 %	13 %	33 %	19 %	13 %
Koko syttymishuone	4 %		9 %	10 %	20 %
Koko palo-osasto	6 %	19 %	12 %	26 %	29 %
Levinnyt useisiin palo-osastoihin	2 %	6 %		3 %	1 %
Levinnyt toiseen rakennukseen	1 %		2 %	3 %	4 %
Palo/savu ei levinnyt rakennuksen sisälle	38 %	38 %	26 %	17 %	15 %
Palo/savu levisi rakennuksen sisälle yhteen osastoon	15 %	13 %	12 %	13 %	11 %
Palo sammunut tai sammutettu, ei savukaasuja	12 %	13 %	7 %	8 %	6 %
<b>Ei levinnyt osastosta</b>	<b>97 %</b>	<b>94 %</b>	<b>98 %</b>	<b>94 %</b>	<b>94 %</b>

Taulukko A17. Palon laajuus tilanteen lopussa.

Palon laajuus tilanteen lopussa	Ulkoseinän luokka				
	1/I	1/II	1/-	2/-	-/-
Osa syttymishuonetta	141	2	13	187	61
Koko syttymishuone	28	1	4	112	74
Koko palo-osasto	34		7	294	125
Levinnyt useisiin palo-osastoihin	26	2	1	47	8
Levinnyt toiseen rakennukseen	4	1	1	25	17
Palo/savu ei levinnyt rakennuksen sisälle	242	6	10	182	61
Palo/savu levisi rakennuksen sisälle yhteen osastoon	96	2	3	123	37
Palo sammunut tai sammutettu, ei savukaasuja	34	1	4	44	14
<b>Yhteensä</b>	<b>605</b>	<b>15</b>	<b>43</b>	<b>1 014</b>	<b>397</b>



Taulukko A18. Palon laajuus tilanteen lopussa.

Palon laajuus tilanteen lopussa	Ulkoseinän luokka				
	1/I	1/II	1/-	2/-	-/-
Osa syttymishuonetta	23 %	13 %	30 %	18 %	15 %
Koko syttymishuone	5 %	7 %	9 %	11 %	19 %
Koko palo-osasto	6 %		16 %	29 %	31 %
Levinnyt useisiin palo-osastoihin	4 %	13 %	2 %	5 %	2 %
Levinnyt toiseen rakennukseen	1 %	7 %	2 %	2 %	4 %
Palo/savu ei levinnyt rakennuksen sisälle	40 %	40 %	23 %	18 %	15 %
Palo/savu levisi rakennuksen sisälle yhteen osastoon	16 %	13 %	7 %	12 %	9 %
Palo sammunut tai sammutettu, ei savukaasuja	6 %	7 %	9 %	4 %	4 %
<b>Ei levinnyt osastosta</b>	<b>95 %</b>	<b>80 %</b>	<b>95 %</b>	<b>93 %</b>	<b>94 %</b>

Taulukko A19. Palon laajuus palokunnan saapuessa.

Palon laajuus palokunnan saapuessa	Ullakko			
	Käyttö-ullakko	Käyttämätön	Yläpohjan ontelo	Ei ullakkoa
Osa syttymishuonetta	48	102	118	170
Koko syttymishuone	15	51	47	111
Koko palo-osasto	49	124	67	213
Levinnyt useisiin palo-osastoihin	11	21	19	14
Levinnyt toiseen rakennukseen	15	11	4	24
Palo/savu ei levinnyt rakennuksen sisälle	66	153	141	221
Palo/savu levisi rakennuksen sisälle yhteen osastoon	43	97	77	97
Palo sammunut tai sammutettu, ei savukaasuja	19	56	67	77
<b>Yhteensä</b>	<b>266</b>	<b>615</b>	<b>540</b>	<b>927</b>

Taulukko A20. Palon laajuus palokunnan saapuessa.

Palon laajuus palokunnan saapuessa	Ullakko			
	Käyttö-ullakko	Käyttämätön	Yläpohjan ontelo	Ei ullakkoa
Osa syttymishuonetta	18 %	17 %	22 %	18 %
Koko syttymishuone	6 %	8 %	9 %	12 %
Koko palo-osasto	18 %	20 %	12 %	23 %
Levinnyt useisiin palo-osastoihin	4 %	3 %	4 %	2 %
Levinnyt toiseen rakennukseen	6 %	2 %	1 %	3 %
Palo/savu ei levinnyt rakennuksen sisälle	25 %	25 %	26 %	24 %
Palo/savu levisi rakennuksen sisälle yhteen osastoon	16 %	16 %	14 %	10 %
Palo sammunut tai sammutettu, ei savukaasuja	7 %	9 %	12 %	8 %
<b>Ei levinnyt osastosta</b>	<b>90 %</b>	<b>95 %</b>	<b>96 %</b>	<b>96 %</b>

Taulukko A21. Palon laajuus tilanteen lopussa.

Palon laajuus tilanteen lopussa	Ullakko			
	Käyttö-ullakko	Käyttämätön	Yläpohjan ontelo	Ei ullakkoa
Osa syttymishuonetta	40	111	115	169
Koko syttymishuone	21	52	46	108
Koko palo-osasto	52	127	75	211
Levinnyt useisiin palo-osastoihin	17	29	28	19
Levinnyt toiseen rakennukseen	11	7	5	25
Palo/savu ei levinnyt rakennuksen sisälle	67	146	133	227
Palo/savu levisi rakennuksen sisälle yhteen osastoon	37	86	67	90
Palo sammunut tai sammutettu, ei savukaasuja	14	22	35	37
<b>Yhteensä</b>	<b>259</b>	<b>580</b>	<b>504</b>	<b>886</b>

Taulukko A22. Palon laajuus tilanteen lopussa.

Palon laajuus tilanteen lopussa	Ullakko			
	Käyttö- ullakko	Käyttä- mätön	Yläpoh- jan on- telo	Ei ul- lakkoa
Osa syttymishuonetta	15 %	19 %	23 %	19 %
Koko syttymishuone	8 %	9 %	9 %	12 %
Koko palo-osasto	20 %	22 %	15 %	24 %
Levinnyt useisiin palo-osastoihin	7 %	5 %	6 %	2 %
Levinnyt toiseen rakennukseen	4 %	1 %	1 %	3 %
Palo/savu ei levinnyt rakennuksen sisälle	26 %	25 %	26 %	26 %
Palo/savu levisi rakennuksen sisälle yhteen osastoon	14 %	15 %	13 %	10 %
Palo sammunut tai sammutettu, ei savu-kaasuja	5 %	4 %	7 %	4 %
<b>Ei levinnyt osastosta</b>	<b>89 %</b>	<b>94 %</b>	<b>93 %</b>	<b>95 %</b>

Taulukko A23. Palon laajuus palokunnan saapuessa.

Palon laajuus palokunnan saapuessa	Palotekninen luokka					
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Osa syttymishuonetta	40	111	115	22 %	24 %	17 %
Koko syttymishuone	21	52	46	4 %	5 %	12 %
Koko palo-osasto	52	127	75	2 %	4 %	26 %
Levinnyt useisiin palo-osastoihin	17	29	28	1 %	5 %	3 %
Levinnyt toiseen rakennukseen	11	7	5	0,4 %	1 %	3 %
Palo/savu ei levinnyt rakennuksen sisälle	67	146	133	44 %	34 %	17 %
Palo/savu levisi rakennuksen sisälle yhteen osastoon	37	86	67	15 %	17 %	12 %
Palo sammunut tai sammutettu, ei savukaasuja	14	22	35	12 %	10 %	8 %
<b>Ei levinnyt osastosta</b>				<b>99 %</b>	<b>94 %</b>	<b>94 %</b>

Taulukko A24. Palon laajuus tilanteen lopussa.

Palon laajuus tilanteen lopussa	Palotekninen luokka					
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Osa syttymishuonetta	126	49	305	24 %	24 %	18 %
Koko syttymishuone	29	7	223	6 %	3 %	13 %
Koko palo-osasto	11	11	482	2 %	5 %	28 %
Levinnyt useisiin palo-osastoihin	8	16	71	2 %	8 %	4 %
Levinnyt toiseen rakennukseen	2	2	47	0,4 %	1 %	3 %
Palo/savu ei levinnyt rakennuksen sisälle	242	73	302	46 %	36 %	18 %
Palo/savu levisi rakennuksen sisälle yhteen osastoon	74	33	191	14 %	16 %	11 %
Palo sammunut tai sammutettu, ei savukaasuja	31	12	77	6 %	6 %	5 %
<b>Ei levinnyt osastosta</b>	<b>523</b>	<b>203</b>	<b>1 698</b>	<b>98 %</b>	<b>91 %</b>	<b>93 %</b>

**Kaikki rakennukset, jotka syttyneet sisäpuolelta vuosina 1996–2001  
(Pronto, syttymiskohta 01 tai 02).**

Taulukko A25. Palon laajuus palokunnan saapuessa.

Palon laajuus palokunnan saapuessa	Ulkoseinän luokka				
	1/I	1/II	1/-	2/-	-/-
Osa syttymishuonetta	2974	56	102	1913	669
Koko syttymishuone	624	22	43	1218	562
Koko palo-osasto	343	16	42	1433	577
Levinnyt useisiin palo-osastoihin	132	5	6	195	68
Levinnyt toiseen rakennukseen	8		2	49	25
Palo/savu ei levinnyt rakennuksen sisälle	112	4	6	68	26
Palo/savu levisi rakennuksen sisälle yhteen osastoon	275	5	15	152	65
Palo sammunut tai sammutettu, ei savu-kaasuja	448	11	22	325	101
<b>Yhteensä</b>	<b>4 916</b>	<b>119</b>	<b>238</b>	<b>5 353</b>	<b>2 093</b>

Taulukko A26. Palon laajuus palokunnan saapuessa.

