

Simuloinnin käyttö palontutkinnassa

Esimerkkinä asuinkerrostalon
porrashuoneen savunleviämistarkastelut

Tuomo Rinne | Simo Hostikka | Timo Korhonen

Simuloinnin käyttö palontutkinnassa

Esimerkkinä asuinkerrostalon
porrashuoneen savunleviämistarkastelut

Tuomo Rinne, Simo Hostikka & Timo Korhonen

ISBN 978-951-38-8080-4 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

VTT Technology 143

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-122X (verkkojulkaisu)

Copyright © VTT 2013

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT

PL 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)

02044 VTT

Puh. 020 722 111, faksi 020 722 7001

VTT

PB 1000 (Teknikvägen 4 A, Esbo)

FI-02044 VTT

Tfn +358 20 722 111, telefax +358 20 722 7001

VTT Technical Research Centre of Finland

P.O. Box 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)

FI-02044 VTT, Finland

Tel. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7001

Simuloinnin käyttö palontutkinnassa

Esimerkkinä asuinkerrostalon porrashuoneen savunleviämistarkastelut

Utilisation of simulation in fire investigation. Smoke spread in a stairwell of a block of flats.
Tuomo Rinne, Simo Hostikka & Timo Korhonen. Espoo 2013. VTT Technology 143.
51 s. + liitt. 12 s.

Tiivistelmä

Tässä julkaisussa raportoidaan sisäasiainministeriön ja Palontutkinta 2014 -työryhmän yhdessä koordinoiman SIMPAT-hankkeen tulokset. Hankkeen tavoitteena oli edistää palosimuloinnin käyttöä pelastuslaitosten toteuttamassa palontutkinnassa. Palon ja poistumisen numeerista simulointia voidaan käyttää tapahtuneen tilanteen rekonstruktion välineenä. Simulointi voi olla vaihtoehto täyden mittakaavan kokeille tai laajentaa tehtyjen kokeiden tulosten tulkintaa. Simulointi voi vastata kysymyksiin ihmisten roolista, syttymistä, vaurioista ja aktiivisista laitteistoista. Se voi myös paljastaa jatkotutkimustarpeet.

Pelastuslaitoksissa on kiinnitetty huomiota siihen, että kerrostalojen porrashuoneiden savunpoiston järjestäminen on usein vaikeaa, koska tilaan asennetut savunpoistoluukut eivät toimi tai ne on mitoitettu väärin. Systemaattiset puutteet teknisissä turvallisuusratkaisuissa tarkoittavat, että tilanne ei vastaa säädöksissä ja ohjeissa esitettyjä vaatimuksia. Hankkeessa päädyttiin ohjeistamaan simuloinnin syötetietojen keruuta ja simuloimaan tyypillisen asuinkerrostalon porrashuoneen painovoimaisen savunpoiston toimintaa.

Kerrostalon porrashuoneeseen rajautuvassa tilassa tapahtuvaa tulipaloa simuloitiin Fire Dynamics Simulator -ohjelmalla (FDS). Simulointien avulla selvitettiin, miten porrashuoneen savunpoistoratkaisujen mitoitus ja luotettavuus vaikuttavat olosuhteisiin porrashuoneessa. Lisäksi tilannetta analysoitiin käyttämällä käsinlas-kentakaavoja sen verran kuin nämä yksinkertaiset palokokeisiin perustuvat mallit antavat myöten. Lisäksi tässä julkaisussa esitetään, mitä näiden eri tarkastelutapojen vaatimia lähtötietoja olisi hyvä kerätä palopaikalla mahdollisesti myöhempanä tehtävää palontutkintaa varten.

Simulointityökaluilla voitiin varsin hyvin ja tehokkaasti mallittaa savun leviämistä porrashuoneessa. Porrashuoneen tapauksessa suurin vaikuttava tekijä savunpoiston kannalta on savunpoistoluukun koko, tosin tätä rajoittaa tyypillisesti korvausilma-aukkona toimivan alaoven koko. Painovoimainen savunpoisto toimii varsin tehokkaasti, mikäli palo on kerrostalon ylimmissä kerroksissa. Palavan asunnon oven alaosan sahaaminen vähentää porrashuoneeseen tunkeutuvan savun määrää huomattavasti, ja savunpoisto onnistuu tehtävässään huomattavasti paremmin verrattuna tapaukseen, jossa koko ovi avattaisiin.

Avainsanat natural smoke ventilation, stairwell, Fire Dynamics Simulator, FDS

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Esipuhe.....	5
1. Johdanto	6
2. Porrashuoneen savunpoiston mallitus: Geometria, ilmanvaihto ja mitoituspalo	8
2.1 Ilmanvaihdon mallinnus	10
2.2 Savunpoistoluukut	12
2.3 Asuntojen ja porraskäytävän ovet ja ikkunat	12
2.4 Huonepalon mitoituspalo.....	13
3. Porrashuoneen savunpoiston mallitus: Tulossuureet	15
4. Porrashuoneen savunpoiston mallitus: Tulokset.....	17
4.1 Ilmanvaihdon vaikutus porraskäytävän olosuhteisiin	17
4.2 Porraskäytävän ovien avautumisen vaikutus porraskäytävän olosuhteisiin	20
4.3 Savunpoistoluukun vaikutus porraskäytävän olosuhteisiin	25
5. Porrashuoneen savunpoiston mallitus: Kuvia simuloinneista	27
6. Savunpoiston analyysia käsinlaskentakaavoilla	31
7. Simuloinnin käyttö palontutkinnassa: Lähtötiedot ja raportointi.....	41
7.1 Savunpoistosimuloinnit: Raportointikäytäntö	41
7.2 Palosimuloinnit: Lähtötietojen lista.....	43
7.2.1 Rakennus	44
7.2.2 Palava huoneisto	44
7.2.3 Tulipalon kulku.....	45
7.2.4 Evakuointi.....	46
7.2.5 Tulipalon aikajana.....	47
8. Johtopäätökset	49
Kirjallisuusviitteet.....	51
Liite: Tiedonkeruulomake palosimuloinnin lähtötiedoiksi.....	52

Esipuhe

Tässä julkaisussa raportoidaan ”Simuloinnin käyttö palontutkinnassa” -tutkimushankkeen tulokset. Hankkeen tarkoituksena oli tehostaa pelastuslaitosten omatoimista palontutkintaa tapauksissa, joilla on laajaa yhteiskunnallista vaikuttavuutta. Tutkimushanke toteutettiin VTT:llä sisäasiainministeriön tilauksesta. Työn rahoitti osittain Palosuojelurahasto. Hankkeen ohjauksesta vastasi Pelastuslaitosten palontutkinta 2014 -työryhmä, jonka puheenjohtajana toimi Jarkko Jänntti. Kiitämme rahoittajia sekä ohjausryhmän jäseniä hyvästä yhteistyöstä. Erityiset kiitokset Pasi Paloluomalle (Varsinais-Suomen pelastuslaitos) ja Tuomas Pälviälle (Länsi-Uudenmaan pelastuslaitos) esimerkkitapauksen määrittelystä ja ideoinnista. Kiitokset myös Vesa-Pekka Tervolle, joka pani koko hankkeen alulle.

Tekijät

1. Johdanto

Tulipalojen numeerinen simulointi on viimeisten kymmenen vuoden aikana yleistynyt paloturvallisuussuunnittelun työkaluna. Vakavien onnettomuuksien tutkinnassa sitä on käytetty jo pitkään. Tällä hetkellä palosimuloinnilla tarkoitetaan lähes yksinomaan virtauslaskentaan perustuvaa simulointia. Ihmisten poistumisen simulointi on hieman palosimulointia nuorempaa, mutta siihenkin on nykyään olemassa useita ohjelmistoja. Palon ja poistumisen numeerista simulointia voidaan käyttää tapahtuneen tilanteen rekonstruktion välineenä.

Kirjallisuuden mukaan simuloinnin käytöllä voidaan nähdä useita hyötyjä: Simulointi edistää tieteellisen lähestymistavan käyttöä hypoteesien testauksessa ja rekonstruktioissa. Simulointi tarjoaa tietoa syttymistapahtumista, vaurioiden synnystä ja palon vaikutuksista ja antaa perustan aikajanelle ja tiedonkeruulle. Simulointi voi olla vaihtoehto täyden mittakaavan kokeille tai laajentaa tehtyjen kokeiden tulosten tulkintaa. Simulointi voi vastata kysymyksiin ihmisten roolista, syttymistä, vaurioista ja aktiivisista laitteistoista. Se voi myös paljastaa jatkotutkimustarpeet.

Pelastuslaitoksissa on kiinnitetty huomiota siihen, että kerrostalojen porrashuoneiden savunpoiston järjestäminen on usein vaikeaa, koska tilaan asennetut savunpoistoluukut eivät toimi tai ne on mitoitettu väärin. Systemaattiset puutteet teknisissä turvallisuusratkaisuissa tarkoittavat, että tilanne ei vastaa säädöksissä ja ohjeissa esitettyjä vaatimuksia. Samoin väestön ikääntyminen lisää tarvetta toimintakyvyltään rajoittuneiden ihmisten omatoimiseen asumiseen normaaleissa asuinrakennuksissa. Tulipalon aikaisen poistumisen ja rakennuksen evakuoinnin kannalta trendi muodostaa merkittävän haasteen.

Sisäasiainministeriön ja Palontutkinta 2014 -työryhmän yhdessä koordinoiman SIMPAT-hankkeen tavoitteena on edistää palosimuloinnin käyttöä pelastuslaitosten toteuttamassa palontutkinnassa. Hankkeessa kootaan simuloinnin syötetietoja ja simuloidaan porrashuoneen savunpoiston toimintaa. Mitattuja palotehoja ja savun sekä myrkyllisten kaasujen tuottoja kootaan palontutkinnassa esiin tuleville esineille ja materiaaleille. Tiedot kerätään paloalan kirjallisuudesta, hyödyntäen aikaisemmissa projekteissa tehtyä työtä. Kerrostalon porrashuoneessa tai sellaiseen rajautuvassa tilassa tapahtuvaa tulipaloa simuloidaan FDS-ohjelmalla. Simulointien avulla selvitetään, miten porrashuoneen savunpoistoratkaisujen mitoitus ja luotettavuus vaikuttavat olosuhteisiin porrashuoneessa.

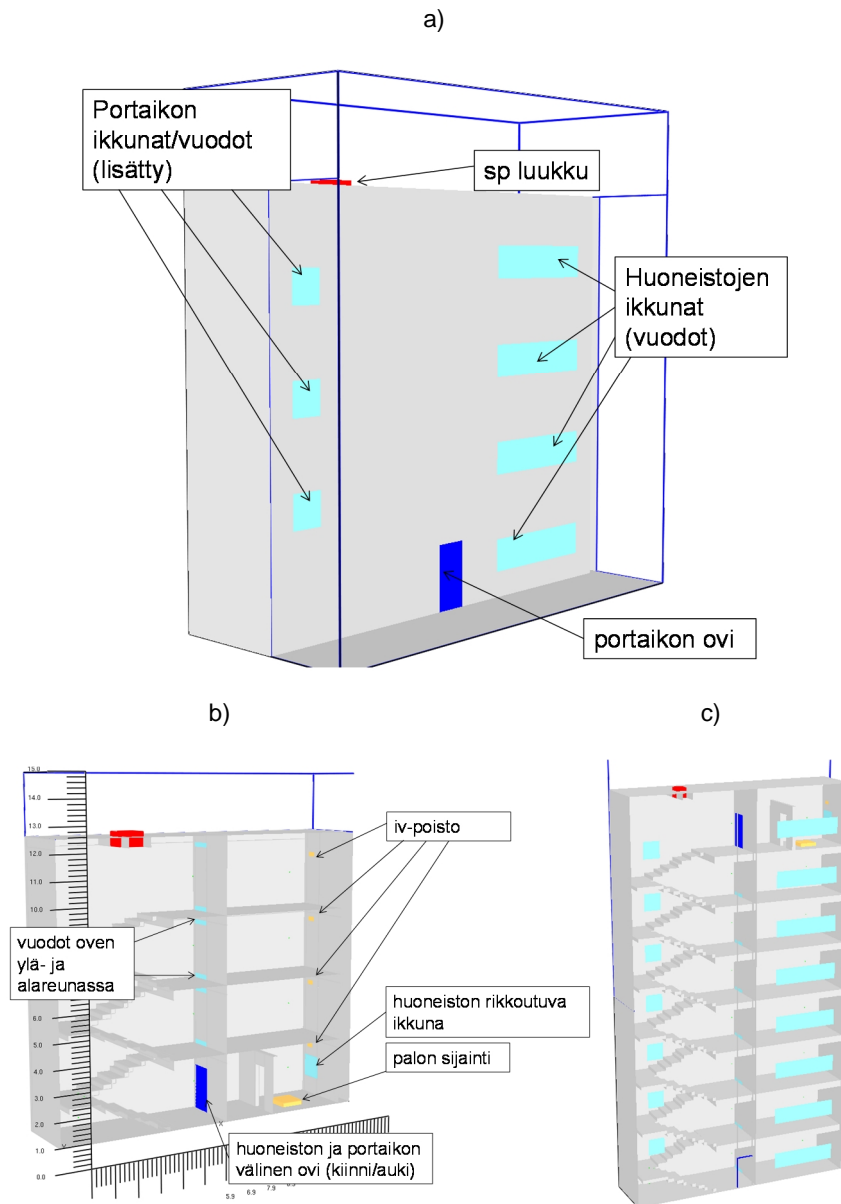
Tässä julkaisussa esitetään laajemmin tehdyn työn tuloksena saadut työkalut palo- ja poistumissimuloinnin lähtötietojen määrittelyyn palontutinnan tarpeisiin sekä esitetään palosimulointituloksia kerrostalon porrashuoneessa. Ensiksi esitetään kerrostalon porrashuoneelle tehdyt kenttämallisimuloinnit, joissa tarkasteltiin savunpoiston toimivuutta. Tämän jälkeen tilannetta analysoidaan lisäksi käsinlaskenta-kaavoilla sen verran kuin nämä yksinkertaiset palokokeisiin perustuvat mallit antavat myötä. Näiden jälkeen esitetään, mitä näiden eri tarkastelutapojen vaatimia lähtötietoja olisi hyvä kerätä palopaikalla mahdollisesti myöhempänä tehtävää palontutkintaa varten. Julkaisun liitteenä on luonnos lomakkeesta, jota voidaan käyttää apuna palopaikalla, kun tietoja kirjataan ylös. Lopuksi johtopäätöksissä vedetään lyhyesti yhteen tehtyjen savunpoistolaskujen tulokset kerrostalon porrashuoneen savunpoistojärjestelyille.

2. Porrashuoneen savunpoiston mallitus: Geometria, ilmanvaihto ja mitoituspalo

Simuloitavana esimerkkikohteena käytettiin neljä- ja kahdeksankerroksista porrashuonetta sekä siihen liittyneitä asuntoja. Varsinainen tulipalo sijaitsi joko kerrostalon ensimmäisessä (alimmassa) tai ylimmässä (4. tai 8. kerros) kerroksessa. Kuvassa 1 esitetään molempien käytettyjen kerrostalojen simulointigeometria ja joitain simulointitekniisiä yksityiskohtia. Laskentageometria kuvattiin 0,2 m tarkkuudella kaikkiin kolmeen eri suuntaan eli laskennassa käytettiin tasavälistä karteesisista hilaa, jonka jakoväli kaikkiin kolmeen karteesiseseen suuntaan oli 0,2 m.

Simulointimalliin lisättiin huoneistokohtainen ilmanvaihto poistoilman osalta. Asuntoihin virtaava tuloilma toteutettiin vuotoina kunkin asunnon ikkunan ja oviaukon ylä- ja alareunasta. Tarvittaessa palohuoneen talon päätyseinässä oleva ikkuna avattiin tai hajotettiin, mikäli tämä oli tarpeellista palonkehityksen kannalta (ovi rappukäytävään kiinni -tilanteissa palo hiipuisi muuten hapenpuutteeseen).

Koko laskentageometrian tilavuus oli 15 m x 14 m x 6 m, kun kyseessä oli 4-kerroksinen rakennus, ja 8-kerroksisessa rakennuksessa tilavuus oli puolestaan 30 m x 14 m x 6 m. Tilavuuksissa on otettu huomioon myös rakennuksien ikkunoiden ja portaikkojen ovien edustojen ilmatilavuudet. Rakennuksien kattojen yläpuolella mallitettiin ulkoilmaa noin 2,5 m katon ulkopintaa korkeammalle, jotta virtaus kattoluukusta tulisi mallitettua luotettavasti. Asuinhuoneen koko oli n. 18 m² ja porrashuoneen lattiapinta-ala n. 22 m². Mallituksessa ei asuntojen sisäpuolella ollut mitään muuta kuin tyhjää tilaa paitsi itse palohuoneistossa, jossa tila oli jaettu väliseinällä kahteen huoneeseen. Asunnon ulko-oven puoleinen huone oli noin 7 m² kokoinen ja sen takana oleva palohuone noin 10 m² kokoinen. Näitä huoneita yhdisti 0,8 m leveä ja 2,0 m korkea avoin oviaukko. Asuntojen ulko-ovet ja porrashuoneen ulko-ovi olivat 1,0 m leveitä ja 2,0 m korkeita.



Kuva 1. Neljäkerroksisen (kuvat a ja b) ja kahdeksankerroksisen (kuva c) kerrostalon simulointimallit. Nelikerroksisen rakennuksen kuviin on lisätty mm. aukkojen, ovien ja palon sijaintia koskevia tietoja, samat tiedot pätevät myös kahdeksankerroksiseen taloon.

2.1 Ilmanvaihdon mallinnus

Asuntojen ilmanvaihto toteutettiin siten, että ehto asunnossa vaihtuvasta ilmamäärästä (m^3) per aikayksikkö toteutuisi. Tässä tapauksessa ehtona oli, että asunnon koko ilmamäärä vaihtuu kahdessa tunnissa eli 0,5 kertaa/h, mikä vastaa noin 6,3 litraa/s poistoilmamäärää käytetyllä asunnon koolla. Tämä arvo muodosti ns. alarajan vaihtuvalle ilmamäärälle – tapaus, jossa rakenteet ovat täysin tiiviitä. Tämän jälkeen asuntoihin määritettiin sopivankokoiset aukot (m^2), joilla huomioitiin rakenteiden vuodot ja samalla saavutettiin haluttu paine-ero porrashuoneen ja asuntojen välille. Rakenteiden tiiveyttä kuvattiin vuotoluvuilla 1,5 (hyvä), 3 (keskimääräinen) ja 6 (heikko), jotka ilmaisevat, kuinka monta kertaa asunnon ilma vaihtuisi tunnissa paine-eron ollessa 50 Pa, joka on siis suurempi kuin normaali-ilmanvaihtoa vastaava ilmamäärä. Tällä paine-erolla ja tietyllä vuotoluvulla saadaan arvio asunnon aukkojen suuruuksille ratkaisemalla yhtälöstä (1) aukkopinta-alaa kuvaava tekijä A_L [1]:

$$\dot{V}_{\text{leak}} = A_L \text{sign}(\Delta p) \sqrt{\frac{2|\Delta p|}{\rho_\infty}} \quad (1)$$

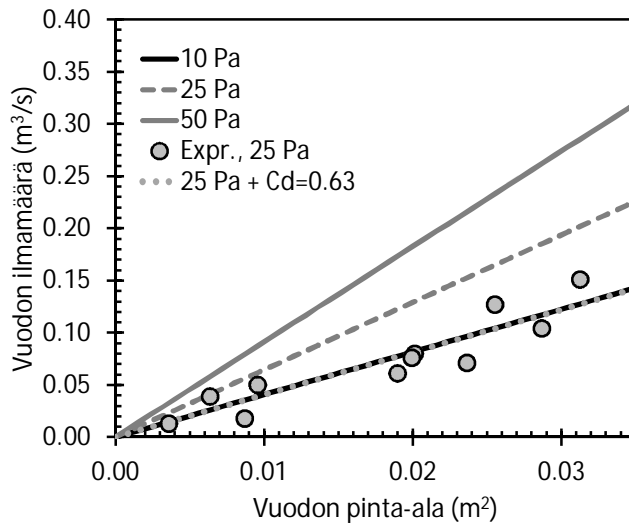
missä \dot{V}_{leak} on tilavuusvirtaus aukossa, Δp on paine-ero ja ρ_∞ ympäristön ilman tiheys.

Tässä työssä porrashuoneen savunpoistoa simuloitiin käyttämällä kenttämalliohjelmistoa Fire Dynamics Simulator (FDS) [1]. Ohjelmasta käytettiin sen testausvaiheessa olevaa versiota 6, koska tämä projektiin tavoitteena on helpottaa palontutkinnassa tarvittavia simulointeja vastaisuudessa, jolloin voidaan olettaa ohjelman version 6 olevan jo julkaistu eli verifioitu ja validoitu yhtä hyvin kuin ohjelman nykyinen viimeisin julkaistu versio FDS 5.5.3 lokakuulta 2010.

FDS-ohjelman tapa ottaa huomioon vuodot on kuvattu ohjelman manuaalissa [1, s. 101]. Asunnot mitoitetaan ilmanvaihdoltaan yleensä alipaineiseksi ja näissä tarkasteluissa tuokin tieto haluttiin lisätä simulointeihin. Käytetyt paine-erot porrashuoneen ja asuntojen välillä olivat 10, 20 ja 30 Pa. Yhteys paine-eron, vuodon pinta-alan ja vuotoilmamäärän välillä on esitetty kuvassa 2. Kuvaan on myös piirretty Grossin ja Habermanin keräämät kokeelliset arvot [2] ovitesteille, joissa käytettiin 25 Pa paine-eroa. Kuvaan on myös piirretty yleisemmin aukkovirtauksille käytetyn kaavan

$$\dot{V}_{\text{leak}} = C_d A \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_\infty}} \quad (2)$$

pienimmän neliösumman sovitesuora kokeellisiin tuloksiin. Edellä C_d on aukon virtausvastuskerroin ja A on aukon geometrinen pinta-ala. Pienimmän neliösumman sovite antoi ovien raoille virtausvastuskertoimeksi 0,63.



Kuva 2. Vuotoilmamäärän ja vuodon pinta-alan välinen yhteys eri paine-eroilla (Pa) toteutetuissa simuloinneissa sekä kirjallisuudessa [2] esitettyjä kokeellisia tuloksia ovivuodoille.

Kuvan 2 mukainen vuodon pinta-ala jaettiin simuloinneissa tasaisesti asuntojen ikkunoiden ja asuntojen ovien ylä- ja alareunan kanssa kolmeen yhtä suureen osaan. Esimerkiksi 30 cm² vuodolla jokaiseen em. kolmeen kohtaan tulisi 10 cm² vuoto. Porrashuoneen ikkunoiden vuotojen osalta käytettiin samaa vuotopinta-alaa kuin vastaavan kerroksen asunnon ikkunassa käytettiin.

Koska tulipalo muuttaa rakennuksen sisäpuolella paineolosuhteita, simuloitiin pelkkää ilmanvaihtoa (käytännössä ainoastaan huoneistojen poistoilmaventtiilit päällä) 200 s ajan ennen kuin varsinainen tulipalo (poltin) sytytettiin hetkellä 0 s. Tällä tavoin päästiin lähemmäksi sitä tilannetta, jossa oikeastikin tulipalon sytyessä asunnon ja portaikon välillä vallitsisi paine-ero.

FDS-ohjelman syötetiedostossa esim. kolmannen kerroksen asunnon ilmanvaihto määriteltiin seuraavasti:

```
&VENT XB= 13. 7, 13. 7, 2. 4, 2. 8, 8. 2, 8. 4, ID='3rdExhaustIn', SURF_ID='HVAC' /
&VENT XB=13. 9, 13. 9, 2. 4, 2. 8, 8. 2, 8. 4, ID='3rdExhaustOut', SURF_ID='HVAC' /
&HVAC TYPE_ID='NODE', ID='3rdExhaustIn', VENT_ID='3rdExhaustIn',
DUCT_ID='Ai_r_3rd' /
&HVAC TYPE_ID='NODE', ID='3rdExhaustOut', VENT_ID='3rdExhaustOut',
DUCT_ID='Ai_r_3rd' /
&HVAC TYPE_ID='DUCT', ID='Ai_r_3rd', NODE_ID='3rdExhaustIn',
'3rdExhaustOut', VOLUME_FLOW=8.42E-03, AREA=0.04, LOSS=1, 1/
&DEVC XYZ=11. 9, 1. 8, 7. 6, QUANTITY='PRESSURE', ID='3rdpressIn' /
&DEVC XYZ=6. 9, 1. 8, 7. 6, QUANTITY='PRESSURE', ID='3rdpressOUT' /
```

2.2 Savunpoistoluukut

Kerrostalon porrashuoneen savunpoiston kenttämallisimuloinneissa käytettiin neljää erikokoista savunpoistoluukkuja, joiden geometriset poikkipinta-alat (virtausvastuskerrointa ei mukana) olivat $1,96 \text{ m}^2$, 1 m^2 , $0,64 \text{ m}^2$ ja $0,36 \text{ m}^2$. Savunpoistoluukku mallinnettiin neliönmuotoisena, ja se oli porrashuoneen katossa samassa kohtaa jokaisessa simuloinnissa, eli pinta-alat vastaavat neliömällisen luukun sivun pituuksia 1,4 m, 1,0 m, 0,8 m ja 0,6 m.

Erään simulointitapauksen syötetiedostossa savunpoistoluukku on mallinnettu seuraavasti:

```
&HOLE XB= 3.1 3.9 1 1.8 24.3 24.9 DEVC_ID= 'T_Luukku' COLOR='RED' /
&DEVC ID= 'T_Luukku' XYZ=1 1 1 QUANTITY='TIME' SETPOINT= 1200 /
&OBST XB= 3.05 3.1 1 1.8 24.8 25 COLOR='RED' PERMIT_HOLE=.FALSE. /
&OBST XB= 3.9 3.95 1 1.8 24.8 25 COLOR='RED' PERMIT_HOLE=.FALSE. /
&OBST XB= 3.1 3.9 0.95 1 24.8 25 COLOR='RED' PERMIT_HOLE=.FALSE. /
&OBST XB= 3.1 3.9 1.8 1.85 24.8 25 COLOR='RED' PERMIT_HOLE=.FALSE. /
```

Ensimmäisellä syöterivillä määritetään geometrinen pinta-ala (fyysiset mitat) syntyvälle aukolle. Toisella rivillä voidaan luukku avata tietyllä ajanhetkellä (tässä tapauksessa 1200 s). Neljä viimeistä riviä määrittävät "kehyksen" syntyvälle aukolle katon ulkopinnalle.

Savunpoistoluukun avautumisajankohtina käytettiin 0 s, 600 s ja 1200 s. Simuloinneissa tarkasteltiin myös tapausta, kun savunpoistoluukku ei avaudu (asettamalla avautumisajankohta suuremmaksi kuin simulointien kokonaiskesto oli).

2.3 Asuntojen ja porraskäytävän ovet ja ikkunat

Palavan asunnon oven aukeaminen toteutettiin määrittämällä tietty ajanhetki, jolloin ovi avautuisi kokonaan tai osittain. Tällä haluttiin tarkastella tilannetta, jossa asunnosta poistuva henkilö unohtaisi sulkea portaikkoon johtavan oven ja näin ollen savua pääsisi porrashuoneeseen. Lisäksi tarkasteltiin tilanteita, joissa palokunta avaa asunnon oven (ovi oli tätä ennen kiinni) sahaamalla oven alareunasta n. 1 m korkean kaistaleen pois sammutus- ja pelastustehtävää varten.

Porrashuoneen ovelle määritettiin myös tietty avautumishetki, jolloin ovi jäi kokonaan auki. Portaikon savunpoistoon tähtäävässä toiminnassa avattiin tietyllä ajanhetkellä savunpoistoluukku ja joko samalla ajanhetkellä tai tätä aiemmin avattiin portaikon alaovi korvausilman saamiseksi.

Ovet oli mallinnettu FDS-ohjelmassa muodostamalla fyysinen reikä HOLE-määrittellä tiettyä ajanhetkenä esim. seuraavasti:

```
&HOLE XB= 7.6 8 2 3 0 2 COLOR='BLUE' , DEVC_ID = 'T_fi redoor' /
&DEVC ID= 'T_fi redoor' XYZ=1 1 1 QUANTITY='TIME' SETPOINT= 1200 /
```

Porrashuoneen ikkunoiden ja asuntojen isojen ikkunoiden annettiin simuloinneissa pysyä ehjinä, mutta palohuoneiston päätyikkunan annettiin rikkoutua 300 s kohdalla

simulointien alkamisesta niissä tapauksissa, joissa asunnon ovi ei avautunut portaikkoon kuin vasta palokunnan toimesta (myöhempänä ajankohtana). Päätyikkuna oli 1,0 m leveä ja 1,0 m korkea, ja sen alareuna oli 0,8 m korkeudella lattiasta. Tällä osaltaan varmistettiin, ettei palo tukautuisi hapenpuutteeseen ja että simuloinnit olisivat savuntuoton kannalta mielekkäitä.

2.4 Huonepalon mitoituspalo

Porrashuoneen savunpoistotarkasteluissa käytettiin mitoituspaloina paloja, joissa paloon osallistuu yhden huoneen palokuorma. Mitoituspalon taustana käytettiin viitteessä [3] toteutettuja paloja ja niistä mitattuja palotehoja. Kolmen kokeen keskiarvona käytetyssä mitoituspalossa maksimipaloteho ylsi n. 4 MW:iin n. 5 minuutin kuluessa (t^2 -käytös), kuva 3. Paloa simuloitiin, riippuen tapauksesta, joko 40 minuutin tai 60 minuutin ajan.

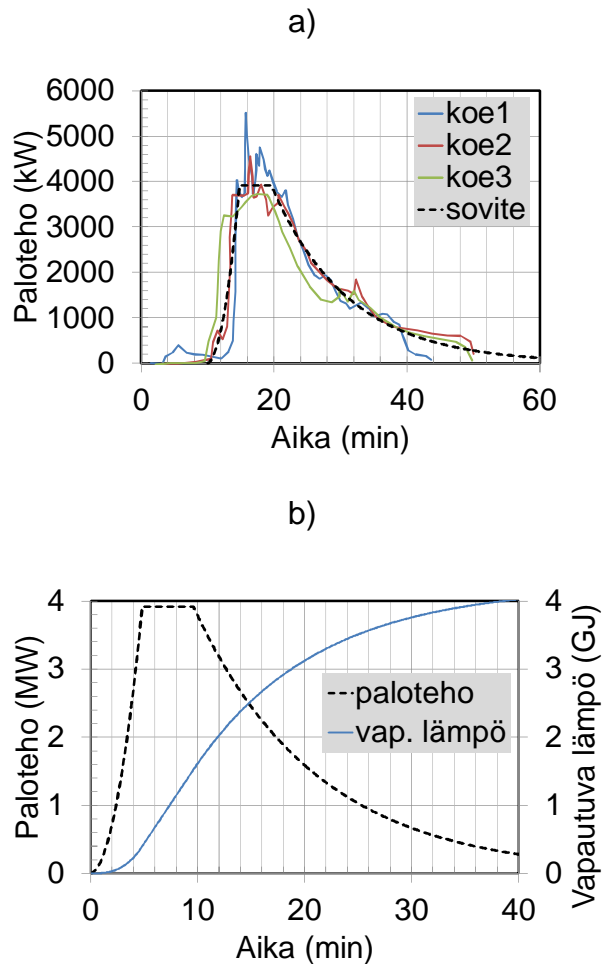
Varsinainen palo määritettiin FDS-ohjelmassa palavana pintana, jossa paloteho kasvoi ennalta syötetyn palotehokäyrän mukaisesti, eli paloa mallitettiin ns. polttimallilla. Seuraavassa lyhyt kuvaus itse palon määrittämisestä:

```
&SURF ID='Burner' HRRPUA= 3915.37 , RAMP_Q = 'fi reramp' /
&VENT XB= 11.1 12.1 1 2 9.2 9.2 SURF_ID='Burner' /
&OBST XB = 11.1 12.1 1 2 9 9.2 , SURF_ID = 'INERT' /
&RAMP ID='fi reramp' T= 0 , F= 0 /
&RAMP ID='fi reramp' T= 60 , F= 5.2E-02 /
&RAMP ID='fi reramp' T= 120 , F= 0.18 /
&RAMP ID='fi reramp' T= 180 , F= 0.40 /
&RAMP ID='fi reramp' T= 240 , F= 0.69 /
&RAMP ID='fi reramp' T= 300 , F= 1 /
```

...

Simulointien tuloksia tarkemmin tulkittaessa havaittiin, että palotehokäyrä ei toistunut täysin syötetyn kaltaisena vaan oli osin happirajoitteinen, johtuen asuinhuoneen väliseinän aukkokoosta (laskennallinen maksimipaloteho oli n. 3,4 MW). Kuitenkin tuloksien arviointia ajatellen palotehon käyttäytyminen oli eri simulointitapauksissa keskenään samankaltaista ja riippui paljon asuinhuoneiston oven aukeamisajanhetkestä (osassa skenaarioista asunnon ovi oli kiinni esim. 20 min).

Mitoituspalo sijaitsi joko alimmassa tai ylimmässä asunnossa. Muut mitoituspaloon liittyvät ominaisuudet haluttiin pitää vakiona eri skenaarioiden kesken, esim. noen-tuottoarvo (SOOT_YIELD) oli kaikissa simuloinneissa 7 %.



Kuva 3. Kirjallisuudessa [3] esitetyt koetulokset kolmelle palotehomittaukselle ja niihin tehty sovite (kuva a) sekä varsinaisissa simuloinneissa käytetty paloteho-käyrä ja tästä vapautuva lämpömäärä (kuva b). 40 minuutissa vapautuva lämpömäärä 4 GJ vastaa noin 200 kg palokuorman palamista, mikäli palokuorman efektiivinen lämpöarvo olisi 20 MJ/kg.

3. Porrashuoneen savunpoiston mallitus: Tulossuureet

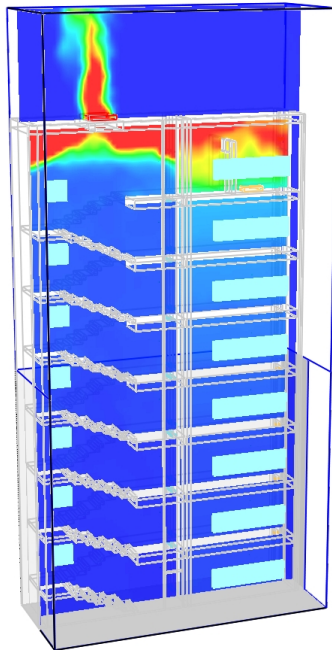
Simulointigeometriaan asetettiin pistemäisiä mitta-antureita sekä portaikkoon että asuntoihin. Näillä pystyttiin jälkikäteen analysoimaan paikallisia olosuhteita tilanteen kehittyessä. Pistemäiset mittaukset (DEVC) tehtiin henkilöturvallisuustarkasteluissa lämpötilalle, FED-arvolle¹ ja näkyvyydelle. Vastaavia suureita pystytään myös tarkastelemaan simulointigeometriassa ns. leikkauspintoina (SLCF), jolloin saadaan parempi käsitys olosuhteista paljon laajemmalla alueella. Seuraavassa kaksi esimerkkiä mitattavien suureiden määrittelyistä, ensimmäisessä määritetään painetta kuvaava leikkauspinta simulointigeometrian y-akselille kohtaan $y=1,5$ m ja jälkimmäisessä määritetään pistemittaus näkyvyysuureelle – tässä tapauksessa porrashuoneeseen toiseen kerrokseen.

```
&SLCF PBY= 1.5 QUANTITY='PRESSURE' /
```

```
&DEVC XYZ= 6.9 1.8 4.6 , QUANTITY = 'VISIBILITY' , ID = 'VIS_2nd_OUT' /
```

Kuvassa 4 esitetään havainnekuva lämpötilasta tasossa $y=1.6$ m.