Palon laajuus palokunnan saapuessa	Ulkoseinän luokka				
	1/I	1/II	1/-	2/-	-/-
Osa syttymishuonetta	60 %	47 %	43 %	36 %	32 %
Koko syttymishuone	13 %	18 %	18 %	23 %	27 %
Koko palo-osasto	7 %	13 %	18 %	27 %	28 %
Levinnyt useisiin palo-osastoihin	3 %	4 %	3 %	4 %	3 %
Levinnyt toiseen rakennukseen	0 %	0 %	1 %	1 %	1 %
Palo/savu ei levinnyt rakennuksen sisälle	2 %	3 %	3 %	1 %	1 %
Palo/savu levisi rakennuksen sisälle yhteen osastoon	6 %	4 %	6 %	3 %	3 %
Palo sammunut tai sammutettu, ei savukaasuja	9 %	9 %	9 %	6 %	5 %
<b>Ei levinnyt osastosta</b>	<b>97 %</b>	<b>96 %</b>	<b>97 %</b>	<b>95 %</b>	<b>96 %</b>

Taulukko A27. Palon laajuus tilanteen lopussa.

Palon laajuus tilanteen lopussa	Ulkoseinän luokka				
	1/I	1/II	1/-	2/-	-/-
Osa syttymishuonetta	2810	50	93	1772	624
Koko syttymishuone	635	21	50	1128	534
Koko palo-osasto	519	18	49	1631	648
Levinnyt useisiin palo-osastoihin	211	7	10	251	78
Levinnyt toiseen rakennukseen	8		2	45	25
Palo/savu ei levinnyt rakennuksen sisälle	103	6	5	76	27
Palo/savu levisi rakennuksen sisälle yhteen osastoon	246	8	13	152	57
Palo sammunut tai sammutettu, ei savukaasuja	172	5	5	126	47
<b>Yhteensä</b>	<b>4 704</b>	<b>115</b>	<b>227</b>	<b>5 181</b>	<b>2 040</b>

Taulukko A28. Palon laajuus tilanteen lopussa.

Palon laajuus tilanteen lopussa	Ulkoseinän luokka				
	1/I	1/II	1/-	2/-	-/-
Osa syttymishuonetta	60 %	43 %	41 %	34 %	31 %
Koko syttymishuone	13 %	18 %	22 %	22 %	26 %
Koko palo-osasto	11 %	16 %	22 %	31 %	32 %
Levinnyt useisiin palo-osastoihin	4 %	6 %	4 %	5 %	4 %
Levinnyt toiseen rakennukseen	0 %	0 %	1 %	1 %	1 %
Palo/savu ei levinnyt rakennuksen sisälle	2 %	5 %	2 %	1 %	1 %
Palo/savu levisi rakennuksen sisälle yhteen osastoon	5 %	7 %	6 %	3 %	3 %
Palo sammunut tai sammutettu, ei savu-kaasuja	4 %	4 %	2 %	2 %	2 %
<b>Ei levinnyt osastosta</b>	<b>95 %</b>	<b>94 %</b>	<b>95 %</b>	<b>94 %</b>	<b>95 %</b>

Taulukko A29. Palon laajuus palokunnan saapuessa.

Palon laajuus palokunnan saapuessa	Ullakko			
	Käyttö-ullakko	Käyttämätön	Yläpohjan ontelo	Ei ullakkoa
Osa syttymishuonetta	1149	1849	1751	2191
Koko syttymishuone	387	714	680	826
Koko palo-osasto	416	756	560	827
Levinnyt useisiin palo-osastoihin	105	128	109	80
Levinnyt toiseen rakennukseen	10	31	16	33
Palo/savu ei levinnyt rakennuksen sisälle	53	101	71	104
Palo/savu levisi rakennuksen sisälle yhteen osastoon	81	192	151	145
Palo sammunut tai sammutettu, ei savukaasuja	133	305	293	363
<b>Yhteensä</b>	<b>2 334</b>	<b>4 076</b>	<b>3 631</b>	<b>4 569</b>

Taulukko A30. Palon laajuus palokunnan saapuessa.

Palon laajuus palokunnan saapuessa	Ullakko			
	Käyttö- ullakko	Käyttä- mätön	Yläpoh- jan on- telo	Ei ullak- koa
Osa syttymishuonetta	49 %	45 %	48 %	48 %
Koko syttymishuone	17 %	18 %	19 %	18 %
Koko palo-osasto	18 %	19 %	15 %	18 %
Levinnyt useisiin palo-osastoihin	4 %	3 %	3 %	2 %
Levinnyt toiseen rakennukseen	0 %	1 %	0 %	1 %
Palo/savu ei levinnyt rakennuksen sisälle	2 %	2 %	2 %	2 %
Palo/savu levisi rakennuksen sisälle yhteen osastoon	3 %	5 %	4 %	3 %
Palo sammunut tai sammutettu, ei savukaasuja	6 %	7 %	8 %	8 %
<b>Ei levinnyt osastosta</b>	<b>95 %</b>	<b>96 %</b>	<b>97 %</b>	<b>98 %</b>

Taulukko A31. Palon laajuus tilanteen lopussa.

Palon laajuus tilanteen lopussa	Ullakko			
	Käyttö- ullakko	Käyttä- mätön	Yläpoh- jan on- telo	Ei ullak- koa
Osa syttymishuonetta	1020	1749	1618	2111
Koko syttymishuone	380	667	659	809
Koko palo-osasto	503	914	701	935
Levinnyt useisiin palo-osastoihin	148	178	156	116
Levinnyt toiseen rakennukseen	11	28	15	34
Palo/savu ei levinnyt rakennuksen sisälle	62	96	65	99
Palo/savu levisi rakennuksen sisälle yhteen osastoon	80	182	147	122
Palo sammunut tai sammutettu, ei savukaasuja	58	114	108	150
<b>Yhteensä</b>	<b>2 262</b>	<b>3 928</b>	<b>3 469</b>	<b>4 376</b>

Taulukko A32. Palon laajuus tilanteen lopussa.

Palon laajuus tilanteen lopussa	Ullakko			
	Käyttö- ullakko	Käyttä- mätön	Yläpoh- jan on- telo	Ei ullak- koa
Osa syttymishuonetta	45 %	45 %	47 %	48 %
Koko syttymishuone	17 %	17 %	19 %	18 %
Koko palo-osasto	22 %	23 %	20 %	21 %
Levinnyt useisiin palo-osastoihin	7 %	5 %	4 %	3 %
Levinnyt toiseen rakennukseen	0 %	1 %	0 %	1 %
Palo/savu ei levinnyt rakennuksen sisälle	3 %	2 %	2 %	2 %
Palo/savu levisi rakennuksen sisälle yhteen osastoon	4 %	5 %	4 %	3 %
Palo sammunut tai sammutettu, ei savukaasuja	3 %	3 %	3 %	3 %
<b>Ei levinnyt osastosta</b>	<b>93 %</b>	<b>95 %</b>	<b>95 %</b>	<b>97 %</b>

Taulukko A33. Palon laajuus palokunnan saapuessa.

Palon laajuus palokunnan saapuessa	Palotekninen luokka					
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Osa syttymishuonetta	3226	625	3834	68 %	56 %	38 %
Koko syttymishuone	461	129	2283	10 %	12 %	22 %
Koko palo-osasto	205	90	2428	4 %	8 %	24 %
Levinnyt useisiin palo-osastoihin	43	49	348	1 %	4 %	3 %
Levinnyt toiseen rakennukseen	6	3	88	0 %	0 %	1 %
Palo/savu ei levinnyt rakennuksen sisälle	97	30	230	2 %	3 %	2 %
Palo/savu levisi rakennuksen sisälle yhteen osastoon	238	62	327	5 %	6 %	3 %
Palo sammunut tai sammutettu, ei savukaasuja	480	123	643	10 %	11 %	6 %
<b>Ei levinnyt osastosta</b>				<b>99 %</b>	<b>95 %</b>	<b>96 %</b>



Taulukko A34. Palon laajuus tilanteen lopussa.