¹ FED-indeksi kuvaa tulipalossa syntyvien myrkyllisten kaasujen kertymisestä aiheutuvaa riskiä tajunnantason menettämiseksi.



Kuva 4. Havainnekuva lämpötilasta tasossa $y=1.6$ m kahdeksankerroksisessa talossa, jossa palohuoneisto on ylimmässä kerroksessa.

Tulosten käsittelyä varten eri mittaussuureiden osalta käytettiin tiettyjä kriittisiä arvoja, joiden alittumista ja ylittymistä tarkasteltiin hakemalla simulointidatasta näitä arvoja vastaavat kriittiset ajanhetket. Kriittiset arvot olivat seuraavat:

- lämpötila: 100 °C; 120 °C ja 150 °C
- FED: 0,1; 0,3 ja 1,0
- näkyvyys: 3 m; 5 m ja 10 m.

Esim. jos lämpötilan osalta kiinnostaisi ajanhetki, jolloin lämpötila ylittää 100 °C, t_{crit} on haluttu aika ehdosta $T(t_{crit}) = 100$ °C, missä $T(t)$ on lämpötila ajan t funktiona.

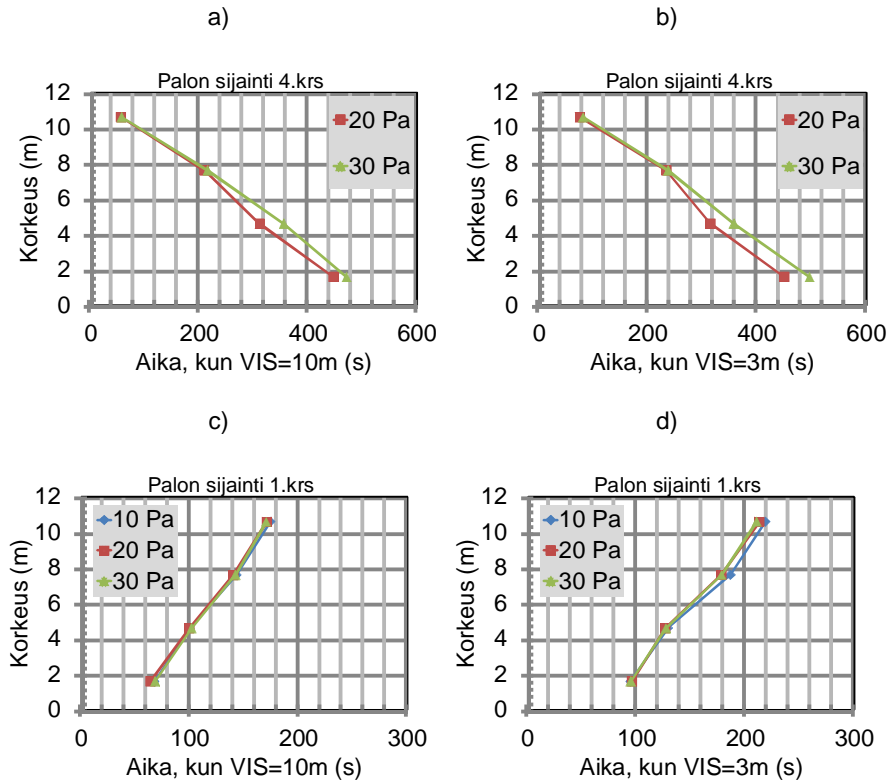
4. Porrashuoneen savunpoiston mallitus: Tulokset

4.1 Ilmanvaihdon vaikutus porraskäytävän olosuhteisiin

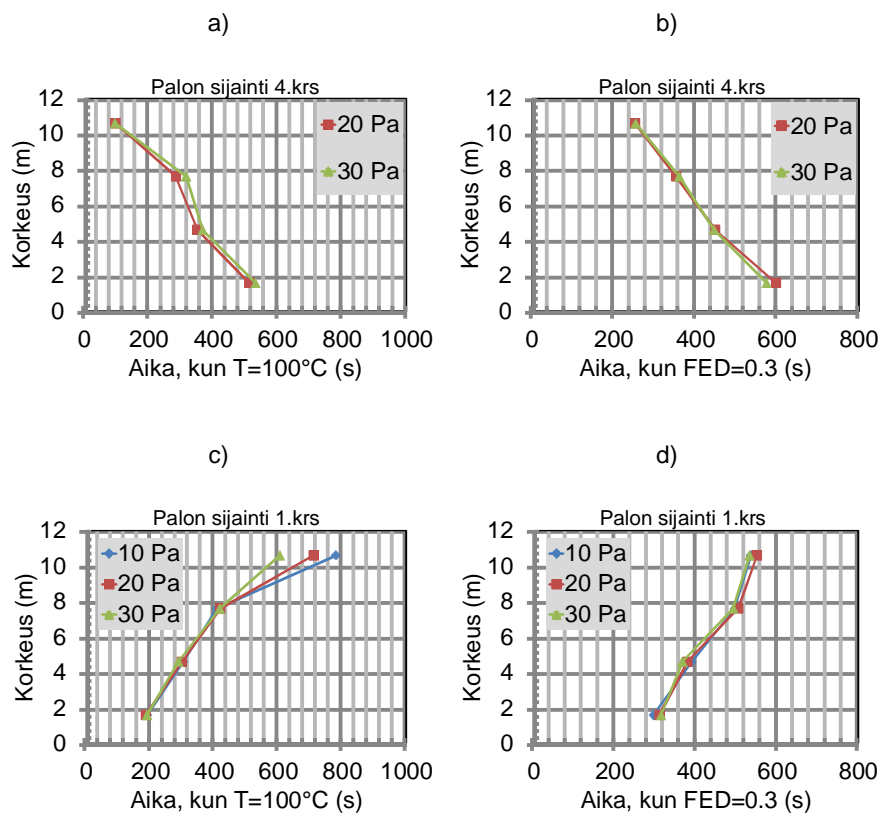
Ilmanvaihdon vaikutusta on luonteva tarkastella palon alkuvaiheessa, ennen kuin palokunta on saapunut kohteeseen. Kuvassa 5 esitetään eräiden simulointitapausten kriittiset ajanhetket tilanteissa, joissa palohuoneisto oli joko ylimmässä tai alimmassa kerroksessa nelikerroksisessa talossa. Tilanteissa palavan asunnon ovi oli heti alussa kokonaan auki, jolloin savua pääsi runsaasti porrashuoneeseen. Kuvasta voidaan nähdä, että porrashuoneen ja asunnon välisellä paine-erolla ei ole juurikaan vaikutusta nelikerroksisen rakennuksen porrashuoneen olosuhteisiin. Porrashuoneen ja palohuoneiston paine-ero tasoittuu nopeasti heti, kun niitä yhdistävä asunnon ovi avautuu.

Vastaava ilmiö havaitaan tarkasteltaessa kahta muuta tulossuuretta; lämpötilaa ja FED-indeksiä, kuva 6. Ylimmän kerroksen osalta lämpötiloissa syntyy hajontaa, mikä selittyy sillä, että esitetyt tulokset pitävät sisällään useiden simulointien keskiarvot, joissa on varioitu mm. savunpoistoluukkujen kokoa ja avautumisaikaa.

Tuloksista huomataan, miten nopeasti esim. näkyvyys menetetään porrashuoneen sisällä, jos esimerkiksi alimmassa kerroksessa olevan palohuoneiston ovi on jäänyt auki. Tällöin kuvan 5d mukaan kolmen metrin näkyvyysraja tulee vastaan koko porrashuoneessa reilun 200 s aikana eli reilussa kolmessa minuutissa (tilanne pätee siis käytetylle mitoituspalolle). Vastaavasti ylimmässä kerroksessa oleva palo näyttäisi tuottavan näkyvyyden aleneman samoilla ajanhetkillä molemmille käytetyille raja-arvoille 10 m ja 3 m.

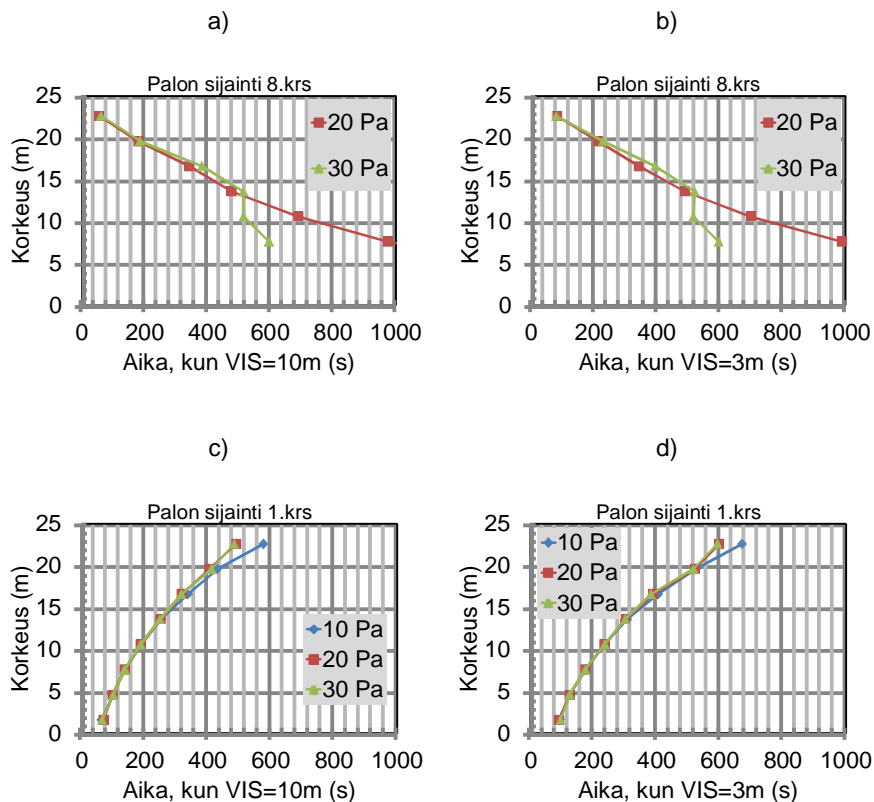


Kuva 5. Porrashuoneen olosuhteet näkyvyysuureen avulla tarkasteltuna tapauksissa, joissa palohuoneisto on neljännessä kerroksessa (kuvat a ja b) tai alimmassa kerroksessa (kuvat c ja d). Vasemmanpuoleisissa kuvissa kriittiset ajanhetket tapauksille, kun näkyvyys on porrashuoneessa saavuttanut 10 m:n rajan ja oikeanpuoleisissa vastaavasti 3 m:n rajan. Eri käyrät vastaavat eri paine-eroja ennen asunnon ulko-oven avaamista asunnon ja porrashuoneen välillä.



Kuva 6. Porrashuoneen olosuhteet lämpötilan ja FED-suureen avulla tarkasteltuna tapauksissa, joissa palo on alkanut 4. kerroksesta (kuvat a ja b) tai 1. kerroksesta (kuvat c ja d). Vasemmanpuoleisissa kuvissa kriittiset ajanhetket tapauksissa, kun lämpötila on porrashuoneessa saavuttanut 100°C :n rajan ja oikeanpuoleisissa vastaavasti FED-suureen rajan 0.3.

Näkyvyyden osalta paine-eroilla ei ole myöskään vaikutusta, kun rakennuksessa on kahdeksan kerrosta, kuva 7. Kuvasta havaitaan myös, ettei savun liikkuminen (ja samalla näkyvyyden menettäminen) käyttäydy aivan lineaarisesti korkeussuunnassa ajan funktiona.



Kuva 7. Porrashuoneen olosuhteet näkyvyysuuteen avulla tarkasteltuna tapauksissa, joissa palo on alkanut 8. kerroksesta (kuvat a ja b) tai 1. kerroksesta (kuvat c ja d). Vasemmanpuoleisissa kuvissa kriittiset ajanhetket tapauksille, kun näkyvyys on porrashuoneessa saavuttanut 10 m:n rajan ja oikeanpuoleisissa vastaavasti 3 m:n rajan.

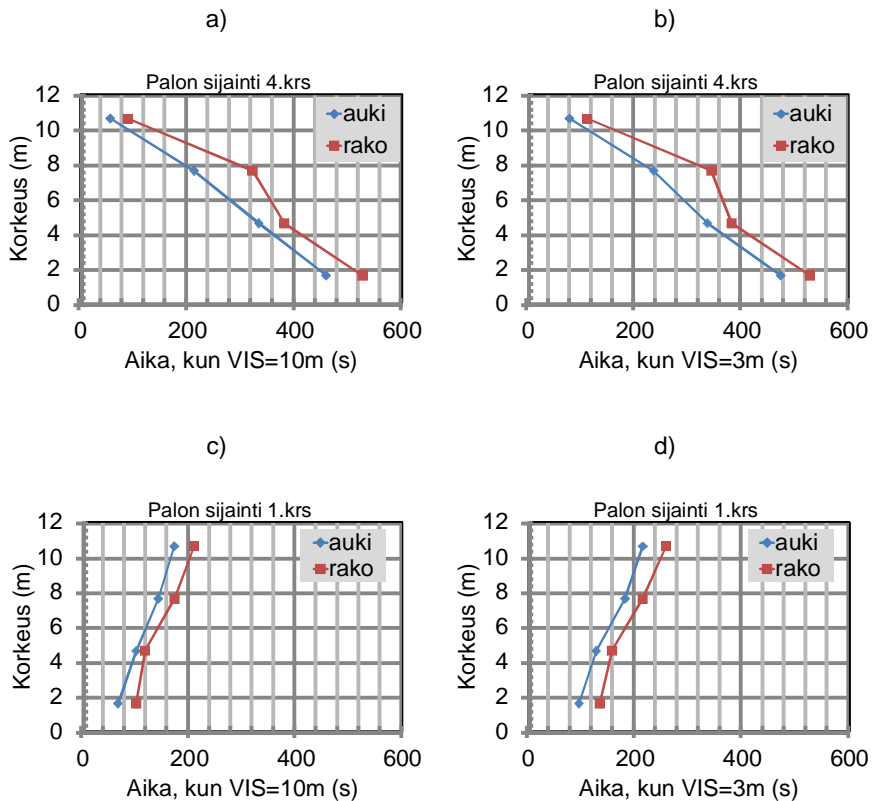
4.2 Porraskäytävän ovien avautumisen vaikutus porraskäytävän olosuhteisiin

Seuraavassa tarkastellaan palavan asunnon oven avautumista ja muodostuneen oviaukon koon vaikutusta porrashuoneen olosuhteisiin. Simuloinneissa tarkasteltiin kolmea eri tapausta: kun ovi oli kokonaan auki, kun ovi oli raollaan noin 20 cm ja kolmantena tapauksena pelastus- ja sammutustyön osana tapahtuvaa asunnon oven alaosan irrotusta (noin 1 m korkea kaistale irti lattiasta katsottuna).

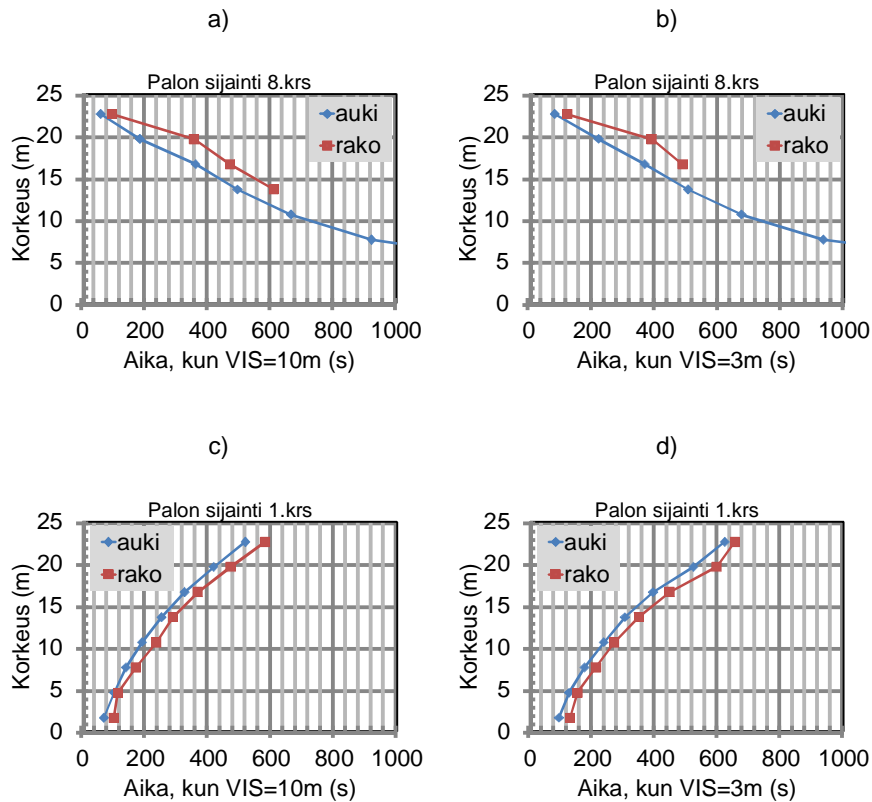
Kuvat 8 ja 9 esittävät näkyvyysolosuhteita rakennuksien porrashuoneissa. Havaitaan, että oven ollessa raollaan saavutetaan käytetyllä paloteholla luokkaa noin 40 s oleva kriittisten aikojen ero verrattuna tapaukseen, kun ovi on kokonaan auki.