Palon laajuus tilanteen lopussa	Palotekninen luokka					
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Osa syttymishuonetta	3042	601	3563	67 %	58 %	36 %
Koko syttymishuone	514	125	2148	11 %	12 %	22 %
Koko palo-osasto	356	112	2789	8 %	11 %	28 %
Levinnyt useisiin palo-osastoihin	105	72	447	2 %	7 %	5 %
Levinnyt toiseen rakennukseen	7	1	86	0 %	0 %	1 %
Palo/savu ei levinnyt rakennuksen sisälle	95	33	232	2 %	3 %	2 %
Palo/savu levisi rakennuksen sisälle yhteen osastoon	216	53	316	5 %	5 %	3 %
Palo sammunut tai sammutettu, ei savukaasuja	178	44	287	4 %	4 %	3 %
<b>Ei levinnyt osastosta</b>				<b>98 %</b>	<b>93 %</b>	<b>95 %</b>

### Kirjallisuusviitteet

Tilastokeskus 2001. Rakennukset, asunnot ja asuinolot 1999. Helsinki: Tilastokeskus.  
ISBN 951-727-911-6



# **Liite B: Ikkunasta ulos tulevan liekin korkeudesta**

## **Johdanto**

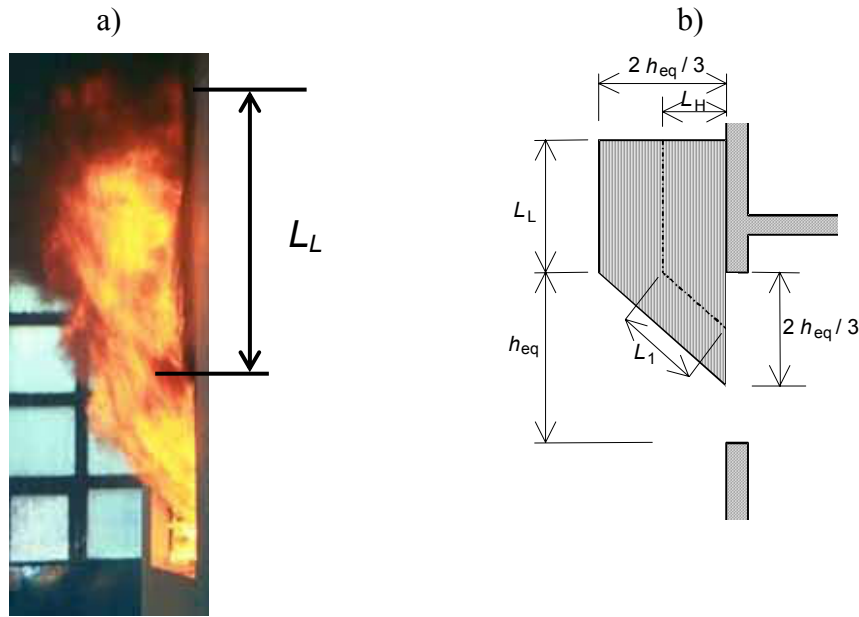
Jos huonetilassa tapahtuvassa palossa palotilan ikkuna (tai ikkunat) särkyvät, kuumat kaasut ja liekit lyövät ulos ikkuna-aukosta. Koska osa ulos tulevista kaasuista on palamiskelpoisia hiilivetyjä, palamista tapahtuu myös palotilan ulkopuolella näiden kaasujen kohdatessa hapetta. Jos liekit ulottuvat yläpuoleisen huoneiston ikkunan korkeudelle riittävän kuumina, on mahdollista, että palo leviää yläpuoleiseen huoneistoon joko siten, että liekkien kuumuus särkee huoneiston ikkunan, tai siten, että liekkien tuottama lämpösäteily sytyttää palon yläpuoleisessa huoneistossa.

Vaara siihen, että palo leviää yläpuolisiin tiloihin, riippuu palotilasta ulos tulevien kuumien kaasujen ja liekkien ulottuvuudesta ja niiden lämpötilajakaumasta pystysuunnassa. Nämä tekijät puolestaan riippuvat palamisen voimakkuudesta eli palotehosta. Jos paloon osallistumaton betoninen julkisivu korvataan paloon osallistuvalla puujulkisivulla, palon voimakkuus kasvaa ja periaatteessa palon leviämisen riski yläpuoleiseen tilaan kasvaa. Tässä tarkastelussa osoitetaan kuitenkin, että puujulkisivun tuoma lisä liekkien korkeuteen on merkityksettömän pieni verrattuna tyypillisen huonepalon voimakkuuteen ja siihen liittyvään vaihtelevuuteen.

## **Liekin korkeus tyypillisessä huonepalossa ja puujulkisivun vaikutus siihen**

### **Malli**

Palotilasta ulos tulevien liekkien korkeus vaihtelee suuresti palon aikana ja eri palotilanteiden välillä. Tietyissä palovaiheissa liekin korkeudelle voidaan kuitenkin määrittää keskimääräinen korkeus: Kuva B1 a) esittää liekin korkeutta täysin kehittyneen palon aikana VTT:ssä tehdyssä palokokeessa ja kuva B1 b) esittää Eurocode 1:ssä esitetyn kaaviollisen mallin täyden palamisen vaiheen liekille [CEN 2002]. Kyseinen malli on johdettu lukuisien palokokeiden perusteella, ja sitä on sovellettu menestyksekkäästi paloturvallisuustekniikassa viimeisten 20 vuoden ajan.



Kuva B1. Liekkien korkeus. a) Palokoe ja b) kaaviollinen esitys Eurocode 1:n mukaisesti [CEN 2002].

Kuvassa B1 esitetyn mallin mukaan liekin korkeus  $L_L$  (metreinä) riippuu palon voimakkuudesta eli palotehosta  $\dot{Q}$  ja ikkuna-aukon koosta (korkeus  $h$  ja leveys  $w$ ) seuraavasti:

$$L_L = 1,9 \left( \frac{\dot{Q}}{w} \right)^{2/3} - h .$$

Tässä kaavassa paloteho ilmaistaan megawatteina (MW).

Liekkien suurimman mahdollisen korkeuden selvittämiseksi pitää määrittää huoneen suurin mahdollinen paloteho. Tämä paloteho voi määräytyä kahdella tavalla:

- Jos ikkuna-aukko on pieni, palon voimakkuutta rajoittaa ikkunan kautta palotilaan kulkeutuvan hapen vähäisyys (happirajoitteinen palo).
- Jos ikkuna-aukko on suuri, palon voimakkuutta rajoittaa se, miten paljon huoneessa on palokuormaa (palavaa pintaa) ja miten voimakkaasti palavaa tämä palokuorma on (polttoainerajoitteinen palo).

Olohuoneen ikkunat ovat tyypillisesti suhteellisen suuria. Useimmiten niiden koko on niin suuri, että palo saa ikkunan kautta riittävästi happea siten, että ikkunan koko ei rajoita palon voimakkuutta. Tällöin siis palon voimakkuuden kannalta on määräävää se, miten hyvin palavaa huoneen palokuorma on eli se, miten voimakkaasti kalusteiden materiaalit osallistuvat paloon (ovatko ne esim. puuta vai muovia) ja miten suuri pinta-

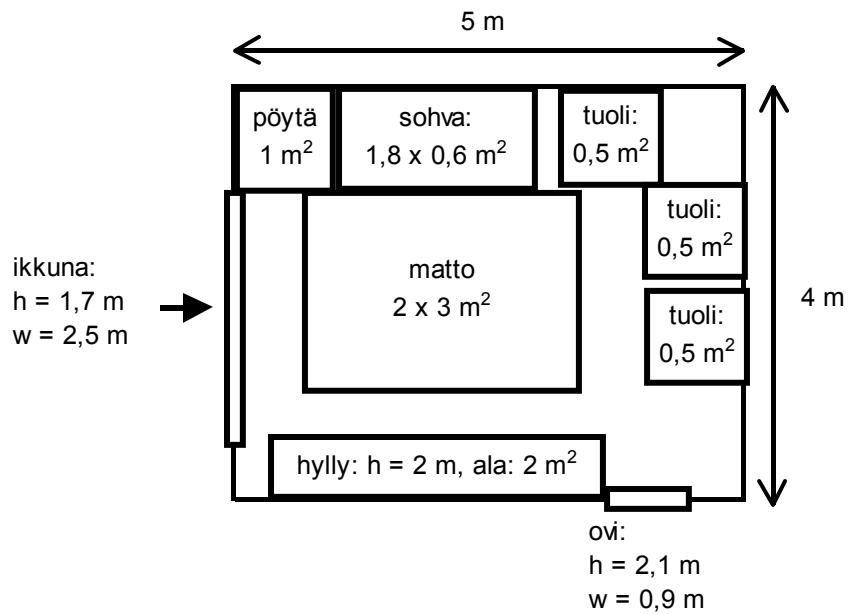
ala voi altistua palolle (esim. täysinäinen kirjahylly voi palaa pienemmällä teholla kuin osittain tyhjä hylly, koska jälkimmäisessä on enemmän palavaa pinta-alaa).

Koska tyyppillisen olohuoneen palon voimakkuus riippuu huoneen palokuorman määrästä ja laadusta, on selvää, että voimakkuus vaihtelee suuresti tilanteesta toiseen: jossain taloudessa olohuoneessa voi olla paljon paksuilla pehmusteilla varustettuja pehmeitä huonekaluja ja lattialla paksu matto, mutta toisessa taloudessa kalustus voi olla selvästi pelkistetympää ja muodostua esim. teräskehyksisistä kangastuoleista. Edellisessä tapauksessa paloteho voi suurimmillaan nousta pariinkymmeneen megawattiin, kun se jälkimmäisessä tapauksessa voi jäädä selvästi alle kymmenen megawatin.

### **Esimerkki**

Seuraavassa tarkastellaan esimerkkinä kuvassa B2 esitetyssä olohuoneessa syttyvän palon leviämistä julkisivulle rikkoutuvan ikkunan kautta. Palotehon määrittämiseksi saadaan tietoja VTT:ssä tehdyistä huonekalujen palokokeista (CBUF-hanke) ja kirjallisuudesta (esim. Uudessa-Seelannissa on viime vuosina tutkittu laajasti huonepaloja ja eri kalusteiden osuutta niihin). Näiden tietojen perusteella voidaan esittää seuraavat arvot eri kalusteiden palaessaan luovuttamille palotehoille:

- sohva: 3 MW
- pehmustettu tuoli: 1,5 MW
- matto: 3 MW
- lattia: 2 MW
- hylly + TV: 0,8 MW
- pöytä: 0,1 MW.



Kuva B2. Yksinkertaistettu olohuoneen pohja kalusteineen.