Samalla voidaan todeta, että ylimmässä kerroksessa syttyneessä tulipalossa (jossa savu kulkeutuu alaspäin) näkyvyyden menetys joko 3 m tai 10 m osalta menetetään samoihin aikoihin. Kovin suurta eroa ei ole myöskään havaittavissa ylöspäin leviävän savun osalta – käytetäänkö näkyvyyden rajana 3 m tai 10 m.

Kuvassa 9 raollaan olevan oven tapauksessa siniset käyrät loppuvat aiemmin kuin punaiset. Tämä johtuu porraskäytävän muista simuloinneissa mukana olleista paloteknisistä toimenpiteistä, mm. savunpoistoluukkujen ja portaikon alaoven aukeamisesta hetkellä 10 min (joissakin myös hetkellä 20 min). Tämän vuoksi näkyvyys paranee portaikossa eikä kriittisiä arvoja saavuteta.

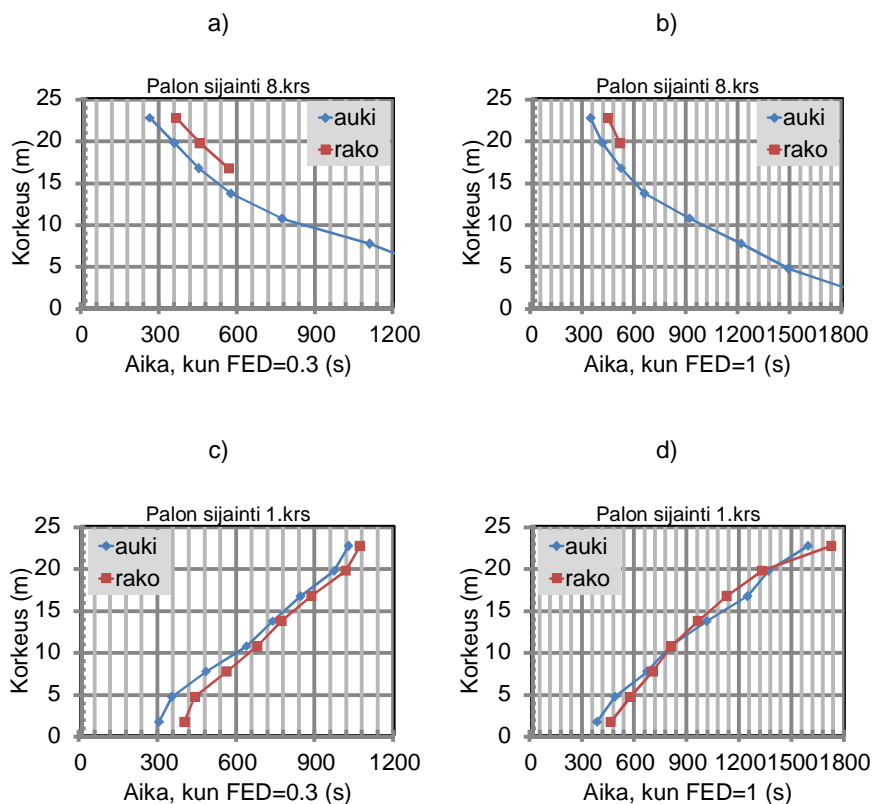


Kuva 8. Porrashuoneen olosuhteet näkyvyysuureen avulla tarkasteltuna tapauksissa, joissa palo on alkanut 4. kerroksesta (kuvat a ja b) tai 1. kerroksesta (kuvat c ja d). Vasemmanpuoleisissa kuvissa kriittiset ajanhetket tapauksille, kun näkyvyys on porrashuoneessa saavuttanut 10 m:n rajan ja oikeanpuoleisissa vastaavasti 3 m:n rajan. Tapauksissa "auki" palavan asunnon ovi on kokonaan auki porrashuoneeseen ja tapauksissa "rako" ovensa on n. 20 cm rako.



Kuva 9. Porrashuoneen olosuhteet näkyvyysuuteen avulla tarkasteltuna tapauksissa, joissa palo on alkanut 8. kerroksesta (kuvat a ja b) tai 1. kerroksesta (kuvat c ja d). Vasemmanpuoleisissa kuvissa kriittiset ajanhetket tapauksille, kun näkyvyys on porrashuoneessa saavuttanut 10 m:n rajan ja oikeanpuoleisissa vastaavasti 3 m:n rajan. Tapauksissa "auki" palavan asunnon ovi on kokonaan auki porrashuoneeseen ja tapauksissa "rako" ovensa on n. 20 cm rako.

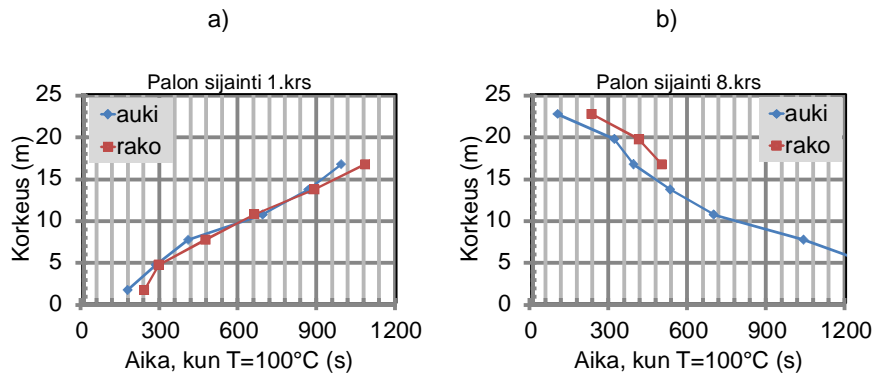
Myrkyllisten kaasujen vaikutusta on tarkasteltu kuvassa 10. Siinä poistumista haittaava ($FED=0,3$) ja lamaantumista aiheuttava ($FED=1$) pitoisuus on kuvattu FED -indeksillä. Nyt kriittisten ajanhetkien erot kapenevat entisestään, kun tarkastellaan tilannetta, jossa palo on alkanut ensimmäisestä kerroksesta. Ylimmästä kerroksesta alkanut palo tuottaa n. 100 s eron kriittisten aikojen välille, kun ovi on kokonaan auki tai raollaan. Sinisellä käyrällä esitettävät pisteet loppuvat n. 600 s kohdalla, jolloin näissä simulointitapauksissa on savunpoistoluukku avautunut ja vaikuttanut pitoisuuksiin porrashuoneessa (aikaero luultavimmin jatkuisi samankaltaisena pidemmällä ajanhetkillä).



Kuva 10. Porrashuoneen olosuhteet FED-suureen avulla tarkasteltuna tapauksissa, joissa palo on alkanut 8. kerroksesta (kuvat a ja b) tai 1. kerroksesta (kuvat c ja d). Vasemmanpuoleisissa kuvissa kriittiset ajanhetket tapauksille, kun FED on porrashuoneessa saavuttanut arvon 0.3 ja oikeanpuoleisissa vastaavasti arvon 1. Tapauksissa "auki" palavan asunnon ovi on kokonaan auki porrashuoneeseen ja tapauksissa "rako" ovesa on n. 20 cm rako.

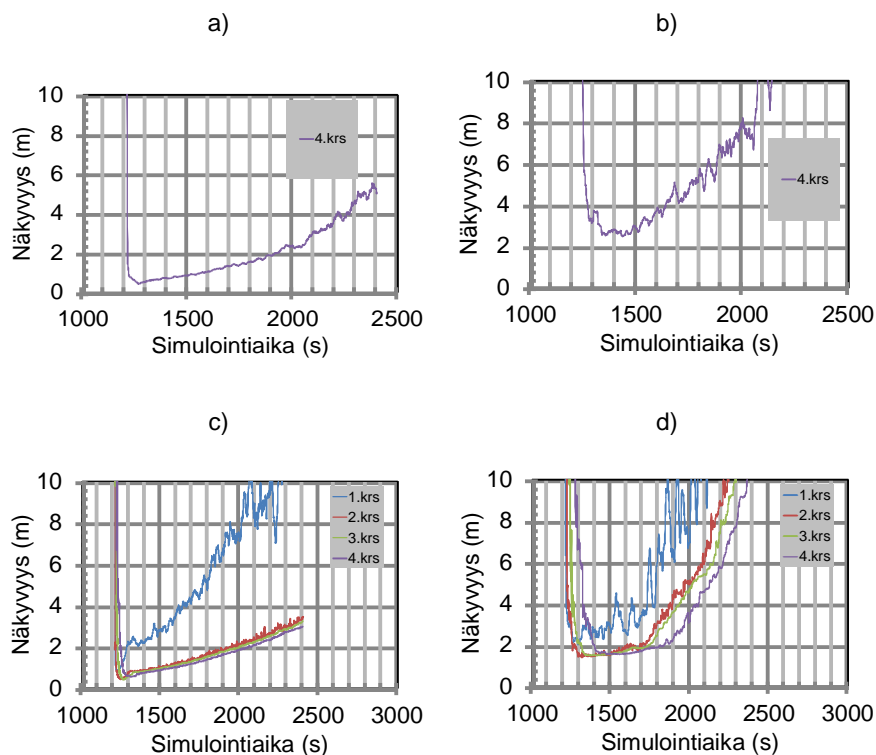
Lämpötilojen osalta käytös on jokseenkin samankaltainen kuin aiemmissa kuvissa on esitetty. Kuvassa 11 esitetään kriittiset ajanhetket, kun eri kerroksissa on muodostunut lämpötilojen osalta poistumista haittaavat olosuhteet $T=100\text{ °C}$. Kuvan 11a loppupään pisteistä on katkaistu tarkoituksella johtuen simulointiajojen liian suurista eroavaisuuksista tulosten osalta; suuressa osassa tuloksia kriittistä ajanhetkeä ei enää saavutettu noustaessa korkeammalle. Kuvan 11b sinistä käyrää ei ole katkaistu, vaan kyseisissä ajoissa lämpötilarajaa ei saavutettu johtuen savunpoistoluukkujen avautumisesta.

4. Porrashuoneen savunpoiston mallitus: Tulokset



Kuva 11. Porrashuoneen olosuhteet lämpötilasuureen avulla tarkasteltuna tapauksissa, joissa palo on alkanut 1. ja 8. kerroksesta (kuvat a ja b). Tapauksissa "auki" palavan asunnon ovi on kokonaan auki porrashuoneeseen ja tapauksissa "rako" ovessa on n. 20 cm rako.

Tapauksissa, joissa pelastuslaitos sahaa palavan asunnon oven alaosan pois, savua pääsee portaikkoon vähemmän kuin täysin avonaisesta oviaukosta. Kuvassa 12 havainnollistetaan aikasarjojen avulla, mikä ero on porrashuoneen näkyvyydellä, kun oven alaosa tai koko oviaukko on auki. Kuvasta havaitaan, että kun palo on ylimmässä kerroksessa, ei näkyvyyden menettämistä tapahdu palohuoneiston alapuolisissa kerroksissa, kun vain oven alaosa on auki. Vastaavasti palon sijaitessa ensimmäisessä kerroksessa "puolikas oviaukko" nopeuttaa olosuhteiden paranemista selvästi ja vähentää savun määrää portaikossa yleisesti ottaen.



Kuva 12. Porrashuoneen näkyvyyden menettämisen tarkastelut tilanteessa, jossa koko ovi auki (kuvat a ja c) ja vain alaosa poistetaan (kuvat b ja d). Kaikissa savunpoisto sekä savunpoistoluukun että huoneiston ikkunan kautta. Ylempissä kuvissa palo on 4. kerroksessa ja alemmissä kuvissa 1. kerroksessa.

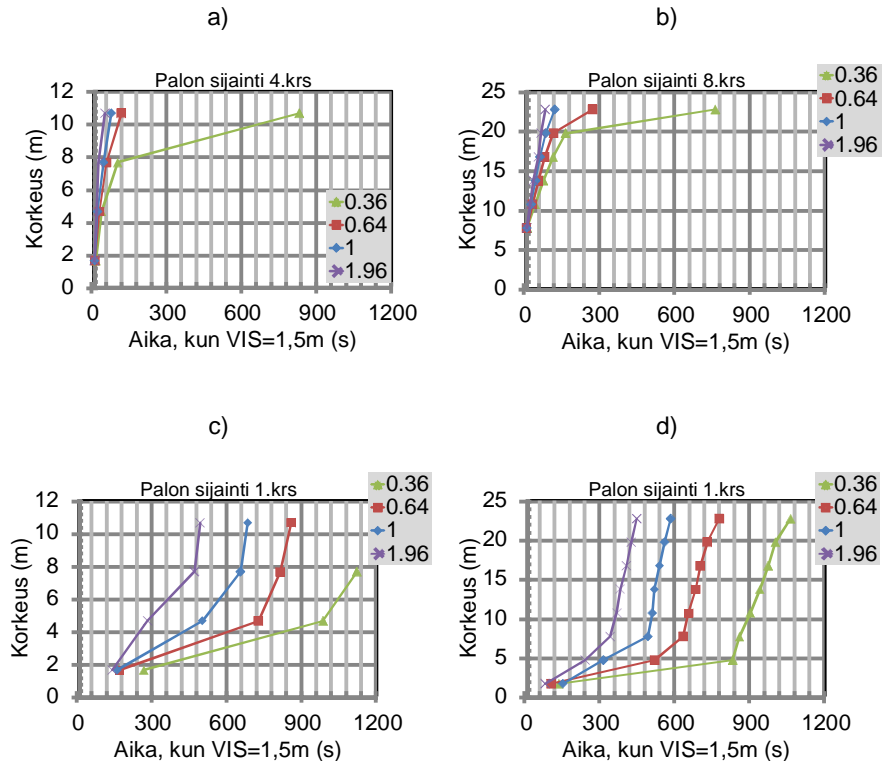
4.3 Savunpoistoluukun vaikutus porraskäytävän olosuhteisiin

Savunpoistoluukun toimintaa ja sen vaikutusta olosuhteisiin on tarkasteltu tässä esityksessä siinä vaiheessa, kun palokunta on saapunut kohteeseen ja aloittanut operatiivisen toimintansa. Simulointiajassa savunpoistoluukun avautumisaikana on käytetty 1200 s, jota samalla käytetään olosuhteiden kuvaamiseen käytettävän ajan nollakohtana. Kuvassa 13 esitetään näkyvyysarvolla 1,5 m porrashuoneen olosuhteiden paraneminen sen jälkeen kun savunpoistoluukku on avattu. Kuvassa on tarkasteltu sekä 4- että 8-kerroksista rakennusta ja sen savunpoistoratkaisuja eri savunpoistoluukun geometrisilla pinta-aloilla. Lisäksi palon sijaintia on varioitu rakennuksen ylimmän ja alimman kerroksen välillä.

Tuloksista nähdään, että savu poistuu varsin nopeasti tilanteessa, jossa palo on sijainnut ylimmässä kerroksessa. Savun poistamiseen ei ole käytetty esim.

4. Porrashuoneen savunpoiston mallitus: Tulokset

suuntapainepuhallinta, vaan savu poistuu painovoimaisesti. Kun taas tarkastellaan tilannetta, jossa tulipalo on sijainnut rakennuksen alimmassa kerroksessa, havaitaan, että suurimman ja pienimmän luukkukoon vaikutus on ajassa mitattuna noin 10 min suuremman, noin 2 m^2 , luukkukoon eduksi.



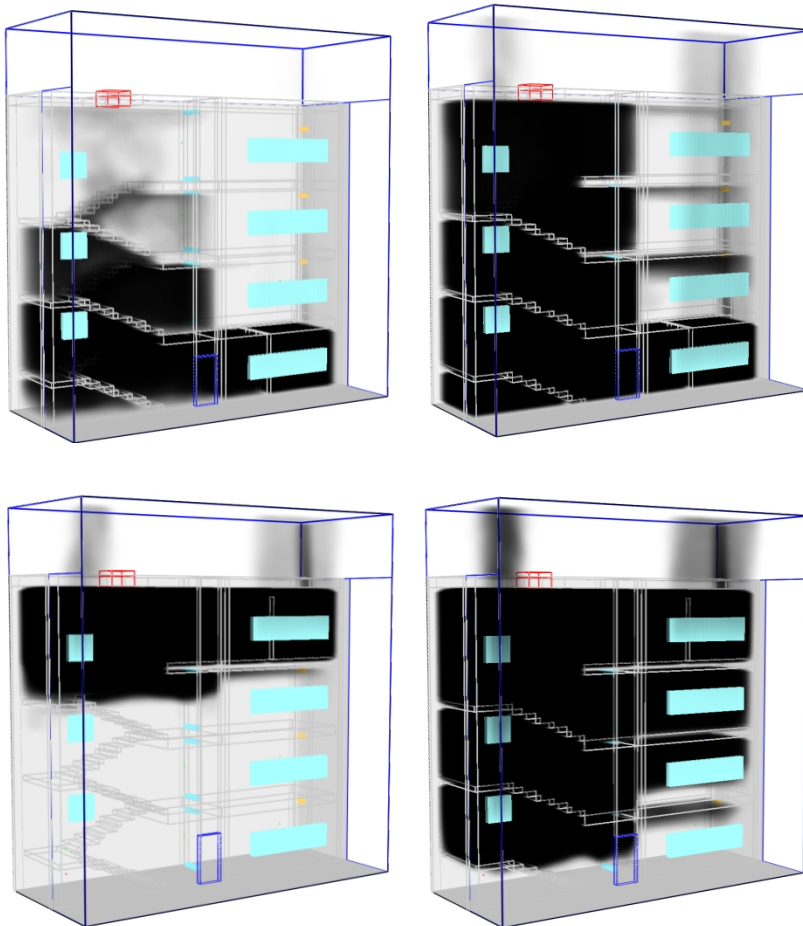
Kuva 13. Porrashuoneen olosuhteiden paranemisen tarkastelu tilanteessa, jossa palokunta on avannut savunpoistuluukun ajanhetkellä 0 s (simulointiajassa 1200 s). Tarkasteltavana suurena käytetään näkyvyyden arvoa 1,5 m. Kuvissa a ja b palon sijainti kerrostalon porrashuoneen ylimmässä kerroksessa ja kuvissa c ja d palon sijainti ensimmäisessä kerroksessa. Vasemmalla puolella kuvat 4-kerroksisesta ja oikealla puolella 8-kerroksisesta rakennuksesta. Selitteessä esiintyvät numerot ovat savunpoistuluukun geometriset pinta-alat (m^2).

5. Porrashuoneen savunpoiston mallitus: Kuvia simuloinneista

Kuvassa 14 on esitetty porrashuoneen täyttymistä savulla nelikerroksisen talon tapauksessa. Kuvissa savunpoistoluukku ei ole vielä auennut ja porrashuoneen alaovi on kiinni. Mikäli palo on ensimmäisen kerroksen huoneistossa ja asukas on poistuessaan jättänyt asunnon oven auki käytävään, porrashuone täyttyy nopeasti sankalla savulla, joka vaarantaa nopeasti henkilöturvallisuuden porrashuoneessa.

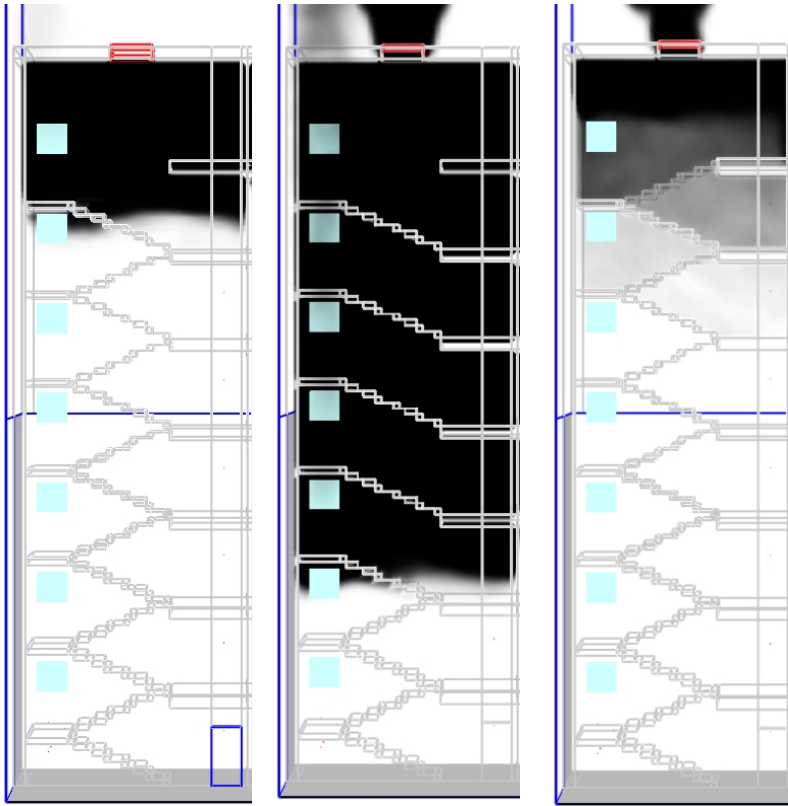
Palohuoneiston ollessa ylimmässä kerroksessa porrashuoneen täytyminen kokonaan savulla vie enemmän aikaa ja alemmista kerroksista on mahdollista poistua palon alkuvaiheessa. Mutta tässäkin tapauksessa porrashuoneen täytyminen on varsin nopeaa ja palokaasut vaarantavat henkilöturvallisuuden nopeasti porrashuoneessa.

Asuinkerrostalojen paloissa olisi ensiarvoisen tärkeää saada asukkaat ohjeistettua niin, että he poistuessaan muistavat sulkea etenkin asunnon ulko-oven. Savuisesta porrashuoneesta virtaa savua helposti myös muihin kuin palohuoneistoon, koska paine-erot ovat tyypillisessä kerrostalossa tätä suosivia.



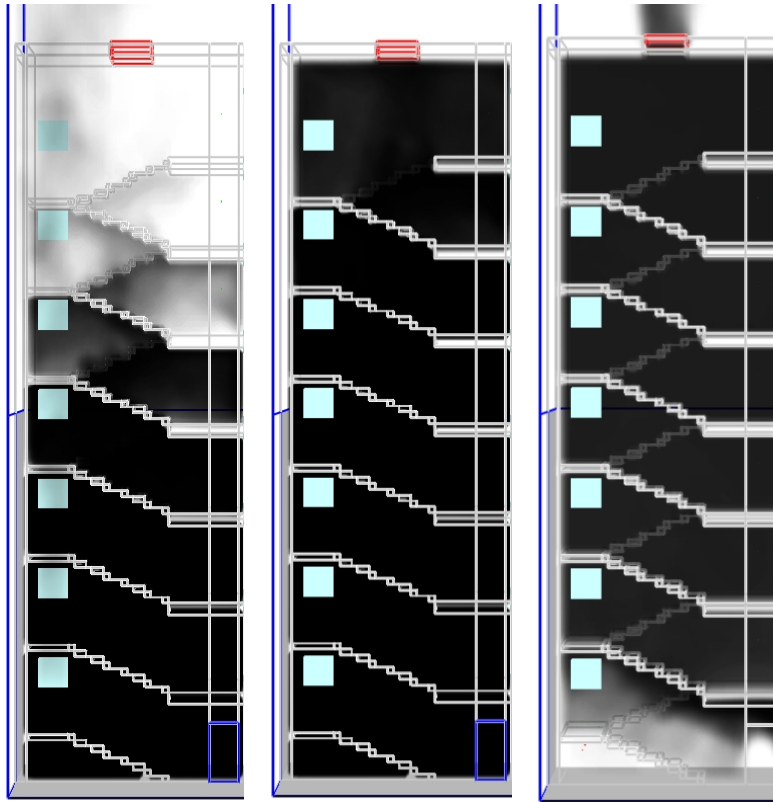
Kuva 14. Savunleviämiskuvia nelikerroksiselle porrashuoneelle: ylhäällä palohuoneisto ensimmäisessä kerroksessa (2 ja 4 minuuttia) ja alhaalla palohuoneisto ylimmässä kerroksessa (4 ja 8 minuuttia).

Kuvassa 15 on esitetty porrashuoneen täyttymistä savulla kahdeksankerroksisen talon tapauksessa, kun palohuoneisto sijaitsee ylimmässä kerroksessa ja asukas on poistuessaan jättänyt asunnon oven auki. Savunpoistoluukku avataan 20 minuutin kohdalla ja samalla hetkellä avataan myös korvausilma-aukkona toimiva porrashuoneen alaovi. Palohuoneiston ollessa ylimmässä kerroksessa porrashuoneen täyttyminen kokonaan savulla vie enemmän aikaa ja alemmista kerroksista on mahdollista poistua palon alkuvaiheessa. Savunpoistoluukun avaamisen huomataan parantavan tilannetta alemmissä kerroksissa merkittävästi ja mahdollistavan tarvittaessa alempien kerrosten asukkaiden evakuoinnin. Samalla myös palokunnan toimintaedellytykset porrashuoneessa paranevat oleellisesti.



Kuva 15. Savunleviämiskuvia kahdeksankerroksiselle porrashuoneelle, jossa palohuoneisto ylimmässä kerroksessa. Vasemmalla tilanne 5 min palon alusta, keskellä hetkellä 20 min (savuluukku aukeaa tällöin) ja oikealla hetkellä 21,5 min.

Kuvassa 16 on esitetty porrashuoneen täyttymistä savulla kahdeksankerroksisen talon tapauksessa, kun palohuoneisto sijaitsee alimmassa kerroksessa ja asukas on poistuessaan jättänyt asunnon oven auki. Savunpoistoluukku avataan 10 minuutin kohdalla ja samalla hetkellä avataan myös korvausilma-aukkona toimiva porrashuoneen alaovi. Palohuoneiston ollessa alimmassa kerroksessa porrashuone täyttyy savulla nopeasti. Savunpoistoluukun avaamisen huomataan parantavan tilannetta jonkin verran, mutta portaikko pysyy varsin savuisena siihen saakka, kunnes palo saadaan sammutettua.



Kuva 16. Savunleviämiskuvia kahdeksankerroksiselle porrashuoneelle, jossa palohuoneisto alimmassa kerroksessa. Vasemmalla tilanne 5 min palon alusta, keskellä hieman ennen hetkeä 10 min (savuluukku aukeaa tällöin) ja oikealla hetkellä 40 min.

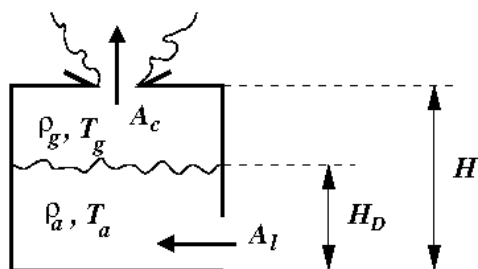
6. Savunpoiston analyysia käsinlaskenta-kaavoilla

Edellä esitettyjen kenttämalliohjelmalla tehtyjen simulointien antamia tuloksia voidaan analysoida tarkemmin yksinkertaisten paloteknisten käsinlaskentamallien avulla. Tässä luvussa tarkastellaan kolmea eri käsinlaskentaan soveltuvaa mallia, jotka on selitetty hyvin esimerkiksi Karlssonin ja Quintieren oppikirjassa [4], sekä sovelletaan näitä malleja nelikerroksisen talon porrashuoneeseen.

Porrashuoneen savunpoiston tehokkuutta, lähinnä eri asioiden vaikutusta kattoluukun kautta poistuvaan massavirtaan, voidaan arvioida kahdella eri käsinlaskenta-kaavalla. Näistä ensimmäinen, Karlssonin ja Quintieren oppikirjan luvussa viisi esitetty malli ei ota huomioon palopatsasta lainkaan, vaan siinä oletetaan huoneen ilman olevan alhaalla kylmää ja ylhäällä kuumaa (savuista). Mallissa katossa on kattoluukku ja alhaalla ovi seinällä ja oven oletetaan olevan kokonaisuudessaan kylmässä kerroksessa eli "savuraja" on oven yläpuolella. Toinen, kyseisen kirjan luvussa kahdeksan esitetty malli ottaa huomioon myös palopatsaan ja huonetilan seinämateriaalin ominaisuudet, muutoin tilanne on sama kuin ensimmäisessäkin mallissa.

Ensimmäinen malli perustuu pelkästään Bernoullin yhtälöön eli kylmän ja kuuman kaasun eri tiheydestä aiheutuviin paine-eroihin. Jälkimmäisessä mallissa suoritetaan myös energiatarkasteluja ja käytetään hyväksi kokeisiin perustuvaa palopatsas-mallia, jolla arvioidaan massavirtaa palopatsaasta kuumaan (savuiseen) kerrokseen.

Kuvassa 17 on esitetty yksinkertaisemman mallin kaaviokuva, johon on merkattu osa käytetyistä suureista. Tilan korkeus on H , savurajan korkeus lattiasta mitattuna H_D , oven (korvausilma) pinta-ala A_l , ja kattoluukun pinta-ala A_c . Kylmän ilman tiheys on ρ_a ja lämpötila T_a . Kuuman ilman tiheys on ρ_a ja lämpötila T_a . Mallissa siis oletetaan alemman (kylmän) kerroksen lämpötilan olevan sama kuin ulkolämpötila, eli huoneen alaosaa on täyttynyt ulkoa tulevalle korvausilmalla.



Kuva 17. Kaaviokuva käytetylle yksinkertaiselle savuluukkumallille, joka on esitetty Karlssonin ja Quintieren oppikirjan [4] luvussa viisi. Malli ottaa huomioon vain kaasujen lämpötilaerosta johtuvan tiheyseron eli on Bernoullin yhtälön mukainen ratkaisu tilanteelle.

Massavirta kattoluukusta ulos, \dot{m}_e , saadaan laskettua kaavasta

$$\dot{m}_e = \frac{C_d A_c \rho_a \sqrt{2g(H - H_D)(T_g - T_a)T_a}}{\sqrt{T_g(T_g + A_c^2 T_a / A_l^2)}} \quad (3)$$

missä C_d on luukun virtausvastuskerroin, g putoamiskiihtyvyyys ja loput suuret käyvät ilmi kuvasta 17. Kaavassa kaikki suuret ovat SI-järjestelmän perusyksiköissä eli lämpötilat kelvineissä, pituudet metreissä, pinta-alat neliömetreissä jne.

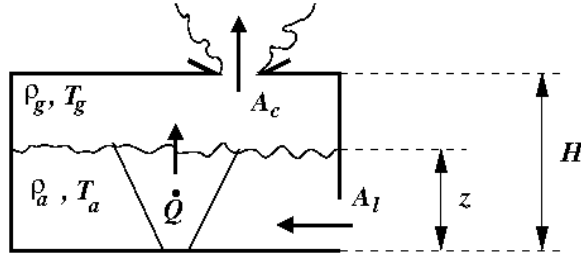
Kuvassa 18 on esitetty palopatsaan (paloteho \dot{Q}) huomioivan mallin kaaviokuva, johon on merkattu osa käytetyistä suureista. Tilan korkeus on H , savurajan korkeus lattiasta mitattuna z , oven (korvausilma) pinta-ala A_l , ja kattoluukun pinta-ala A_c . Kylmän ilman tiheys on ρ_a ja lämpötila T_a . Kuuman ilman tiheys on ρ_g ja lämpötila T_g . Mallissa siis oletetaan alemman (kylmän) kerroksen lämpötilan olevan sama kuin ulkolämpötila, eli huoneen alaosa on täytynyt ulkoa tulevalle korvausilmalla. Tämänkin malli on esitetty muodossa, jossa käytetään SI-järjestelmän yksiköitä kaikille suureille.

Malli huomioi myös katon ja kuuman kerroksen kanssa olevien seinien osuuden lämpöhäviöistä energiatarkastelussa. Koska malli on tarkoitettu arvioimaan tilan savulla täyttymistä eli palon alkuvaihetta, eivät seinät ehdi lämpenemään läpikotaisin ja seinien voidaan ajatella olevan puoliäärettömiä kappaleita. Tällöin efektiiviselle lämmönsiirtokertoimelle saadaan arvo

$$h = \sqrt{\frac{k\rho c}{\pi t}} \quad (4)$$

missä k on materiaalin lämmönjohtavuus, ρ tiheys ja c ominaislämpökapasiteetti. Arvioitaessa efektiivisen lämmönsiirtokertoimen suuruutta joudutaan arvioimaan

lausekkeessa esiintyvää aikaa t jotenkin. Tyypillisesti savunpoistotilanteessa voidaan vakiintuneen tilan arvioida olevan muodostunut noin kymmenen minuutin kuluessa. Esimerkiksi betoniseinälle kertoimen arvoksi tulee noin $33 \text{ W/m}^2\text{K}$ [4, sivu 213]. Ajan arvioiminen ei ole kovinkaan tarkkaa, sillä se esiintyy neliöjuuren sisällä, jolloin esimerkiksi ajan nelinkertaistaminen pienentää kerrointa vain tekijällä kaksi.



Kuva 18. Kaaviokuva käytetylle savunpoistomallille, joka on esitetty Karlssonin ja Quintierin oppikirjan [4] luvussa kahdeksan. Malli ottaa huomioon kaasujen lämpötilaerosta johtuvan tiheyseron, palopatsaan massavirran sekä energian absorboitumisen seiniin.

Tämän palopatsaan huomioivan mallin laskennallinen metodi on seuraava:

1. Arvaa jokin arvo kerrosrajan korkeudelle z .
2. Laske massavirta \dot{m} kylmästä (alemmasta) kerroksesta kuumempaan (ylempi) kerros eli palopatsaan massavirta \dot{m}_p kerrosrajan korkeudella:

$$\dot{m} = \dot{m}_p = 0,21 \left(\frac{\rho_a^2 g}{c_p T_a} \right)^{1/3} \dot{Q}^{1/3} z^{5/3} \quad (5)$$

missä c_p on ilman ominaislämpökapasiteetti ja g putoamiskiihtyvyyys.

3. Laske paine-ero alhaalla, ΔP_1 , (sisä- ja ulkopuolen välillä, vakio paine-ero, sillä sama lämpötila molemmin puolin):

$$\Delta P_1 = \frac{\dot{m}^2}{2\rho_a (C_d A_l)^2} \quad (6)$$

missä C_d on oviaukon virtausvastuskerroin.

4. Laske kuumen (ylempi) kerroksen lämpötila, T_g , yhtälöstä

$$T_g = T_a + \frac{\dot{Q}}{c_p \dot{m}_e + hA_w} \quad (7)$$

missä \dot{m}_e on massavirta kattoluukusta ulos, A_w on katon ja kuuman kerroksen kanssa olevien seinien osien yhteenlaskettu pinta-ala ja h on näiden efektiivinen lämmönsiirtokerroin.