On selvää, että eri huoneistojen tulipaloissa sohva ei luovuta tasan 3 MW:n suuruista palotehoa, vaan paloteho vaihtelee materiaalien, rakenteen ja esim. sohvalla olevien tyynyjen määrän mukaan. Myös ympäristön olosuhteet vaikuttavat, ja jopa täsmälleen samanlaisen sohvan palamisen palotehon huippuarvo vaihtelee. Sama pätee kaikille muillekin edellä mainituille arvoille. Paloturvallisuutta arvioitaessa palotilanteiden vaihtelevuuden ottaminen huomioon on tärkeää, ja se pystytään tekemään laajentamalla tarkastelu todennäköisyysperustaiseksi tarkasteluksi.

Tässä yksinkertaisessa esimerkissä eri palokuormien ja palotilanteiden vaihtelevuus otetaan huomioon yksinkertaisesti olettamalla, että kaikki edellä esitetyt palotehoarvot voivat vaihdella 20 % suurempaan tai pienempään suuntaan edellä mainitusta tyypillisestä arvosta. Tämän suuruinen vaihtelevuus on varsin tyypillinen palotilannetta kuvaaville suureille: esim. eräässä uusiseelantilaisessa tutkimuksessa tuolien palotehon huippuarvon 95 %:n luotettavuustasoa vastaava hajonta ( $2 \times$  keskiarvo) oli juuri 20 %.

Koska palotilanteessa ulos oleva aukko syntyy ikkunan rikkoutuessa, ei tämän aukon koko ole täsmällisen hyvin määritelty suure. Lisäksi ikkunakoko vaihtelee talokohdaisesti. Tässä tarkastelussa ikkunan korkeuden oletetaan olevan 1,5–1,9 m ja ikkunan leveyden 2–3 m. Oven kautta tapahtuva tuuletus jätetään tässä tarkastelussa ottamatta huomioon; yksinkertaistus ei ole järin merkittävä, ja siitä on sinänsä helppo myös luopua.

Puujulkisivun vaikutus liekkien korkeuteen voidaan ottaa huomioon lisäämällä huoneen palotehoon puujulkisivun tuottama lisäpaloteho. Tämän lisäpalotehon suuruutta voidaan arvioida paloon osallistuvan puun pinta-alan ja puupinnan palaessaan luovuttaman palotehon avulla. Tässä tarkastelussa paloon osallistuvan puun pinta-alaksi oletetaan palotilan ja sen yläpuolisen huoneiston välinen julkisivun osa, jonka leveys on sama kuin ikkunan leveys ja korkeus on ikkunoiden pystysuora etäisyys, joka tässä oletetaan yhden ikkunan korkeuden suuruiseksi. Puupinnan palaessaan luovuttama paloteho vaihtelee esim. pinnan hiiltymisasteen ja pinnan saaman hapen määrän mukaan. Suurin neliömetriä kohti vapautuva palotehoarvo on noin  $0,12 \text{ MW/m}^2$ , joka havaitaan laboratoriokokeissa hyvissä palamisolosuhteissa. Pienimmäksi arvoksi voidaan arvioida  $0,05 \text{ MW/m}^2$ , joka vastaa palamista tilanteessa, jossa hapen saanti on varsin heikkoa (koska huonepalo kuluttaa paljon happea, ovat julkisivulla vallitsevat olosuhteet tyypillisesti vähähappiset).

Seuraavassa tarkastellaan kolmea tilannetta (skenaariota):

1. Julkisivu ei osallistu paloon. Huoneen keskimääräinen leveys on 4,5 m ja syvyys 4,5 m, molempien vaihdellessa 0,5 m näiden arvojen ympärillä
2. Julkisivu ei osallistu paloon. Huoneen keskimääräinen leveys on 5,5 m ja syvyys 3,7 m, molempien vaihdellessa 0,5 m näiden arvojen ympärillä, eli keskimääräinen pinta-ala sama kuin tapauksessa 1.
3. Julkisivu osallistuu paloon edellä kuvatulla tavalla. Huoneen dimensiot samat kuin tapauksessa 1.

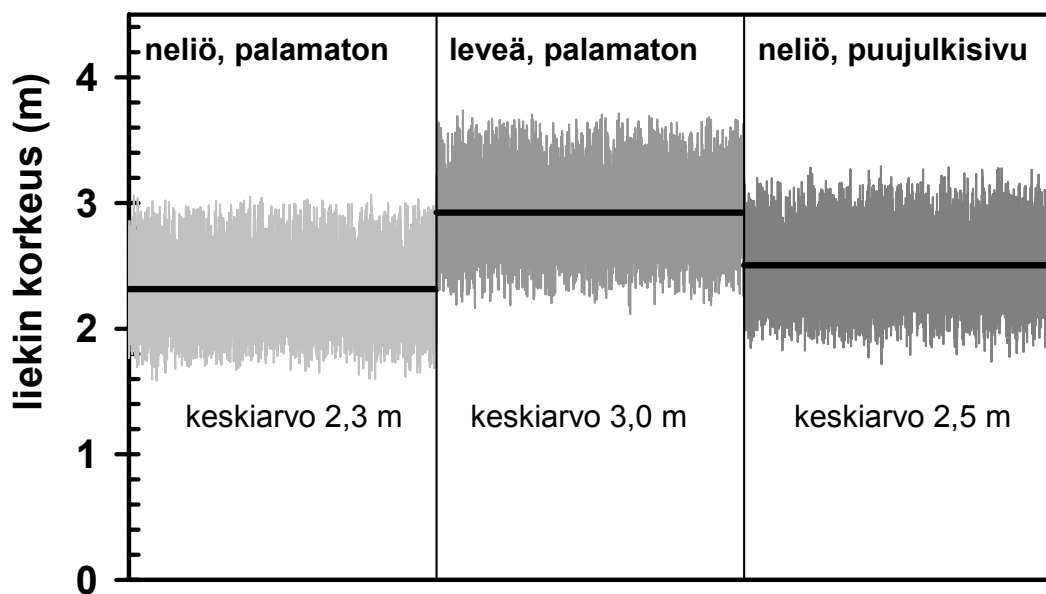
Tilanteiden laskennallisessa tarkastelussa eri tekijöiden annettiin vaihdella edellä kuvatulla tavalla ja laskentakertoja suoritettiin näin muodostuvilla erilaisilla lähtöarvokombinaatioilla 5 000 kappaletta kussakin skenaariossa.

Kuva B3 esittää eri skenaariossa lasketut liekin korkeuden arvot. Nähdään, että

- puujulkisivun aiheuttama muutos, noin 0,2 m, on pieni verrattuna liekin korkeuteen, noin 2,5 m
- kunkin skenaarion sisäinen vaihtelu on noin 0,6 m (kaksi kertaa keskihajonta), joka on selvästi suurempi kuin puujulkisivun aiheuttama muutos, noin 0,2 m
- pieni muutos huoneen geometriassa (huoneen muodon muutos pinta-alan säilyessä ennallaan) aiheuttaisi suuremman muutoksen liekin korkeuteen kuin julkisivumateriaalin muuttaminen palavaksi.

Lisäksi huoneessa olevan palokuorman laatu ja määrä vaikuttavat ulos tulevan liekin kokoon merkittävästi. Tätä ei tässä malliteta, sillä käytetyillä huoneen ja ikkunan dimensioilla palo on happirajoitettu, jolloin laskennassa käytetty Law'n mallin antama

liekin korkeus ei riipu huoneessa olevasta palokuormasta. Palokuorman laadulla on suuri merkitys ulos tulevan liekin kokoon etenkin, jos palava materiaali sulaa ja muodostaa lammikkoja, jolloin suuri osa syntyvistä palavista kaasuista voi palaa rakennuksen ulkopuolella, jossa on käytössä palamiseen vaadittavaa happea. Selluloosapohjaisilla ja muillakin hiiltyvillä materiaaleilla ilmiö ei ole yhtä voimakas, sillä hiiltymisreaktion tarvitsema happi rajoittaa pyrolyysituotteiden syntyä. Kuitenkin tässäkin tapauksessa palokuorman laadulla ja sen sijoittelulla huoneeseen on suuri vaikutus palotehoon ja ulkopuolisten liekkien kokoon. Tämä vaihtelu on keskimääräisen arvon (esim. Law'n mallin mukainen paloteho) ympärillä tekijän kaksi luokkaa kumpaakin suuntaan, kuten Harmathyn [1980/81] esittämästä tuloksista voidaan havaita.



Kuva B3. Liekin korkeus eri skenaarioissa. Harmaat alueet kuvaavat tulosten vaihtelua keskiarvon (yhtenäinen viiva) ympärillä.

## Yhteenveto

Puujulkisivun tuoma lisä huonepalosta ulos tulevien liekkien korkeuteen on pieni verrattuna sekä liekkien keskimääräiseen korkeuteen että eri palotilanteiden väliseen vaihtelevuuteen. Siksi liekkien korkeuteen nähden julkisivumateriaalin vaihtaminen paloa levittämättömästä palavaksi ei lisää olennaisesti palon leviämiskaavaa yläpuoleiseen huoneistoon lieskahtaneen huonepalon tapauksessa.



Tässä mielessä säädökset, jotka rajoittavat julkisivumateriaalin laatua mutta eivät mitenkään puutu huoneistojen palokuorman määrään tai laatuun, edustavat varsin tyypillistä esimerkkiä historiallisen kehityksen muovaamista teknisiä seikkoja koskevasta lain-säädännöstä: joissain yksityiskohdissa laissa voidaan esittää varsin tiukkoja rajoituksia, joiden vaikutus riskien kannalta ei välttämättä ole merkittävä, mutta joissain kohdissa laki voi sallia varsin suuriakin vapauksia riskien kannalta merkittävässä yksityiskohdissa. Tätä ei toki tule pitää lain ”vikana”, mutta järkevän kehityksen kannalta tällaisiin kohtiin on hyvä voida puuttua. Palotekniikassa riskiperustaiset lähestymistavat tarjoavat menetelmän oikaista riskien kannalta epätasapainossa olevia lain vaatimuksia. Tosin yksilönvapauteen liittyvien seikkojen perusteella asuntojen sisäpuoliseen sisustukseen ja seinien verhoiluun vaikuttaminen ei ole yhtä suoraviivaista kuin rakennuksen rakenteisiin ja ulkopintoihin liittyvät vaatimukset.