5. Laske kuuman kerroksen tiheys ρ_g (ideaalikaasun tilanyhtälö, P_0 normaali ilmanpaine, M_i ilman moolimassa, R yleinen kaasuvakio):

$$\rho_g = \frac{P_0 M_i}{RT_g} = \frac{353}{T_g} \quad (8)$$

6. Laske massavirta kattoluukusta ulos, \dot{m}_e :

$$\dot{m}_e = C_d A_c \sqrt{2\rho_g (-\Delta P_1 + (\rho_a - \rho_g)g(H - z))} \quad (9)$$

missä C_d on kattoluukun virtausvastuskerroin.

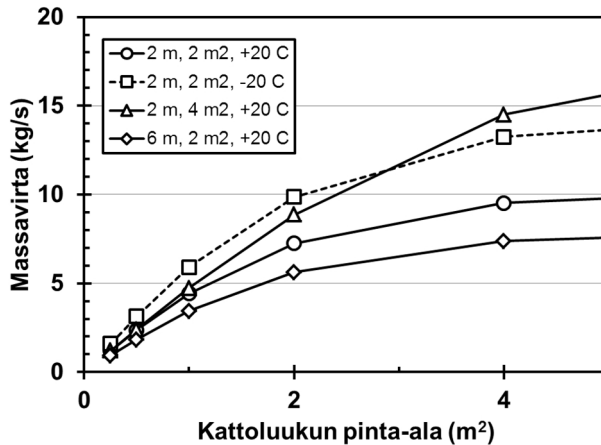
7. Tarkasta, että massavirrat kattoluukusta ja palopatsaasta kuumaan kerrokseen ovat likimain yhtä suuria (eli $\dot{m} \approx \dot{m}_e$)

Kuvassa 19 on esitetty ensimmäisen, yksinkertaisemman, mallin antamat tulokset kattoluukun massavirralle. Tässä mallissa savurajan korkeus maasta on annettava syötesuure. Laskennassa käytettiin sekä 2 m että 6 m korkeutta lattiasta. Lisäksi malliin on syötettävä sekä kuuman että kylmän kerroksen lämpötilat. Ulkolämpötila on mallissa sama kuin kylmän kerroksen lämpötila (korvausilma ulkoa). Kuvassa esitetyissä tuloksissa kuuman kerroksen lämpötila on kaikissa tapauksissa 100 °C, kylmän kerroksen lämpötilana on käytetty yleensä 20 °C, mutta yhdessä tapauksessa ulkolämpötila oli -20 °C. Laskuja tehtiin myös käyttämällä kuumalle kerrokselle lämpötiloja 50 °C ja 150 °C ja kattoluukun pinta-alan annettiin kasvaa 16 m²:iin saakka.

Kuvaan 19 on valittu edustavimmat tulokset, pohjautuen osin palopatsaan huomioivaan malliin, joka antaa myös arvion kuuman kerroksen lämpötilalle. Eri kuuman kerroksen lämpötiloilla lasketut tulokset vastaavat hyvin toisiaan, eli muiden syötesuureiden vaikutukset olivat hyvin samankaltaiset kuin käytettäessä 100 °C lämpötilaa kuumalle kerrokselle.

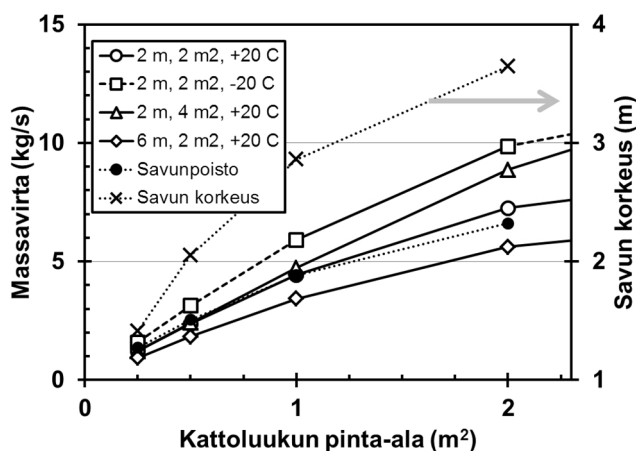
Yksinkertaisemman käsinlaskentamallin tuloksista nähdään se tosiasia, että korvausilma-aukon on hyvä olla ainakin kattoluukun suuruinen, että savunpoisto toimisi. Käytännössä porraskuilun tapauksessa korvausilma tulee yleensä katusassossa olevan ulko-oven kautta ja tyypillisesti tämän pinta-ala on noin 2 m². Tämän

vuoksi savunpoistoluukkua (tai luukkujen yhteenlaskettua pinta-alaa) ei juurikaan kannata mitoittaa yli 2 m^2 suuruiseksi. Palokunnan mahdollisesti ala-ovelle asettama puhallin lisää ovesta porraskuiluun virtaavan korvausilman määrää, jolloin on perusteltavissa hieman suurempi kattoluukun (tehollinen) pinta-ala kuin mitä pelkkään painovoimaiseen savunpoistoon liittyvät mitoitukset antaisivat optimaaliseksi kattoluukun kooksi.



Kuva 19. Massavirta kattoluukusta ulos kattoluukun pinta-alan funktiona käsinlaskentakaavan (3) mukaisesti, jossa mukana vain kylmä ja kuuma kerros. Selitteessä on mainittu ulkoilman ja samalla huoneen sisällä olevan kylmän kerroksen lämpötila (+20 °C tai -20 °C), kuumen kerroksen korkeus lattiasta (2 m tai 6 m) sekä oven (korvausilma) pinta-ala (2 m² tai 4 m²).

Kuvassa 20 on esitetty yksinkertaisemman mallin tuloksien lisäksi myös monimutkaisemman, mm. palopatsaan huomioivan, mallin antamat tulokset perustapaukselle (ulkona +20 °C, ulko-ovi 2 m², 1000 kW paloteho porraskuulun lattiatasossa). Mallien tuloksien nähdään olevan hyvin sopusoinnussa keskenään. Mallien antamat yleiskehitykset eri syötesuureiden vaihteluiden seurauksena ovat myös hyvin samankaltaiset. Taulukkoon 1 on koottu monimutkaisemmalla mallilla lasketut tulokset, joissa eräitä mallin syötteitä on vaihdeltu.



Kuva 20. Massavirta kattoluukusta ulos kattoluukun pinta-alan funktiona käsinlaskentakaavan (3) mukaisesti, jossa mukana vain kylmä ja kuuma kerros. Kuvassa on myös tulokset massavirralle kattoluukusta ulos ja savuisen (kuuman) kerroksen korkeudelle lattiasta mitattuna. Nämä tulokset on laskettu palopatsaan huomioivan käsinlaskentamallin kaavoilla (5)–(9). Selitteessä on mainittu ulkoilman ja samalla huoneen sisällä olevan kylmän kerroksen lämpötila (+20 °C tai -20 °C), kuuman kerroksen korkeus lattiasta (2 m tai 6 m) sekä oven (korvausilma) pinta-ala (2 m² tai 4 m²). Palopatsasmallissa on samat parametrit kuin selitteen ensimmäisellä rivillä olevassa laskussa, ja palotehona on käytetty 1000 kW ja seinien on oletettu olevan betonia.

Taulukko 1. Palopatsaan huomioivalla käsinlaskentamallilla kaavoilla (5)–(9) lasketut tulokset massavirralle kattoluukusta ulos (\dot{m}) sekä mallin antama savurajan korkeus porraskuilun lattiasta mitattuna (z) neljälle eri kattoluukun pinta-alalle (A_c).

oven koko (m ²), ulkolämpö-tila (°C), paloteho (kW)		$A_c = 0,36 \text{ m}^2$	$A_c = 0,64 \text{ m}^2$	$A_c = 1,0 \text{ m}^2$	$A_c = 2,0 \text{ m}^2$
2 m ² , +20 °C, 1000 kW	z (m)	1,72	2,33	2,86	3,65
	\dot{m} (kg/s)	1,89	3,13	4,41	6,61
2 m ² , -20 °C, 1000 kW	z (m)	1,75	2,35	2,89	3,68
	\dot{m} (kg/s)	2,25	3,69	5,20	7,79
4 m ² , +20 °C, 1000 kW	z (m)	1,73	2,36	2,95	4,01
	\dot{m} (kg/s)	1,91	3,20	4,65	7,73
1 m ² , +20 °C, 1000 kW	z (m)	1,70	2,21	2,59	2,98
	\dot{m} (kg/s)	1,85	2,87	3,74	4,72
2 m ² , +20 °C, 500 kW	z (m)	1,77	2,37	2,91	3,68
	\dot{m} (kg/s)	1,57	2,57	3,60	5,32
4 m ² , +20 °C, 500 kW	z (m)	1,77	2,39	3,02	4,06
	\dot{m} (kg/s)	1,57	2,60	3,83	6,28
1 m ² , +20 °C, 500 kW	z (m)	1,73	2,24	2,61	2,98
	\dot{m} (kg/s)	1,51	2,33	3,01	3,74

Käsinlaskentamallien antamat tulokset porrashuoneen savunpoistolle vahvistavat osaltaan kenttämallisimulointien tulokset ja niissä käytetyt oletukset. Porraskuilun savunpoistoaukkojen kokoja ei käytännössä voi juurikaan muuttaa johtuen korvausilma-aukkona toimivan alaoven koosta, joka käytännössä rajaa savunpoistoluukkujen pinta-alan aika rajatulle alueelle.

Tuloksista nähdään myös se, että ulkoilman lämpötilalla (talvi vai kesä) ei ole suurtakaan vaikutusta tuloksista saataviin suuntaviivoihin. Talviolosuhteissa painovoimasta johtuva ilmanvaihto tehostuu, mutta tämä muutos ei ole kovin merkittävä. Muutos $+20\text{ °C} \rightarrow -20\text{ °C}$ saattaa tuntua isolta, mutta on muistettava, että termodynamiikassa käytetään absoluuttista lämpötila-asteikkoa eli tällöin muutos ilmaistaan siis $293\text{ K} \rightarrow 253\text{ K}$ eli muutos lämpötiloissa kesästä talveen on alle 14 %.

Käsinlaskentamalleilla voidaan myös arvioida palotilan, lähinnä normaalin huoneen muotoisen tilan, lämpötiloja. McCaffrey, Quintiere ja Harkleroad [5] ovat esittäneet kokeisiin perustuvan mallin palotilan lämpötilalle palon kasvuvaiheessa eli ennen palotilan yleissyttymistä eli lieskahdusta. Tämä MQH-malli on myös esitetty varsin hyvin Karlssonin ja Quintieren kirjan kappaleessa 6. Mallissa tarkastellaan huonetta, jossa on yksi H_0 korkea A_0 kokoinen aukko seinällä ja sisällä paloteho \dot{Q} .

Edellä kuvassa **18** esitetyn mallin tilanne vastaa kattoluukku lukuun ottamatta nyt tarkasteltavaa tapausta (oven ala kuvassa A_l eikä A_0 kuten nyt). Palotilan seinä- ja kattomateriaalin lämmönjohtavuus on k , tiheys ρ ja ominaislämpökapasiteetti c sekä paksuus δ . Mallissa kaikkien huonetilaa rajoittavien pintojen ajatellaan osallistuvan lämmönsiirtoon eli mallissa käytetään sisäpintojen yhteenlaskettua pinta-alaa A_T , jossa siis laskettu yhteen katon, lattian ja seinien pinta-alat ja josta vähennetty aukkojen osuus.

Mallissa arvioidaan myös seiniin ja kattoon absorboituvan lämmön vaikutus palotilan lämpötilaan efektiivisen lämmönsiirtokertoimen h_k avulla, joka on määriteltä seuraavasti:

$$h_k = \sqrt{\frac{k\rho c}{t}}, \quad t < t_p \quad (10)$$

Kun ollaan puoliäärettömässä tasolevyn tapauksessa eli ei ole saavutettu stationääristä tilaa ja ohuen seinän taikka pitkän ajan kuluttua, kerroin saadaan kaavasta

$$h_k = \frac{k}{\delta}, \quad t \geq t_p \quad (11)$$

Edellä t on ajanhetki, jolloin palotilan lämpötilaa tarkastellaan, ja t_p on terminen penetraatioaika, joka lasketaan kaavasta

$$t_p = \frac{\rho c \delta^2}{4k} \quad (12)$$

Mikäli seinät ja katto koostuvat eri materiaaleista, lasketaan efektiivinen lämmönsiirtokerroin pinta-aloilla painotettuna keskiarvona. Mikäli seinämateriaali on kerrosmainen, sen lämmönsiirtokerroin lasketaan kuten sarjassa olevat lämmönvastukset eli summataan kertoimien käänteisluvut yhteen ja otetaan tästä summasta lopuksi käänteisluku. Kerrosrakenteen tapauksessa kannattaa huomioida eri kerrosten, varsinkin päällimmäisten, termiset penetraatioajat eli mitkä kerrokset kerkeävät lämpenemään tarkasteltavalla aikavälillä merkittävästi.

MQH-malli antaa kuumen kerroksen lämpötilan nousuksi $\Delta T_g = T_g - T_a$

$$\Delta T_g = 1,63 \left(\frac{\dot{Q}}{c_p \rho_a T_a A_0 \sqrt{g H_0}} \right)^{2/3} \left(\frac{h_k A_T}{c_p \rho_a A_0 \sqrt{g H_0}} \right)^{-1/3} \quad (13)$$

missä vakio 1,63 on kokeisiin perustuva soviteparametri, g putoamiskiihtyvyys, c_p ilman ominaislämpökapasiteetti, ρ_a on kylmän ilman tiheys ja T_a lämpötila. Sijoittamalla 20 °C asteisen ilman parametrit edellä olevaan yhtälöön kylmälle ilmalle saadaan insinöörimäisempi kaava

$$\Delta T_g = 6,85 \left(\frac{\dot{Q}^2}{h_k A_T A_0 \sqrt{H_0}} \right)^{1/3} \quad (14)$$

Mallilla on rajoituksensa, eli mallia johdettaessa ja kokeellisiin tuloksiin sovitettaessa käytettiin tyypillisen kokoisia huoneita, lämpötilannousu oli suurimmillaan 600 astetta ja palolähde oli kaukana seinistä. Palon oletetaan olevan polttoainerajoitetun, eli happea on riittävästi palotilassa. Malli soveltuu näin ollen palotilan lämpötilan laskentaan ennen yleissyttymistä.

Malli ottaa siis huomioon palotilan seinien, lattian ja katon materiaalin vaikutuksen palotilan lämpötilaan, joka voi olla huomattava. Palossa vapautuvasta energiasta voi varsin suuri osa absorboitua tilaa rajoittaviin pintoihin: esimerkiksi betoni imee tehokkaasti energiaa, kipsilevy huomattavasti vähemmän. Jos huoneen pinnat ovat suhteellisen huonoja lämmönjohteita, palohuoneen lämpötila nousee korkeaksi.

MQH-mallia voidaan myös käyttää ennustamaan paloteho, joka vaaditaan tilan yleissyttymiseen. Sillä voidaan myös arvioida yleissyttymiseen kuluva aikaa, joka tosin käytännössä riippuu hyvinkin paljon ensiksi syttyvän esineen ominaisuuksista ja siitä, kuinka palo etenee tästä esineestä viereisiin palaviin kohteisiin. Mallilla voidaan lisäksi arvioida palotilan lieskahtamiseen vaadittavaa palotehoa käyttämällä esimerkiksi lieskahtamiskriteerinä 500 asteen lämpötilan nousua. Kirjallisuudessa

lieskahduksen on tyypillisesti havaittu (tai oletettu) tapahtuvan, kun huonetilan lämpötila saavuttaa 500–600 °C lämpötilan.

Lieskahtaneen palotilan lämpötilan arvioimiseen ei ole yhtä helppoa menetelmää, koska tällöin on yleensä kyseessä happirajoitteinen palo. Palotilan aukkojen perusteella lieskahtaneen palon maksimipalotehoksi palotilassa saadaan noin [4]

$$\dot{Q}_{\max} = 1,5 \cdot A_0 \sqrt{H_0} \quad \text{MW} \quad (15)$$

missä A_0 on (ovi)aukon pinta-ala neliömetreinä ja H_0 (ovi)aukon korkeus metreinä. Tässä oletetaan, että kaiken palotilaan tulevan tuoreen ilman sisältämä happi osallistuu palotapahtumaan palotilassa ja palava materiaali (tarkemmin sanottuna siitä syntyvät pyrolyysikaasut) vapauttaa energiaa 13,2 MJ kulutettua happikiloa kohden.

Tässä julkaisussa simuloituissa kerrostalon huoneistopaloissa paloteho oli määritetty niin, että palo tuli happirajoitteiseksi, sillä palohuoneiston isojen ikkunoiden ei oletettu hajoavan. Mikäli palohuoneiston ovi ei ollut auki tai se avattiin vasta palokunnan toimesta, oletettiin huoneiston päätyikkunan hajoavan, jotta palo ei hiipuisi hapen puutteeseen. Simuloinneissa happirajoitteinen paloteho oli noin 3,4 MW. Esimerkiksi 2 m korkean ja 1 m levyisen oven aukiolo antaa maksimipalotehoksi noin 4,2 MW, ja 3,4 MW palotehoa vastaisi 2 m korkea ja 0,8 m leveä aukko, mikä olikin simuloinneissa käytetyn oviaukon koko asunnon sisällä.

Käyttämällä kaavaa (13) nähdään suoraan, että paloteholla 3,4 MW tila tulee lieskahtamaan hyvin nopeasti. Palohuoneen leveys simuloinneissa oli 3,4 m ja syvyys 3,0 m eli 10,2 m² kokoinen huone. Arvioitaessa tämänkokoisen huoneen lieskahtamiseen vaadittavaa palotehoa voidaan lieskahdukselle käyttää esimerkiksi kriteeriä, että lämpötila nousee tilassa 500 °C. Tällöin nähdään tilan lieskahtamiseen riittävän noin 700 kW palotehon, jolloin lämpötilan nousu 10 min kohdalla on noin 500 astetta ja 20 min kohdalla noin 560 astetta, kun käytetään pintamateriaaleille betonin arvoja. Sama asia toisin sanottuna: lieskahdukseen vaadittavaksi palotehoksi saadaan noin 680 kW, kun käytetään 10 minuuttia efektiivisen lämmönsiirtokertoimen lausekkeessa (10), ja noin 575 kW, kun käytetään 20 minuuttia efektiivisen lämmönsiirtokertoimen lausekkeessa (10).

Taulukkoon 2 on laskettu MQH-korrelaatiolla FDS-simuloinneissa käytetyn palotehokäyrän mukaisia lämpötiloja simuloinneissa käytetylle palohuoneelle. MQH-korrelaatio pätee palon kasvuvaiheessa ennen yleissyttymistä, joten ajanhetkillä 240 s ja 300 s taulukoidut arvot ovat mallin käyttöalueen ulkopuolella ja niihin pitää suhtautua varauksella. Mutta tuloksista nähdään palon kehittyvän yleissyttymiseen varsin nopeasti, noin kolmessa minuutissa. Blomqvistin ym. [3] tekemissä kolmessa kokeessa lämpötila nousi muutamassa minuutissa noin kahdeksaansataan asteeseen siitä, kun paloteho lähti kunnolla kasvamaan, mikä vastaa palosimulointien palon syttymishetkeä. MQH-mallin nähdään toistavan tämän kokeellisen käytöksen.

Porrashuoneen lämpötilojen laskentaan MQH-malli ei sovellu, sillä mallissa ei huomioida kattoluukkuja ja mallin johdossa oletetaan, että lämpöä karkaa seinillä olevista aukoista eli että kuuma kerros on ehtinyt laskeutua aukkojen yläreunan

6. Savunpoiston analyysia käsinlaskentakaavoilla

alapuolelle. Tätä viimeistä ehtoa ei saavuteta porrashuoneessa kovinkaan nopeasti palon syttymisestä. Muutoinkin porrashuone eroaa varsin paljon mallin parametrisoinnissa käytettyjen palokokeiden huoneista.

Taulukko 2. MQH-korrelaatiolla (13) laskettuja palohuoneen kuumen kerroksen lämpötiloja käyttämällä FDS-mallinnuksessa käytettyä palotehokäyrää eri ajanhetkillä.

t (s)	\dot{Q} (MW)	T_g MQH (°C)
0	0	0
60	204	155
120	726	372
180	1567	649
240	2729	974
300	3915	1280

7. Simuloinnin käyttö palontutkinnassa: Lähtötiedot ja raportointi

Tässä luvussa keskitytään siihen, miten savunpoiston simulaatioihin perustuvat mallinnukset tulisi raportoida, jotta ne olisivat riittävän hyvin dokumentoidut eli että mallitus voitaisiin myös tarvittaessa toistaa jonkin toisen henkilön toimesta. Myöhemmin tässä luvussa esitetään luonnos listaksi, johon voidaan kerätä palopaikalla (ja toimistossa täydentää myöhemmin) palontutkinnan vaatiman mallituksen kannalta tärkeitä tietoja huomioiden myös muutkin kuin savunpoiston mallitukseen liittyvät seikat.

7.1 Savunpoistosimuloinnit: Raportointikäytäntö

Seuraavaksi esitetään joitakin asioita, jotka pitäisi huomioida savunpoistomallituksen tuloksia raportoidessa, eli mitä on hyvä kirjoittaa raporttiin, jotta mallituksen voisi joku jälkikäteen tarkastaa ja tarvittaessa simuloida uudestaan. Usea näistä huomioista pätee myös palontutkinnan alkuvaiheisiin eli siihen, mitä palopaikalla tehdään. Mallitukseen vaaditaan kohteesta erilaisia lähtötietoja, jotka tietenkin pitää myös raportoida simulointituloksien yhteydessä. Lista mallituksen raportoinnista siis antaa myös paljon vinkkiä siihen, mitä tietoja palopaikalta mahdollisesti tarvitaan mallituksen yhteydessä.

Savunpoiston mallinnus tulisi raportoida niin, että raportista löytyvät kaikki tarvittavat tiedot simulointien toistamiseen. Raportista tulisi löytyä ainakin seuraavat tiedot:

1. Mallinnettavan kohteen kuvaus
 - a) Rakennekuva, mitat, materiaalit
 - b) Miksi mallinnetaan, mitä halutaan tutkia/osoittaa
2. Savunhallintajärjestelmän konseptuaalinen malli
 - a) Savunhallintajärjestelmän kuvaus
 - b) Mitä oletetaan tapahtuvaksi palon aikana
 - c) Hyväksymiskriteerit

3. Simuloitavat paloskenaariot
 - a) Palon sijainti, paloteho, kasvunopeus, millä perusteella valittu
 - b) Reunaehdot (esim. ilmastointi, tuuletus, avoimet ovet/ikkunat, vuodot, rakenteet)
 - c) Rajaukset (mitä huomioidaan/ei huomioida)
4. Käytetty simulointiohjelma
 - a) Viite, josta löytyy tiedot ko. ohjelmasta
 - b) Ohjelman fysikaalinen ja matemaattinen perusta
 - c) Validointi
 - d) Ohjelman versionumero (mahdollinen päiväys myös)
5. Käytetty laskentamalli:
 - a) Verkon koko ja jakoväli (kenttämallit)
 - b) Materiaalit ja parametrit
 - c) Käytetyt reunaehdot (esim. suljetut/avoimet reunat, imut/injektiot, tuuli)
 - d) Palon kuvaaminen (geometria ja parametrit, laskentaverkon tiheys)
6. Tulokset
 - a) Sanallinen kuvaus ja animaatio tai kuvasarja siitä, mitä simuloinnissa tapahtuu
 - b) Informatiiviset poikkileikkauskuvat kriittisistä kohdista (esim. lämpötilajakaumat, joista näkyy kuuma kerros, palopatsas, savusulkujen vaikutus)
 - c) Pistemittausten tulokset käyrinä (esim. näkyvyyden kehitys ajan suhteen poistumisreiteillä)
 - d) Virtaukset (kg/s ja/tai m³/s) eri aukoista, etenkin savunpoisto ja korvausilma
 - e) Miten tulokset suhtautuvat hyväksymiskriteereihin
 - f) Vaihtoehtoisten ratkaisujen vertailu
 - g) Tulosten epävarmuus

Se, mitä tietoja rakennuksen geometriasta ja (pinta)materiaaleista tarvitaan, riippuu varsin paljon käytettävästä mallinnusmenetelmästä. Jos käytetään vyöhykemalleja, joissa rakennus kuvataan toisiinsa kytkettyinä (suorakulmaisina) huoneina, ei huoneista tarvita kovinkaan tarkkoja tietoja niiden geometriasta. Päämitat (leveys, syvyys, korkeus) ja eri aukkojen paikat ja koot riittävät. Materiaaleista tarvitaan tietoa lähinnä vain seinä-, lattia- ja kattomateriaalien osalta. Näissä malleissa itse palo joudutaan kuvaamaan varsin yksikertaisesti palopatsasmallilla, joten palavasta materiaalista riittää tietään jonkinlainen arvio tyyliin ”pääosin puu-/selluloosapohjaista” tai ”muovia/pehmustettuja huonekaluja” tai mahdollisesti näiden tyyppien osuudet (palokuorma ja paljonko palossa kutakin kuormaa ehti palaa).

Koska savunpoiston mallitus keskittyy tyypillisesti palon alkuvaiheeseen, lähinnä huonetilojen pintamateriaaleilla ehtii olla suurempaa vaikutusta tuloksiin eli syvällä seinän sisällä olevat materiaalit eivät ehti vielä lämmetä. Esimerkiksi seinän sisällä olevilla kantavilla rakenteilla ei ole tyypillisesti vaikutusta simulointien tuloksiin.

Kenttämalleja käytettäessä kukin rakennuksen huone jaetaan tiheään (tyypillisesti käytännössä luokkaa 10–20 cm) laskentaverkkoon, jolloin huoneiden geometria voidaan ottaa paljon paremmin huomioon kuin vyöhykemalleja käytettäessä. Tällöin rakennuksen geometriasta tarvitaan paljon yksityiskohtaisemmat tiedot. Mikäli rakennuksesta on saatavilla hyvät pohjakuvat, suurin osa tiedoista saadaan sieltä, mutta etenkin aukkojen kohdalla on syytä tehdä mittauksia. Aukkojen korkeudet lattiapinnasta ja itse aukkojen korkeudet on syytä raportoida. Tämä voidaan tehdä mittaamalla aukot taikka ottamalla tarvittava määrä digitaalisia kuvia, joissa on jokin sopiva ”mittatikku ikkunalaudalla”. Digitaalisista kuvista voidaan jälkikäteen tehdä mittauksia etenkin, jos kohde on kuvattu suoraan edestä.

Kenttämalleilla simuloitaessa voidaan palokuorman palaminen ottaa tarkemmin huomioon kuin vyöhykemalleilla simuloitaessa, mutta varsin usein myös kenttämalleilla tyydytään käyttämään yksinkertaista ”poltinmallia” kuvaamaan paloa eli laskuun syötetään ennalta annetun aikasarjan mukaisesti palavaa kaasua tietyiltä pinnoilta eikä malliteta palaneiden kohteiden pyrolysoitumista eli lämpöhajoamista ollenkaan. Tämä malli palavalle materiaalille ei välttämättä anna kovin totuudenmukaista kuvaa itse palohuoneen tilanteesta, mutta muualla rakennuksessa voidaan saada riittävän tarkka kuvaus tilanteesta, jos poltinmalli tuottaa suurin piirtein oikean määrän energiaa oikeassa ajassa eli paloteho on ”arvattu” riittävän hyvin.

7.2 Palosimuloinnit: Lähtötietojen lista

Jäljempänä luetellaan palokohdetta ja paloa koskevia tietoja, jotka voivat olla tarpeen numeeristen palosimulointien tekemiseksi. Näiden tietojen lisäksi palopai-kalta kannattaa ottaa kattavasti digitaalisia valokuvia sekä nauhoittaa videokuva, jos mahdollista. Kuvaamalla videota ”panoraamatyylisiin” saa kohteessa käymätön katsoja paremman kuvan kohteen geometriasta kuin pelkkiä valokuvia katsomalla. Videolle kannattaa myös puhua, ja etenkin on syytä kertoa se, missä kohtaa ollaan menossa ja mitä kohdetta kamera kuvaa. Lisäksi erilaisia kaaviokuvia ja vastaavia piirustuksia kannattaa tehdä.

Edellisessä luvussa jo mainittiinkin, että valokuvissa ja miksei myös videokuvissa on hyvä olla näkyvissä jokin ”mittatikku” tai muu esine, jonka mitat tiedetään tarkasti. Listassa on esimerkkikohteena ollut asuinkerrostalossa tapahtunut huoneistopalo. Lista toimii hyvänä pohjana myös muillekin rakennuspaloille, tosin porrashuoneen tiedot eivät ehkä ole yhtä korostuneet kuin asuintaloissa, joissa porrashuoneeseen levinyt savu on yleinen ongelma. Muuntyyppisissä rakennuksissa porrashuoneet ovat varsin usein osastoituja eli savu ja palokaasut eivät pääse porrashuoneisiin eivätkä porrashuoneet vaikuta palon hapensaantiin. Lyhyesti sanottuna: kannattaa keskittää tiedonkeruu niihin osiin rakennuksesta, joihin savu ja palokaasut ovat levinneet, ja palon tarvitseman ilman tuloreitteihin.

7.2.1 Rakennus

Rakennuksen geometrian kuvaus

- Pohjakuvat (miel. erillinen liite)
- Pystyleikkaus (miel. erillinen liite)
- Jos kuvia ei ole, tarvitaan
 - o Porrashuoneen geometria, ml. ovet
 - o Porrashuoneen mitat, ml. porraskuilun mitat, vaakakäytävien mitat
 - o Porrashuoneen ovien mitat
 - o Palavan huoneiston geometria, ml. ovet ja ikkunat
 - o Palavan huoneiston mitat, ainakin karkeasti
- Porrashuoneen savunpoistoratkaisun kuvaus ja mitat
- Valokuvia aukoista (ml. ovet ja ikkunat), voi jälkikäteen mitata, jos kuvassa mukana jokin "mittatikku", josta dimension voi päätellä. Ikkunoita yms. aukkoja kuvatessa on hyvä, jos lattia näkyy (korkeus lattiasta tärkeä tieto)

Rakennuksen ilmanvaihdon kuvaus

- Poistot (missä, virtaama?)
- Korvausilma (mistä tulee)
- Oliko käytössä palon aikana?
- Kytkeettiinkö pois ja milloin?
- Onko vaikuttanut savuvahinkojen syntyyn?
- Painovoimaista ilmanvaihtoa vaikea arvioida ja mallittaa, lähinnä valistunut arvaus tyyliin "montako ilmanvaihtoa tunnissa"
- Palon alkaessa auki olleet aukot (ikkunat, ovet yms.)
- Palon aikana avautuneet aukot (ml. rikkoutuneet ikkunat)
- Sammutustoiminnasta johtuneet muutokset ilmanvaihtoon (avatut/suljetut ikkunat ja ovet, savuluukut, savupuhaltimet yms.)

7.2.2 Palava huoneisto

Huoneiston kuvaus

- Geometria (jos ei jo aiemmin)
- Sisustus
- Palaneet materiaalit, näytteitä?
- Ikkunat
 - o Auki/kiinni

- Hajonneet
- Vahinkojen kuvaus
- Lattia-, seinä- ja kattopintojen materiaalit, edes tyyliin: betoni/kipsilevy/hirsiseinä/tms.
- Mahdolliset sisäpintojen verhousemateriaalit, edes tyyliin: maalattu/tapetoitu/puupaneloitu/kaakeloitu/tms. Nämä etenkin niistä huoneista, joissa tuli palanut, vaikka verhousemateriaalit eivät olisi itse palaneetkaan. Verhousemateriaaleilla voi olla suuri vaikutus palosta vapautuvan energian siirtymiseen seiniin. Muissa huoneissa kaasujen lämpötilat alhaisempia, joten energiahäviö seiniin ei ole niin merkittävässä roolissa.

7.2.3 Tulipalon kulku

Viralliset tiedot

- Hälytys
- Saapuminen
- Jne.

Syttyminen

- Mistä, miten, jne.
- Asunnon omistajan kuvaus
- Tutkijoiden havainnot

Palon kehittyminen

- Kuinka suuri alue paloi, kun henkilö(t) poistuivat palavasta asunnosta?
- Sammuttajien havainnot
 - Ulkopuolella
 - Sammutushyökkäyksen alussa
- Mitkä materiaalit/huonekalut osallistuivat paloon?
 - Pinta-ala
 - Palanut osuus massasta/paksuudesta
- Muiden ihmisten havainnot

Savun leviäminen

- Syttyneen huoneiston henkilöiden mielikuva savusta
- Muiden ihmisten havainnot porraskäytävässä
- Havainnot muissa huoneistoissa
 - Milloin havaitsivat savun?

7. Simuloinnin käyttö palontutkinnassa: Lähtötiedot ja raportointi

- Voidaanko havainto ajoittaa? Oliko pelastuslaitos jo paikalla?
- Miten savun tunkeutuminen huoneistoon kehittyi?
- Savuvahingot muissa huoneistoissa
- Henkilövahingot
 - Missä?
 - Milloin?
- Sammuttajien havainnot, tilanne eri tasanteilla
- Savutuuletuksen toteutus ja onnistuminen
 - Miten?
 - Missä vaiheessa?
 - Kuinka kauan kesti?
 - Savupuhallin? Koska asetettiin paikoilleen ja koska laitettiin päälle?
- Porrashuoneen ovi? Oliko auki palokunnan paikalle tullessa?

Pelastuslaitoksen toiminta

- Yksiköiden ajoitukset
- Sammutushyökkäyksen kuvaus
- Mitä avattiin/suljettiin

7.2.4 Evakuointi

Laajuus ja evakuoitavien ominaisuudet

- Moniko poistui ennen palokunnan tuloa itsenäisesti?
- Palokunnan paikalla ollessa itsenäisesti poistuneet, lukumäärä, mistä kerroksista ja rapuista?
- Palokunnan käskystä poistuneet (evakuoidut)
- Paljonko oli evakuoinnissa avustettavia eli evakuoitujen luokitus tyyliin: käveli itse/palokunta saattoi/palokunta kantoi.
- Savuisen porrashuoneen kautta evakuoidut, oliko heitä?
- Ihmisten pelastus: palohuoneisto, porrashuone? Löydettiinkö henkilöitä näistä tiloista?

Ajoitus

- Milloin alkoi?
- Kuinka kauan kesti?
 - Per asunto
 - Yhteensä

Resurssit

- Evakuointiin osallistuneiden pelastajien määrä
- Paljonko vei resursseja pelastustoiminnalta? Lähinnä ajatellen palon sammutuksen, savun hallinnan yms. rakennuksen sisällä tapahtuvan operatiivisen toiminnan näkökulmasta. Eli olisiko palohuoneiston sammutus onnistunut tehokkaammin ”tyhjässä talossa”? Tiedustelu suoritettava joka tapauksessa, mutta ”turhaan evakuointiin/poistumiseen” kuluneet resurssit (esim. ihmisiä yritti poistua savuisen porrashuoneen kautta, vaikka kerrostaloissa pitäisi pysyä omissa asunnossaan, ellei palokunta toisin kehota).
- Apuvälineet

7.2.5 Tulipalon aikajana

Palontutkijan käsitys tapahtumien ajoituksesta

- Minkä kellon mukaan? Virallinen aika?
- Epävarmuudet esiin (varhaisin/myöhäisin mahdollinen hetki)
- Taulukossa 3 on esitetty esimerkki aikajanasta.