### **Kirjallisuusviitteet**

CEN 2002. Eurocode 1: Actions on Structures – Part 1–2: General Actions – Actions on structures exposed to fire. Brussels: CEN. 59 s. (EN 1991-1-2:2002 E.)

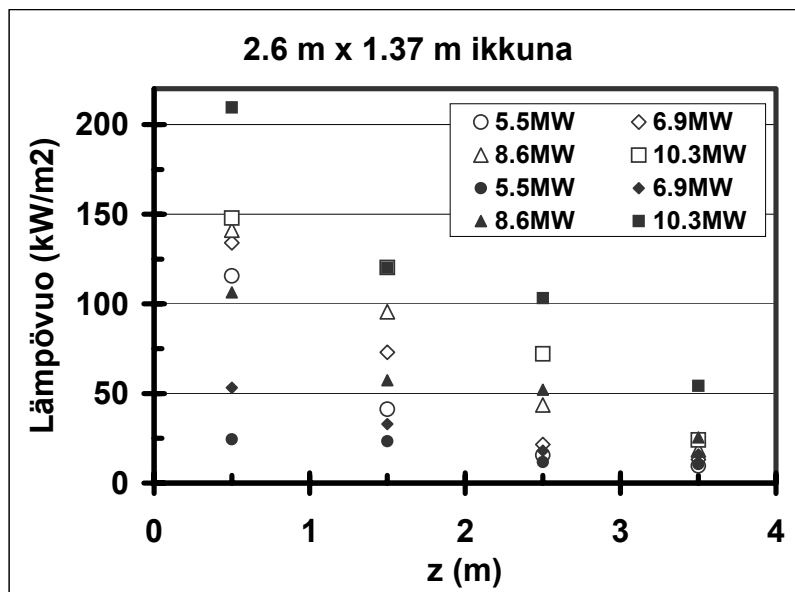
Harmathy, T. Z. 1980/81. Some Overlooked Aspects of the Severity of Compartment Fires. Fire Safety Journal, Vol. 3, s. 261–271.



## Liite C: Käytetyn mallin kelpoisuuden osoittaminen

Käytettyä palon leviämisen mallia, ns. Law'n malli [CEN 2002], ikkunasta ulos tulevalle liekille yhdistettynä Backin ym. [1994] esittämään malliin, joka antaa seinään kohdistuvan lämpörasituksen, verrattiin Oleszkiewiczin [1990] kokeellisiin tuloksiin. Lisäksi käytetyllä mallilla mallitettiin Leipzigissa Saksassa loppuvuodesta 2003 tehtyä täyden mittakaavan koetta siten, että ennen koetta mallitettiin palon leviämistä käytetyllä mallilla ja verrattiin sen antamia ennusteita kokeen aikana tehtyihin havaintoihin palotilanteen etenemisestä. Tämän lisäksi tätä täyden mittakaavan koetta mallitettiin myös etukäteen tekemällä palotilanteelle kenttämallilaskuja FDS3-ohjelmalla, tosin kenttämallin antamia tuloksia ei hyödynnetty suoraan todennäköisyystarkasteluissa käytetyn mallin kehittälyssä.

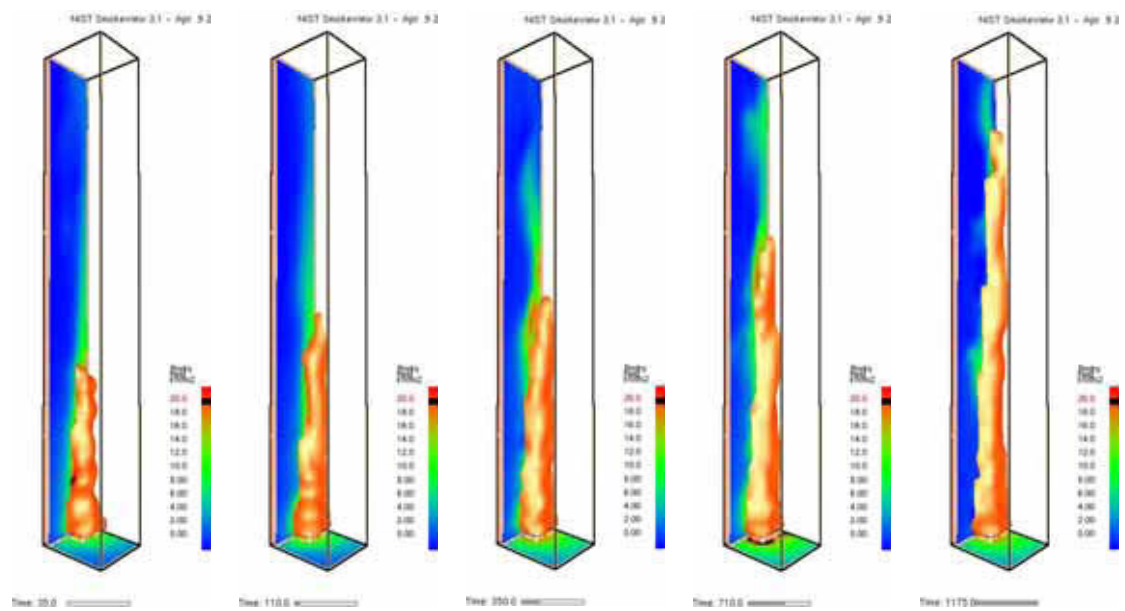
Kuvassa C1 on verrattu käytetyn laskentamallin antamia lämpörasituksen suuruuksia ikkunan yläpuolella kokeellisiin tuloksiin. Kokeissa huoneen palotehoa vaihdeltiin muuttamalla propaanin virtausta polttimeen ja ikkunan yläpuoleiseen ulkoseinään kohdistuvaa lämpövuota mitattiin eri korkeuksilla. Juuri ikkunan yläpuolella mallin antamat lämpövuot ovat selvästi suurempia pienillä palotehoilla, sillä näillä palotehoilla ei kokeissa tullut liekkejä ikkunasta ulos.



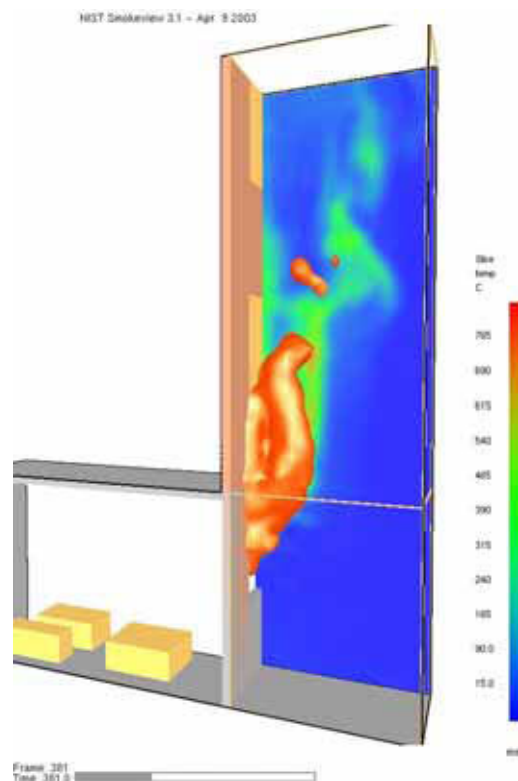
Kuva C1. Ikkunasta ulos tulevan liekin aiheuttama lämpörasitus julkisivulla. Mustat pisteet ovat Oleszkiewiczin kokeelliset tulokset ja vaaleat käytetyn mallin antamat lämpövuot ( $\text{kW}/\text{m}^2$ ). Huomaa, että kokeissa pienimmillä polttimen tehoilla ikkunasta huoneeseen tuleva ilma riitti polttamaan polttoaineen palohuoneessa, jolloin siis ikkunan ulkopuolella ei ollut näkyvää liekkiä.

Saksassa vuoden 2003 lopulla tehdyissä täyden mittakaavan kokeissa (Leipzig, talot rakennettu Itä-Saksan aikana) poltettiin kaksi vierekkäistä huonetta, joista isompi oli 3,45 m leveä, 4,2 m syvä ja 2,55 m korkea, ja pienemmän dimensiot olivat 2,25 m × 4,2 m × 2,55 m. Ikkunat olivat molemmissa tapauksissa 1,25 m korkeat, ja niissä oli kaksi 4 mm:n lasia kiinni samassa karmissa noin yhden senttimetrin etäisyydellä toisistaan. Suuremman huoneen ikkuna oli 1,55 m leveä ja pienemmän huoneen ikkuna oli 1,0 m leveä. Huoneiden ovet oli suljettu, mutta ovien alalaitaan oli sijoitettu puhaltimet, joista pystyi tarvittaessa puhaltamaan palotilaan lisäilmaa, jotta palotilanne saataisiin vastaamaan aina lieskahtanutta huoneistopaloa. Taloon oli asennettu ennen polttoa betonisen julkisivun päälle vaakalautoitus kuusilautapaneelista, jonka alla oli tuuletusrako (koolaus paneelin alla). Palokuormaa huoneissa oli noin 600–700 MJ/m<sup>2</sup>, ja se koostui kokoa 40 mm × 40 mm × 1 000 mm olevista rimoista kootuista kuution kokoisista pinoista, joissa oli 50 % ilmaa. Lisäksi huoneissa oli kaksi 0,3 m × 0,6 m:n kokoista matalaa allasta isopropanolia sytytyslähteinä. Palotilan yläpuoleisten huoneiden ikkunat olivat ehjät ennen kokeen alkua. Huoneiden sisälle oli laitettu 10 cm:n päähän sisemmästä lasista roikkumaan puuvillaverhot, jotka olivat indikaattoreina palon leviämislle yläpuoleisiin huoneisiin.