Taulukko 3. Esimerkki aikajanasta kerrostalon huoneistopalossa.

	23:50	00:00	00:10	00:20	00:30	00:40	00:50
Syttyminen							
Häke		Puhelu1 00:09- Puhelu2?					
Pelastuslait.			T11 00:?? tontilla 00:?? porraskäyt. 00:?? sammutus	jne.			
Hsto X							
Hsto Y							

Edellä esitetty lista simuloinnin lähtötiedoista ei ole täydellinen, eli siitä voi puuttua simuloinnin luonteesta ja tarkoituksesta riippuen oleellistakin tietoa, mutta näillä tiedoilla päästään kyllä alkuun simulointien suorittamisessa. Lisäksi lista on ehkä liiankin kattava, eli kysytään monia asioita, joita ei välttämättä tulla käyttämään hyväksi simulointeja suoritettaessa. Mutta näitä ylimääräisiä tietoja tarvitaan kuitenkin itse palotapahtuman ja sen pelastustyön kuvauksessa, joka on hyvä kertoa myös simulointiraportissa. Lisäksi listassa kysellään samoja asioita useassa eri kohdassa, eli asioita ei tarvitse kirjoittaa uudestaan, jos on jo vastannut kysymyksen aiemmin. Asioita kysellään monessa kohtaa, koska jotkin asiat liittyvät moneen eri alakohtaan. Esimerkiksi porrashuoneen alaovi: rakennuksen geometria, savutuuletus, poistuminen/evakuointi. Kun on puhe tästä ovesta rakennuksen geometrian yhteydessä, voi jo mainita, koska ovi avattiin, jos se muistuu jo tässä yhteydessä mieleen. Pienellä kysymysten toistolla asiat saadaan ehkä paremmin muistumaan mieleen.

Lista ei ole tällaisenaan valmis suoraan palontutkijan käyttöön, vaan kunkin palontutkijan kannattaa tehdä itselleen listasta jonkinlainen lomake, jota voi sitten palopaikalla helposti täyttää. Lomakkeen yksi sivu kannattaa varata ajoille, eli siihen kerätään ylös kaikki ajanhetket, jolloin jotakin tapahtui. Näistä voi myöhemmin koostaa tulipalon aikajanan.

Liitteessä 1 on esitetty esimerkki, miltä tällainen lomake voisi näyttää. Lomakkeen lähtökohtana on tässä työssä tarkasteltu varsin tyypillinen rakennuspalo asuinkerrostalossa. Lomaketta voidaan soveltaa sellaisenaan myös esimerkiksi pientaloon (omakotitalo), tällöin ei vain täytetä kerrostaloon kuuluvia erityispiirteitä, kuten portaikkoon liittyviä tietoja. Teollisuusrakennukset vaatisivat ihan omantyyppisensä lomakkeet, eikä niitä ruveta esittämään tässä, sillä teollisuuskohteet eroavat toisistaan hyvinkin paljon.

8. Johtopäätökset

Nykyisillä kehittyneillä simulointimenetelmillä (ns. kenttämallit) voidaan varsin hyvin mallintaa savun leviämistä rakennuksissa. Tässä työssä tutkittiin huoneistopalon aiheuttamaa porrashuoneen savulla täyttymistä ja painovoimaista savunpoistoa porrashuoneesta käyttämällä Fire Dynamics Simulator -kenttämalliohjelmaa. Lisäksi tilannetta tarkasteltiin käyttämällä osin kokeelliseen aineistoon perustuvia käsinlaskentamenetelmiä niiden mahdollisuuksien mukaan. Seuraavassa on listattu näistä analyyseistä saadut tärkeimmät huomiot.

- Kerrostalon porrashuoneessa suurin vaikuttava tekijä savunpoiston kannalta on savunpoistoluukun koko.
- Savun leviämisen kannalta palohuoneen oviaukon koko (asunnon sisällä) vaikuttaa vähäisessä määrin savun tunkeutumiseen porrashuoneeseen.
- Muiden tutkittujen parametrien ja tekijöiden, kuten porrashuoneen ja asunnon välisen ilmanvaihdosta aiheutuvan paine-eron, nähtiin olevan lähes merkityksettömiä. Sen sijaan muiden kuin palavan asunnon olosuhteiden kannalta huomioitavaa on rakenteiden tiiveys.
- Savu leviää myös alempiin kerroksiin portaikossa, kun savunpoistoluukku ei ole auki tai muuta vastaavaa aukkoa palavan kerroksen tasalla tai yläpuolella ei ole.
- Savu pystytään poistamaan varsin tehokkaasti jo painovoimaisesti tilanteessa, jossa palo sijaitsee ylimmässä/ylimmissä kerroksissa.
- Alimmassa kerroksessa palaessaan tulipalo ei välttämättä näy heti ylimpiin kerroksiin, jolloin tämä muodostaa suuren riskin mahdollisesti ylimmistä kerroksista poistuvien henkilöiden kannalta.
- Jos palavan asunnon oven alaosa sahataan kokonaan pois, savua tunkeutuu vähemmän portaikkoon ja savunpoisto toimii huomattavasti tehokkaammin tämänkaltaisessa tilanteessa verrattuna tilanteeseen, jossa koko ovi aukaistaan.
- Savutuuletinta ei tutkittu, tai tulokset olivat käytännössä samansuuntaiset nelikerroksisen rakennuksen tapauksessa. Simuloimalla pitäisi pystyä suuntaamaan puhallinta paremmin yläviistoon. Samoin tulisi tarkastella eri ilmamäärillä tilannetta.

8. Johtopäätökset

- Geometria (hapon saanti) sanelee varsin paljon simulointituloksia, samoin lähtöparametrit eli parametrit, jotka vaikuttavat palotehoon ja savuntuottoon.
- Portaikon alaoven aukeamisajankohdalla ei myöskään nähty olevan suurta vaikutusta tuloksiin.

Kirjallisuusviitteet

1. Floyd, J., Forney, G., Hostikka, S., Korhonen, T., McDermott, R. & McGrattan, K. Fire Dynamics Simulator – User’s Guide. NIST Special Publication 1019. National Institute of Standards and Technology, December 13, 2012. FDS Version 6.0, SVN Repository Revision 14173.
2. Gross, D. & Haberman, W. Analysis and Prediction of Air Leakage through Door Assemblies. Fire Safety Science – Proceedings of the Second International Symposium, International Association for Fire Safety Science. Pp. 169–178, 1989. ISBN 0-89116-864-8.
2. Blomqvist, P., Rosell, L. & Simonson, M. Emissions from Fires Part II: Simulated Room Fires. Fire Technology 40, pp. 59–73, 2004.
3. Karlsson, B. & Quintiere, J. Enclosure Fire Dynamics. CRC Press, 2000. ISBN 0-8493-1300-7.
4. Walton, W. & Thomas, P. Estimating Temperatures in Compartment Fires. In SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 3rd Ed., Section 3, Chapter 6, pp. 3-171–3-188. The Society of Fire Protection Engineers, 2002. ISBN 087765-451-4.

Liite: Tiedonkeruulomake palosimuloinnin lähtötiedoiksi

Tässä liitteessä esitetään ensiksi palontutkintaa ajatellen tiedonkeruulomake asuinkerrostalon palolle. Palotapauksena on normaali huoneistopalo, mutta lomake toimii sellaisenaan myös ullakko- ja kellaripaloille, kuten porrashuoneessa syttyneille paloillekin. Tällöin pitää vain osata hahmottaa se, mitä näissä muissa tapauksissa tarkoitetaan palohuoneella/palohuoneistolla. **Lomakkeiden laadinnassa on oletettu, että rakennuksen pohjakuvat ovat saatavissa.** Jos näin ei ole, erilliselle paperille tulee tietenkin luonnostella tarvittavat pohjakuvat ja mahdollisesti myös leikkauskuvat, jos tilan geometria ei selviä helposti katsomalla pohjakuvaluonnoksia ja kohteesta otettuja valokuvia. Mikäli kohteesta on saatavilla pohjakuvien lisäksi (kattavat) leikkauskuvat, eri korkeustietoja voidaan kerätä lomakkeelle vähemmän, koska korkeustietoa saadaan leikkauskuvista. Mutta tällöinkin on hyvä mitata (tai digikuvata ”mittatikulla”) palon kannalta tärkeät aukot (ovet ja ikkunat, joista savua/korvausilmaa ja/tai ihmisiä liikkunut). Optimaalista olisi, jos tietojen kerääjällä olisi mukanaan paperikopiot pohjakuvista, joihin hän voi merkitä mittoja ja muita kommentteja. Myös itse luonnosteltuihin pohja- ja leikkauskuviin voi tietenkin merkitä ylös mittoja.

1: Rakennuksen geometria: Porrashuone

1A: Porrashuoneen geometria: Huonekorkeus, välitasanteiden korkeudet (esim. montako porrasta ja portaan "korkeus")

1B: Porrassyöksyjen (ja portaiden) avoimuus? Onko "reikä alas asti" ja vastaavaa tietoa?

1C: Ovien mitat: Lähinnä jossakin vaiheessa auki olleet ovet tärkeitä, kiinni pysyneillä ei niin suurta väliä.

Oven "nimi"	leveys	korkeus	auki/kiinni	koska avattu

1D: Ikkunoiden mitat: (lähinnä aukaistut/rikkoutuneet)

Ikkunan "nimi"	leveys	korkeus	korkeus lattiasta	koska avattu / rikkoontunut

1F: Porrashuoneen savunpoisto: kuvaus ja mitat ja mahdolliset ajat

2: Rakennuksen geometria: Palon syttymishuone

2A: Palohuoneen geometria ja (pinta)materiaalit (lattia/katto/seinät), "palohuone" = missä varsinaista palamista tapahtunut:

2B: Ovien mitat:

Oven "nimi"	leveys	korkeus	auki/kiinni	koska avattu

2C: Ikkunoiden mitat:

Ikkunan "nimi"	leveys	korkeus	korkeus latti- asta	koska avattu / rikkoontunut

2D: Ensiksi syttynyt kohde ja sen ominaisuudet (ml. materiaali):

2E: Sisustus:

2F: Vahinkojen kuvaus:

3: Rakennuksen geometria: Palohuoneisto

3A: Palohuoneiston geometria: Huonekorkeudet yms. asiat, jotka eivät näy pohjakuvasta.

3B: Ovien mitat:

Oven "nimi"	leveys	korkeus	auki/kiinni	koska avattu

3C: Ikkunoiden mitat: (lähinnä aukaistut/rikkoutuneet)

Ikkunan "nimi"	leveys	korkeus	korkeus lattiasta	koska avattu / rikkoontunut

3D: Huoneiston (normaali) ilmanvaihto: kuvaus ja mitat ja mahdolliset ajat

4: Rakennuksen ilmanvaihdon kuvaus

4A: Kuvaa siinä määrin kuin on tarpeellista/mahdollista huomioiden jo edellä porrashuoneen ja palohuoneiston kohdalla raportoidut asiat: Poistot, korvausilma, Oliko käytössä? Kytkeettiinkö pois? Arvio ovien, ikkunoiden yms. luukkujen tiivyydestä.

5: Ympäristön olosuhteet:

5A: Ulkolämpötila:

5B: Tuulen suunta ja nopeus:

5C: Kosteus (eli sade yms.):

5D: Lumitilanne (haittasiko palokunnan toimintaa yms.):

5E: Pelastustiet (esteettömiä yms.?)

5F: Sivullinen yleisö ("katselijat"): Oliko haittaa/häiriötä yms.

6: Tulipalon kulku

Viralliset tiedot:

6A: Hälytys, saapuminen, rakennuksen tiedot (osoite), yms.

Syttyminen:

6B: Missä ja miten syttyi

6C: Asunnon omistajan/muun paikalla olleen kuvaus tapahtumasta

6D: Tutkijoiden havainnot palon syttymisestä

Palon kehittyminen:

6E: Palon laajuus asukkaiden (tms.) poistuessa palohuoneistosta:

6F: Sammuttajien havainnot, ulkopuolelta:

6G: Sammuttajien havainnot sammutushyökkäykseen ryhdyttäessä:

6H: Mitkä materiaalit/huonekalut/tms. osallistuivat paloon:
(pinta-alat, palanut osuus massasta/paksuudesta, yms.)

6I: Muiden ihmisten havainnot:

Savun leviäminen

6J: Palohuoneiston henkilöiden mielikuva savusta/tulesta:

6K: Muiden (poistuneiden) henkilöiden havainnot, etenkin porrashuoneesta:

6L: Savuvahingot muissa huoneistoissa/tiloissa:

6M: Sammuttajien havainnot savusta, tilanne eri tasanteilla tms.:

6N: Savutuuletuksen toteutus ja onnistuminen:

7: Evakuointi

Laajuus ja evakuoitavien ominaisuudet:

7A: Moniko poistui ennen palokunnan tuloa ja mitä kautta?

7B: Palokunnan paikalla ollessa itsenäisesti poistuneet:
(Milloin ja kuinka monta yms. tietoa myös)

7C: Palokunnan evakuoimat/käskystä poistuneet:
(käveli itse/saatettiin/kannettiin yms. tietoa myös)

7D: Koska evakuoitiin/käskettiin?

7E: Savuisen porrashuoneen kautta evakuoitunut, oliko heitä?

7F: Ihmisen pelastus, palohuoneisto, porrashuone?

7G: Kauanko pelastus/evakuointi kesti? Per asunto, yhteensä?

7H: Resurssit ja apuvälineet: Evakuointiin osallistuneiden pelastajien lkm., paljonko kului resursseja yms.

7I: Muita huomioita:

8: Pelastuslaitoksen toiminta

8A: Yksiköiden ajoitukset:

8B: Tiedustelun kuvaus

8C: Sammutushyökkäyksen kuvaus

8D: Mitä avattiin/suljettiin ja milloin?

Nimeke	Simuloinnin käyttö palontutkinnassa Esimerkkinä asuinkerrostalon porrashuoneen savunleviämistarkastelut
Tekijä(t)	Tuomo Rinne, Simo Hostikka & Timo Korhonen
Tiivistelmä	<p>Tässä julkaisussa raportoidaan sisäasiainministeriön ja Palontutkinta 2014 -työryhmän yhdessä koordinoiman SIMPAT-hankkeen tulokset. Hankkeen tavoitteena oli edistää palosimuloinnin käyttöä pelastuslaitosten toteuttamassa palontutkinnassa. Palon ja poistumisen numeerista simulointia voidaan käyttää tapahtuneen tilanteen rekonstruktion välineenä. Simulointi voi olla vaihtoehto täyden mittakaavan kokeille tai laajentaa tehtyjen kokeiden tulosten tulkintaa. Simulointi voi vastata kysymyksiin ihmisten roolista, syttymistä, vaurioista ja aktiivisista laitteistoista. Se voi myös paljastaa jatkotutkimustarpeet.</p> <p>Pelastuslaitoksissa on kiinnitetty huomiota siihen, että kerrostalojen porrashuoneiden savunpoiston järjestäminen on usein vaikeaa, koska tilaan asennetut savunpoistoluukut eivät toimi tai ne on mitoitettu väärin. Systemaattiset puutteet teknisissä turvallisuusratkaisuissa tarkoittavat, että tilanne ei vastaa säädöksissä ja ohjeissa esitettyjä vaatimuksia. Hankkeessa päädyttiin ohjeistamaan simuloinnin syötetietojen keruuta ja simuloimaan tyypillisen asuinkerrostalon porrashuoneen painovoimaisen savunpoiston toimintaa.</p> <p>Kerrostalon porrashuoneeseen rajautuvassa tilassa tapahtuvaa tulipaloa simuloitiin Fire Dynamics Simulator -ohjelmalla (FDS). Simulointien avulla selvitettiin, miten porrashuoneen savunpoistoratkaisujen mitoitus ja luotettavuus vaikuttavat olosuhteisiin porrashuoneessa. Lisäksi tilannetta analysoitiin käyttämällä käsinlaskentakaavoja sen verran kuin nämä yksinkertaiset palokokeisiin perustuvat mallit antavat myöten. Lisäksi tässä julkaisussa esitetään, mitä näiden eri tarkastelutapojen vaatimia lähtötietoja olisi hyvä kerätä palopaikalla mahdollisesti myöhemmän tehtävää palontutkintaa varten.</p> <p>Simulointityökaluilla voitiin varsin hyvin ja tehokkaasti mallittaa savun leviämistä porrashuoneessa. Porrashuoneen tapauksessa suurin vaikuttava tekijä savunpoiston kannalta on savunpoistoluukun koko, tosin tätä rajoittaa tyypillisesti korvausilmaukkona toimivan alaoven koko. Painovoimainen savunpoisto toimii varsin tehokkaasti, mikäli palo on kerrostalon ylimmissä kerroksissa. Palavan asunnon oven alaosan sahaaminen vähentää porrashuoneeseen tunkeutuvan savun määrää huomattavasti, ja savunpoisto onnistuu tehtävässään huomattavasti paremmin verrattuna tapaukseen, jossa koko ovi avattaisiin.</p>
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-8080-4 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-122X (verkkojulkaisu)
Julkaisu aika	Joulukuu 2013
Kieli	Suomi
Sivumäärä	51 s. + liitt. 12 s.
Projektin nimi	Simuloinnin käyttö palontutkinnassa (SIMPAT)
Toimeksiantajat	Sisäasiainministeriö, Palosuojelurahasto
Avainsanat	Natural smoke ventilation, stairwell, Fire Dynamics Simulator, FDS
Julkaisija	VTT PL 1000, 02044 VTT, puh. 020 722 111

Simuloinnin käyttö palontutkinnassa

ISBN 978-951-38-8080-4 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)
ISSN-L 2242-1211
ISSN 2242-122X (verkkojulkaisu)