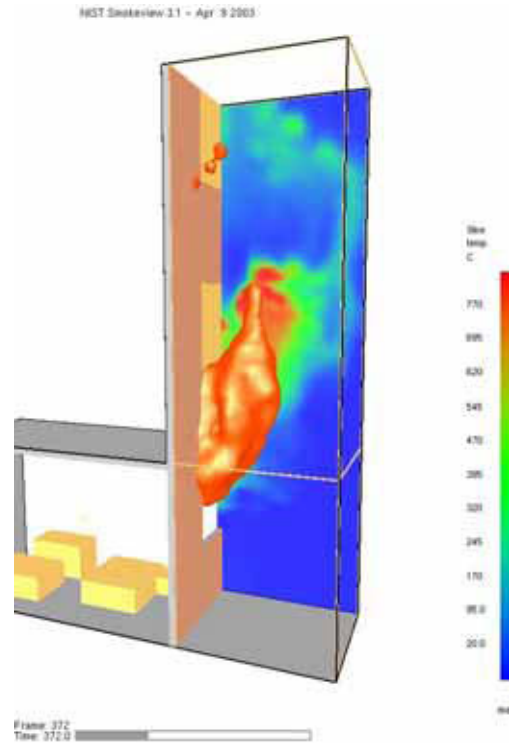
Käytettäessä kenttämalliohjelmaa simuloimaan palon kehitystä puisella julkisivulla pitää puulle käytettävät parametrit kalibroida sopivasti. Käytetyt parametrit valittiin siten, että ne toistivat VTT:ssä aikaisemmin tehdyt kokeet palon leviämislle ylöspäin [Kokkala ym. 1997; Hakkarainen ym. 1996; Hakkarainen ym. 1997; Hakkarainen & Oksanen 2002]. Kuvassa C2 on esitetty laskettu palon eteneminen pitkin julkisivua. Laskenta simuloi siis VTT:ssä tehtyjä kokeita, ja laskenta antaa liekin leviämismvauhdiksi noin 30 cm/min, mikä on hyvin sopusoinnussa kokeellisten tulosten kanssa. Näitä parametrejä käytettiin tämän jälkeen Saksassa tehtävien kokeiden mallituksessa. Laskennan tuloksia on esitetty kuvissa C3–C5. Laskennan tulokset näyttävät visuaalisesti vastaavan kokeita varsin hyvin. Pienemmän huoneen tapauksessa palo ei kokeessa levinnyt yläpuoleisen ikkunan yläpuolelle, mutta FDS3-laskussa palo leviää hieman ennen 20:tä minuuttia sinne. Tämä selittyy sillä, että kokeessa palokuorma paloi voimakkaasti paljon lyhyemmän ajan, kun taas FDS3-simuloinneissa palokuorma riitti aina simuloinnin loppuun saakka.



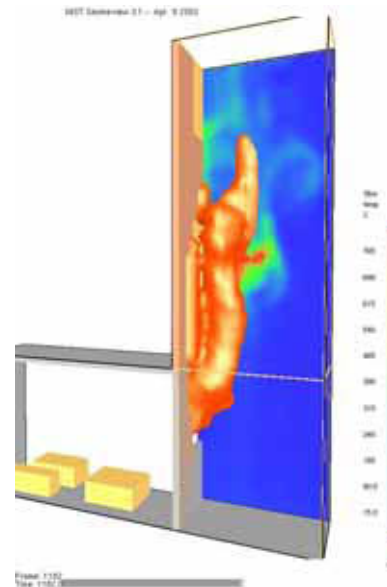
Kuva C2. FDS-mallin kalibrointi: 0,5 min, 2 min, 6 min, 12 min, 20 min. Palo leviää noin 30 cm/min ylöspäin. Kokeelliset tulokset [Kokkala ym. 1997]: 300 kW:n poltin, seinä noin 8 m, tulos noin 20–30 cm/min.



Kuva C3. Pienempi huone, kokeen alkuvaihe (alle 6 min) ja vastaava FDS-laskun tulos.



*Kuva C4. Suurempi huone, kokeen alkuvaihe (noin 6 min) ja vastaavat FDS-laskun tulos.*



*Kuva C5. Pienempi huone, FDS-malli noin 20 min. (FDS-laskuissa palokuorman oletettiin riittävän palohuoneessa koko laskun ajan, kun taas kokeissa palokuorman täyden palamisen vaihe on lyhyempi.)*

Saksassa tehtyä koetta mallitettiin myös käyttämällä esimerkkikohteen riskianalyysissa käytettyä menetelmää eli ns. Law'n mallista laskettiin liekin korkeus ikkunan ulkopuolella silloin, kun julkisivu on paloa levittämätöntä materiaalia, ja sovitettiin tähän Backin malli seinään kohdistuvasta lämpövuosta. Puisen julkisivun vaikutus huomioitiin lisäämällä Backin mallissa käytettävää palotehoa palavan julkisivun teholla (palavan puujulkisivulle käytettiin keskimäärin  $90 \text{ kW/m}^2$  -palotehoa).

Mallia verrataan kokeisiin taulukoissa C1 ja C2. On huomattava, että tässä ei sovitettu mitään parametreja kokeisiin, vaan mallitus tehtiin ennen koetta käyttämällä samoja parametreja kuin esimerkkikohteen analyysissa, eli lasketut tulokset ovat mallin antamia ennusteita. Taulukoista nähdään, että käytetty malli vastaa varsin hyvin kokeellista ti-lannetta. Se, että isomman huoneen yläpuolelta hajosivat kokeessa molemmat ikkunat samaan aikaan, saattaa liittyä siihen, että ikkunat olivat kiinni samassa karmissa varsin lähekkäin toisiaan, jolloin yhden lasin hajoaminen saattaa rikkoa toisenkin lasin, vaikka tämä lasi ei olisikaan vielä lämmennyt merkittävästi. Tähän asiaan saadaan toivottavasti lisää tietoa koesarjan myöhempien kokeiden analysoinnissa eli selvitetään, rikkoontuvatko molemmat lasit aina vai säilyykö joissakin kokeissa sisempi lasi ehjänä pidempään.

Tuloksia tulkittaessa on huomioitava, että lasin särkyminen tulipalossa on hyvin satunnainen prosessi, joka riippuu monesta tekijästä, muun muassa siitä, miten lasi on kiinnitetty karmiin ja onko lasin reunoihin muodostunut pieniä säröjä sitä asennettaessa. Tulipalossa lasiin muodostuu suuria lämpötilaeroja karmin sisään varjoon jäävän osan ja tulelle altistuvan osan välille lasin varsin hyvän lämmöneristävyuden takia. Tällöin lämpölaajenemisen vuoksi lasiin muodostuu karmin lähetyvillä suuria jännityksiä, jotka saavat lasin säröilemään.

*Taulukko C1. Saksassa 17.10.2003 tehdyn palokokeen pienen huoneen palon etenemisen vaiheet: laskentamallin antamien ennusteiden vertaaminen kokeissa tehtyihin havaintoihin.*

<b>Tapahtuma/tekijä</b>	<b>Laskentamallin ennuste</b>	<b>Kokeessa tehty havainto</b>
Liekin korkeus	2,1 m eli liekki ulottuu 2. kerroksen ikkunan puolivälin tasalle.	Suurimmillaan liekin korkeus vaihteli 2. kerroksen ikkunan alareunasta yläreunaan (noin 1,4–2,8 m).
Verhojen syttyminen ikkunoiden läpi	Ikkunan läpäisevä lämpösäteily ei ole niin voimakasta, että se pystyisi sytyttämään verhot ikkunoiden läpi.	Pienen huoneen yläpuolisissa tiloissa verhot eivät syttyneet.
2. kerroksen ikkunoiden särkyminen	3–6 minuuttia sen jälkeen, kun liekit tulevat ulos palotilan ikkunasta (ulompi lasi noin 3 min:n kuluttua ja sisempi viimeistään 6 min:n kuluttua).	Ulompi ikkuna rikkoutui runsaan 5 min:n kuluttua siitä, kun liekit tulivat ulos palotilan ikkunasta. Sisempi ikkuna särkyi 6 min:n kuluttua ulomman lasin särkymisestä (eli 11 min siitä hetkestä, kun liekit tulivat ulos palotilan ikkunasta).
3. kerroksen ikkunoiden särkyminen	Ulompi lasi särkyi noin 10 min sen jälkeen, kun liekit tulevat ulos palotilan ikkunasta, ja sisempi viimeistään 7 min:n kuluttua ulomman lasin särkymisestä.	3. kerroksen lasi ei särkynyt. On huomattava, että palo ei levinnyt ylöspäin enää noin 12,5 min:n kuluttua siitä, kun liekit tulevat ulos palotilan ikkunasta.



*Taulukko C2. Saksassa 17.10.2003 tehdyn palokokeen suuren huoneen palon etenemisen vaiheet: laskentamallin antamien ennusteiden vertaaminen kokeissa tehtyihin havaintoihin.*

<b>Tapahtuma/tekijä</b>	<b>Laskentamallin ennuste</b>	<b>Kokeessa tehty havainto</b>
Liekin korkeus	2,6 m eli liekki ulottuu lähes 2. kerroksen ikkunan yläreunan tasalle.	Suurimmillaan liekin korkeus vaihteli 2. kerroksen ikkunan puolivälistä hieman yläkarmin yläpuolelle (noin 2,1–2,8 m).
Verhojen syttyminen ikkunoiden läpi	Ikkunan läpäisevä lämpösäteily voi juuri ja juuri riittää sytyttämään verhot, mutta käytännössä ikkunat särkyvät nopeasti ja verhot syttyvät ikkunoiden särkymisen takia.	Runsaat 4 minuuttia sen jälkeen, kun liekit tulivat ulos palotilan ikkunasta, 2. kerroksen ikkunalasit särkyivät ja verhot syttyivät.
2. kerroksen ikkunoiden särkyminen	3–6 minuuttia sen jälkeen, kun liekit tulevat ulos palotilan ikkunasta siten, että ulompi lasi särkyi noin 3 min:n kuluttua ja sisempi viimeistään 6 min:n kuluttua ulomman särkymisestä.	Ulompi ikkuna rikkoutui runsaan 4 min:n kuluttua siitä, kun liekit tulivat ulos palotilan ikkunasta. Sisempi ikkuna särkyi samaan aikaan; syy tähän oli ilmeisesti se, että kyseisessä itäsaksalaisessa talossa ikkunaruudut olivat kiinni samassa karmissa.
3. kerroksen ikkunoiden särkyminen	Ulompi lasi särkyi noin 7,5 min sen jälkeen, kun liekit tulevat ulos palotilan ikkunasta ja sisempi viimeistään 6 min:n kuluttua ulomman lasin särkymisestä.	Ulompi lasi särkyi 8 min sen jälkeen, kun liekit tulevat ulos palotilan ikkunasta, ja sisempi lasi hetkeä myöhemmin. Sisemmän lasin nopeaan särkymiseen vaikutti ilmeisesti edellä mainittu syy (lasit kiinni samassa karmissa).
4. kerroksen ikkunat	Uloin lasi saattaa säröillä n. 15 min sen jälkeen, kun liekit tulevat ulos palotilan ikkunasta (mikäli palo leviää puuseinää pitkin ylös).	Kokeen lopussa oli havaittavissa, että 4. kerroksessa ulommasta lasista oli pala poissa.

Edellä esitetyn perusteella voidaan todeta, että todennäköisyyspohjaisessa palon leviämisen tarkasteluissa tässä työssä käytetty malli palon leviämismallille kuvaa todellisuutta riittävän tarkasti, kun sitä tarkastellaan koko riskitarkastelun suhteen. Suurin vaikutus käytetyllä riskien arvioimismenetelmällä saatuihin tuloksiin on palokunnan etäisyydellä palopaikasta. Tämäkään ei kuitenkaan vaikuta merkittävästi betoni- ja puujulkisivujen riskien suhteelliseen eroon, vaan se muuttaa molempiin liittyviä riskejä samalla tavoin, kun tarkastellaan palon leviämistä yläpuoleisiin asuntoihin. Muilla tekijöillä, kuten huoneen muoto, ikkunan koko ja mallin epävarmuus, ei ole myöskään suurta merkitystä mallista saataviin suhteellisiin riskeihin, kuten kohdassa 5 esitetyistä kuvista voidaan päätellä. Samoin esimerkiksi palon havainnointiajalla ei ole merkitystä suhteellisiin riskeihin, vaikka se riskien absoluuttista tasoa muuttaisikin. Lisäksi tarkastellussa esi-

merkkitaapauksessa riskien absoluuttinen taso (betonijulkisivulle) normitetaan palotilastojen kanssa käyttämällä keskimääräistä toimintavalmiusaikaa, jolla siis taataan se, että asunnoista ikkunoiden kautta julkisivuille pääsevien palojen määrä on samaa suuruusluokkaa kuin tilastoista voidaan päätellä. Tämän vuoksi liekin julkisivuun aiheuttaman lämpörasituksen laskennassa käytetyn mallin vaikutus loppupäätelmiin on vähäinen verrattuna muihin tehtyihin oletuksiin ja itse tulipalotapahtuman luonnolliseen satunnaisuuteen.

## Kirjallisuusviitteet

Back, G., Beyler, C. L., DiNunno, P. & Tatem, P. 1994. Wall Incident Heat Flux Distributions Resulting from an Adjacent Fire. Teoksessa: Kashiwagi, T. (toim.). Fire Safety Science – Proceedings of the Fourth International Symposium. Ottawa, Canada, July 13–17, 1994. Boston, USA: International Association for Fire Safety Science. S. 241–252.

CEN 2002. Eurocode 1: Actions on Structures – Part 1–2: General Actions – Actions on structures exposed to fire. Brussels: CEN. 59 s. (EN 1991-1-2:2002 E.)

Hakkarainen, T., Oksanen, T. & Mikkola, E. 1996. Puujulkisivujen paloturvallisuus sprinklatuissa kerrostaloissa. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 29 s. + liitt. 16 s. (VTT Tiedotteita 1736.) ISBN 951-38-4892-2

Hakkarainen, T., Oksanen, T. & Mikkola, E. 1997. Fire behaviour of facades in multi-storey wood-framed houses. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 42 s. + liitt. 16 s. (VTT Tiedotteita 1823.) ISBN 951-38-5098-6

Hakkarainen, T. & Oksanen, T. 2002. Fire Safety Assessment of Wooden Facades. Fire and Materials, Vol. 26, No 1, s. 7–27.

Kokkala, M., Mikkola, E., Immonen, M., Juutilainen, H., Manner, P. & Parker, W. J. 1997. Large-scale upward flame spread tests on wood products. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 29 s. + liitt. 116 s. (VTT Tiedotteita 1834.) ISBN 951-38-5114-1

Oleszkiewicz, I. 1990. Fire Exposure to Exterior Walls and Flame Spread on Combustible Cladding. Fire Technology, Vol. 26, s. 357–375.

Tekijä(t) Korhonen, Timo & Hietaniemi, Jukka			
Nimeke <b>Puujulkisivujen paloturvallisuus lähiökerrostaloissa</b>			
Tiivistelmä Suomen rakennusmääräyskokoelman (SRMK) osan E1 määräysten ja ohjeiden paloluokat ja lukuarvot määrittelevät rajoituksia puun käytölle P1-paloluokan rakennusten julkisivuissa ja muissa rakenteissa, mutta palomääräykset eivät estä puun käyttämistä näissä kohteissa. Kyse on tavasta, jolla paloturvallisuutta koskevien olennaisten vaatimusten täyttyminen osoitetaan. Yleisimmin käytetty tapa on toteuttaa rakennus SRMK:n osan E1 määräysten ja ohjeiden paloluokkien ja lukuarvojen mukaisesti. Vaihtoehtoinen tapa on suunnitella ja rakentaa rakennus perustuen oletettuun palonkehitykseen, joka kattaa kyseisessä rakennuksessa todennäköisesti esiintyvät palotilanteet. Tällöin voidaan käyttää myös SRMK:n osan E1 määräysten ja ohjeiden paloluokista ja lukuarvoista poikkeavia ratkaisuja, kunhan ne osoitetaan turvallisiksi. Tämän vaihtoehtoisen tavan käyttäminen vaatii perustukseen vankkaa, todennettua aineistoa. Julkaisussa esitetyn työn tarkoituksena on tuottaa tällaista aineistoa puisista julkisivuratkaisuista.  Julkaisussa esitetään riskien suuruuden arviointiin perustuva paloturvallisuustarkastelu puujulkisivujen käyttämisestä korjausrakentamisen yhteydessä. Tehdyssä riskianalyyssissa otettiin huomioon palokunnan sammutus- ja pelastustoiminta käyttämällä VTT:ssä kehitettyä ajasta riippuvaa tapahtumapuumallia. Puisen julkisivun vaikutuksen palon leviämiseen yläpuoleiseen asuntoon havaittiin olevan pieni verrattuna muihin palotilanteeseen liittyviin (ja usein satunnaisiin) tekijöihin. Esimerkiksi palokunnan ajomatalla on selvästi suurempi merkitys rakennuksen paloriskeihin kuin julkisivumateriaalilla. Lisäksi rakennuksen ja sen huoneistojen geometrioiden muutoksilla on usein suurempi vaikutus rakennuksen paloriskeihin kuin julkisivumateriaalilla. Asuinkerrostalopaloissa henkilövahingot syntyvät pääsääntöisesti palohuoneistossa sekä porrashuoneeseen levinneen savun aiheuttamina. Näihin julkisivun materiaalilla ei ole vaikutusta. Aineellisten vahinkojen muodostumiseen julkisivumateriaalilla on suurempi vaikutus, ja tämän vuoksi on syytä kiinnittää huomiota puujulkisivun suunnitteluun siten, että palo ei pääse esteettömästi leviämään räystäään kautta mahdolliseen yläpohjan onteloon.			
Avainsanat fire safety, fire prevention, facades, wooden structures, apartment buildings, risk analysis, fire scenarios, residential buildings			
Toimintayksikkö VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Kivimiehentie 4, PL 1803, 02044 VTT			
ISBN 951-38-6482-0 (nid.) 951-38-6483-9 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Projektinnumero R3SU00096	
Julkaisu-aika Elokuu 2004	Kieli suomi, engl. tiiv.	Sivu- ja 58 s. + liitt. 36 s.	Hinta B
Projektin nimi Puun käyttö korjausrakentamisessa PUUTOPA		Toimeksiantaja(t) Wood Focus Oy	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	



Author(s) Korhonen, Timo & Hietaniemi, Jukka			
Title <b>Fire safety of wooden facades in suburban block of flats</b>			
Abstract <p>The fire classes and numerical criteria provided by the regulations and guidelines given in the part E1 of the National Building Code of Finland define restrictions to the use of wood in the facades and other structures of P1-class buildings, but the Code does not prevent the use of wood in these structures. The point is to attest that the essential requirements considering fire safety are fulfilled. The conventional way is to design and execute the building according to the fire classes and numerical criteria provided by the regulations and guidelines stated in the part E1 of the National Building Code of Finland. The alternative way is to design and execute the building based on design fires that cover the most probable fire scenarios. In that case one can use constructions that differ from the fire classes and numerical criteria provided by the regulations and guidelines given in the part E1 of the National Building Code of Finland, if these constructions are shown to be safe. The use of this alternative way demands that there is firm and verified material on this subject. The aim of this study is to produce such information related to the wooden facades.</p> <p>This report presents a fire safety analysis of wooden facades using a quantitative risk analysis. The rescue and extinguishing actions of the fire brigade are considered by using the time-dependent event tree method developed at VTT. The effect of the wooden facade on the fire spread to the above apartments was found to be small as compared to the other (and often random) variables related to the fire scenario. For example, the driving distance of the fire brigade has clearly a larger effect on the fire risks of the building than the material of the facade. Also the geometries of the building and its apartments have in many cases larger effects on the fire safety of the building than the material of the facade. The injuries and deaths in fires in multi-storey dwellings occur mainly in the fire apartment or due to smoke in staircases. The material of the facade has no influence on these consequences. The material of the facade has a greater effect on the damage to property and, thus, the facade should be planned in such a way that the fire can not freely spread through the eaves to the possible voids in the roof structure.</p>			
Keywords fire safety, fire prevention, facades, wooden structures, apartment buildings, risk analysis, fire scenarios, residential buildings			
Activity unit VTT Building and Transport, Kivimiehentie 4, P.O.Box 1803, FIN-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-6482-0 (soft back ed.) 951-38-6483-9 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )			Project number R3SU00096
Date August 2004	Language Finnish, english abstr.	Pages 58 p. + app. 36 p.	Price B
Name of project Puun käyttö korjausrakentamisessa PUUTOPA		Commissioned by Wood Focus Ltd	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (soft back edition) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 9 456 4404 Fax +358 9 456 4374	



## VTT TIEDOTTEITA – RESEARCH NOTES

### VTT RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIikka – VTT BYGG OCH TRANSPORT – VTT BUILDING AND TRANSPORT

- 2195 Koota, Jaana. Market review and study of success characteristics in construction companies. Case: United States. 2003. 41 p. + app. 6 p.
- 2197 Koskela, Lauri & Koskenvesa, Anssi. Last Planner -tuotannonohjaus rakennustyömaalla. 2003. 82 s. + liitt. 20 s.
- 2198 Ilomäki, Sanna-Kaisa. Kehitysryhmätyöskentely organisaation oppimisen välineenä. Tapaus-tutkimus tietojärjestelmän käytönaikaisesta kehittämisestä. 2003. 76 s. + liitt. 7 s.
- 2200 Andstén, Tauno, Keski-Rahkonen, Olavi & Myllymäki, Jukka. Bursting potential of portable fire extinguishers at elevated temperatures. 2003. 36 p. + app. 8 p.
- 2202 Hietaniemi, Jukka, Hakkarainen, Tuula, Huhta, Jaakko, Jumppanen, Ulla-Maija, Kouhia, Ilpo, Vaari, Jukka & Weckman, Henry. Ontelotilojen paloturvallisuus. Ontelopalojen leviämisen katkaiseminen. 2003. 168 s. + liitt. 52 s.
- 2206 Sarja, Asko, Laine, Juhani, Pulakka, Sakari & Saari, Mikko. INDUCON-rakennuskonsepti. 2003. 66 s. + liitt. 35 s.
- 2210 Salonvaara, Mikael & Nieminen, Jyrki. Betonirakenteiden tuuletus ja lämmöneristävyyys. 2003. 58 s. + liitt. 8 s.
- 2211 Koivu, Tapio, Laine, Tuomo, Iivonen, Veijo & Gonzales, Dan. Options for the Finnish FM/AEC software packages for market entry in the U.S. 2003. 88 p.
- 2214 Ekholm, Virpi. Kerrostalon muuraus- ja rappaustyöt talvella. Toteutusedellytysten kehittäminen. 2003. 80 s. + liitt. 5 s.
- 2218 Ekholm, Virpi & Kauranen, Hannu. Aliurakoitsijakoulutus ja osaamisen siirto rakennusyrityksessä. 2003. 85 s.
- 2224 Turk, Goran & Ranta-Maunus, Alpo. Analysis of strength grading of sawn timber based on numerical simulation. 2003. 38 p. + app. 28 p.
- 2223 Kärnä, Tuomo, Kolari, Kari, Jochmann, Peter, Evers, Karl-Ulrich, Xiangjun, Bi, Määttänen, Mauri & Martonen, Petter. Ice action on compliant structures. Laboratory indentation tests. 2003. 43 p. + app. 79 p.
- 2226 Andelin, Mia. Home Service Concept – Technology, Logistics and Business Models. 2004. 76 p. + app. 5 p.
- 2227 Ala-Outinen, Tiina, Harmaajärvi, Irmeli, Kivikoski, Harri, Kouhia, Ilpo, Makkonen, Lasse, Saarelainen, Seppo, Tuhola, Markku & Törnqvist, Jouko. Ilmastonmuutoksen vaikutukset rakennettuun ympäristöön. Yhteenvedo projektin tuloksista. 2004. 83 s. + liitt. 6 s.
- 2236 Koski, Hannu. Rakennushankkeen luovutusprosessin kehittäminen. 2004. 37 s. + liitt. 10 s.
- 2239 Kauranen, Hannu. Märkätilaproessin kehittäminen. Talonrakentamisen työmaaproessin re-engineering. 2004. 34 s. + liitt. 4 s.
- 2242 Beilinson, Leif, Rathmayer, Rita & Wuolijoki, Arja. Kuljettajien käsitykset nopeusvalvonnan yleisyydestä ja puuttumiskynnyksistä. 2004. 35 s. + liitt. 9 s.
- 2245 Mroueh, Ulla-Maija, Vahanne, Pasi, Eskola, Paula, Pasanen, Antti, Wahlström, Margareta, Mäkelä, Esa & Laakosonen, Rainer. Pilaantuneiden maiden kunnostushankkeiden hallinta. 2004. 318 s. + liitt. 44 s.
- 2249 Hietaniemi, Jukka, Vaari, Jukka, Hakkarainen, Tuula, Huhta, Jaakko, Jumppanen, Ulla-Maija, Korhonen, Timo, Kouhia, Ilpo, Siiskonen, Jaakko & Weckman, Henry. Ontelotilojen paloturvallisuus. Ontelopalojen ominaispiirteet sekä palojen etenemisen rakenteellinen katkaiseminen ja sammuttaminen. 2004. 74 s. + liitt. 24 s.
- 2252 Nykänen, Esa, Sarvaranta, Leena & Nummelin, Johanna. Home Service Concept. From User Needs to Services. 2004. 31 p. + app. 1 p.
- 2253 Korhonen, Timo & Hietaniemi, Jukka. Puujulkisivujen paloturvallisuus lähiökerrostaloissa. 2004. 58 s. + liitt. 36 s.

Julkaisussa esitetään riskien suuruuden arviointiin perustuva paloturvallisuustarkastelu puujulkisivujen käyttämisestä korjausrakentamisen yhteydessä P1-paloluokan kerrostaloissa. Puisen julkisivun vaikutuksen palon leviämiseen yläpuoleiseen asuntoon havaittiin olevan pieni verrattuna muihin palotilanteeseen liittyviin tekijöihin. Esimerkiksi palokunnan ajomatalla on selvästi suurempi merkitys rakennuksen paloriskeihin kuin julkisivumateriaalilla. Lisäksi rakennuksen ja sen huoneistojen geometrioiden muutoksilla on usein suurempi vaikutus rakennuksen paloriskeihin kuin julkisivumateriaalilla. Asuinkerrostalopaloissa henkilövahingot syntyvät pääsääntöisesti palohuoneistossa sekä porrashuoneeseen levinneen savun aiheuttamina. Näihin julkisivun materiaalilla ei ole vaikutusta. Aineellisten vahinkojen muodostumiseen julkisivumateriaalilla on suurempi vaikutus, ja tämän vuoksi on syytä kiinnittää huomiota puujulkisivun suunnitteluun siten, että palo ei pääse esteettömästi leviämään räystään kautta mahdolliseen yläpohjan onteloon.

---

Tätä julkaisua myy  
VTT TIETOPALVELU  
PL 2000  
02044 VTT  
Puh. (09) 456 4404  
Faksi (09) 456 4374

Denna publikation säljs av  
VTT INFORMATIONSTJÄNST  
PB 2000  
02044 VTT  
Tel. (09) 456 4404  
Fax (09) 456 4374

This publication is available from  
VTT INFORMATION SERVICE  
P.O.Box 2000  
FIN-02044 VTT, Finland  
Phone internat. + 358 9 456 4404  
Fax + 358 9 456 4374

---