

Paineenhallinta huoneistopaloissa – tutkimushankkeen tuloksia ja suosituksia

Tiivistelmä

Paineenhallinta huoneistopaloissa -tutkimushanke (2015–2016) tuotti uutta kokeellista tietoa palopaineen kehittymisestä tavallisissa kerrostalopaloissa. Kokeellisten tulosten avulla saatiin selville tärkeimmät paineenkehittymiseen liittyvät tekijät ja tehtiin suositus, että asuntojen sisäänpäin aukeavia ovia tulisi välttää poistumisturvallisuuden varmistamiseksi. Lisäksi koetulosten perusteella tunnistettiin riski paineen aiheuttamalle rakenteiden vaurioitumiselle. Koetulosten perusteella validoitiin FDS-simulointimalli. Sen avulla voitiin edelleen tarkastella eri nopeudella kehittyviä paloja ja tutkia rakennuksen vaipan ilmatiiveyden vaikutusta. Tulokset osoittavat, että erityisesti nollaenergia tasoon tähtäävä tiiveys tulee tuottamaan uusia paloriskejä, ellei paineenhallintaan kiinnitetä erityistä huomiota.

JOHDANTO

Paloturvallisuustekniikassa tulipalon aiheuttamien paine-erojen on pitkään ajateltu olevan tärkeitä lähinnä virtausten syntymisen kannalta. Rakenteiden eheyteen ja vaurioitumisriskeihin liittyvät tarkastelut ovat rajoittuneet teollisiin tilanteisiin. Tätä käsitystä on tukenut pitkä kokeellisen palotutkimuksen traditio, jossa palokokeet on yleensä tehty avoimissa tiloissa hapen riittävyyden varmistamiseksi. Käsitys tulipalon vaarallisuudesta on keskittynyt lämmön- ja savuntuottoon, eikä paine-eroihin ole kiinnitetty huomiota.

Merkittävimmit tulipalon painevaikutuksia koskevat tutkimukset on tehty ydinlaitosten turvallisuuteen liittyvissä OECD PRISME -hankkeissa. Ranskassa tehdyissä kokeissa ja niitä seuranneissa simuloinneissa on keskitytty erityisesti paine-erojen ilmanvaihtoverkostossa synnyttämiin virtauksiin sekä paineen ja palodynamiikan väliseen vuorovaikutukseen [1]. Asuinrakennusten paineisiin liittyviä tutkimuksia on julkaistu vain vähän. Forneau et al. [2] vertailivat perinteisen pientalon ja passiivitalon palon ai-

kaisia olosuhteita vyöhykemallisimuloinnein. He havaitsivat, että passiivitalossa ylipaine voi muodostua moninkertaiseksi perinteiseen rakennukseen verrattuna, mutta eivät kiinnittäneet tulokseen sen enempää huomota, koska heidän tarkastelunsa keskittyi lähinnä lämpötiloihin.

Paineenhallinta huoneistopaloissa -hanke syntyi tarpeesta tutkia mikä vaikutus rakennusten tiivistyvillä ulkovaipoilla on palopaineeseen ja miten painetta voitaisiin hallita hyödyntäen esimerkiksi ilmanvaihtoverkostoa. Lisätavoitteena oli todentaa ja kvantifioida jo aiemmin havaittu ilmiö, että ylipaine voi estää kerrostaloasunnon sisäoven avaamisen. Tutkimus jakautui kolmeen vaiheeseen, joiden päätulokset tässä artikkelissa lyhyesti esitetään.

PALOKOKEET KURIKASSA

Palopaineen tutkiminen aloitettiin sarjalla kokeita, jotka suoritettiin 1970-luvulla rakennetussa ja hyväkuntoisessa kerrostalohuoneistossa, kolmikerroksen rakennuksen ensimmäisessä kerroksessa (kuva 1). Pinta-alaltaan 59 m²:n huoneistossa oli kolme rakennuksen katolle johtavaa poistoilmakanavaa, joista keittiön kanava oli kaikissa kokeissa suljettu, ja kahden muun kanavan avoimuutta (kuristusastetta) muutettiin koesarjan aikana. Ensimmäisessä ryhmässä kokeita poistokanavat olivat huoneiston päästä täysin avoimet (ei venttiilejä). Toisessa ryhmässä kokeita normaali huoneiston poistoilmaventtiilit olivat paikoillaan, ja kolmannessa ryhmässä kanavat suljettiin tiiviisti. Ennen palokokeita suoritettua tiiveysmittauksen mukaan huoneiston ilmanvuotoluku q_{50} oli alipaineella 1.7 m³/hm² ja ylipaineella 2.7 m³/hm², mittauksen epävarmuuden ollessa $\pm 4\%$. Huoneiston pohjapiirros on esitetty kuvassa 2. Kokeet on raportoitu yksityiskohtaisesti viitteessä [3].

Useimmissa kokeissa poltettiin 3 litraa heptaania $0,7 \times 0,7$ m²:n altaassa, jolloin palotehoksi muodostui maksimissaan noin 800 kW, ja palot kestivät noin 180 s. Heptaani vastaa palamislämmöl-



Kuva 1. Palokokeet tehtiin kurikkalaisessa kerrostalossa.

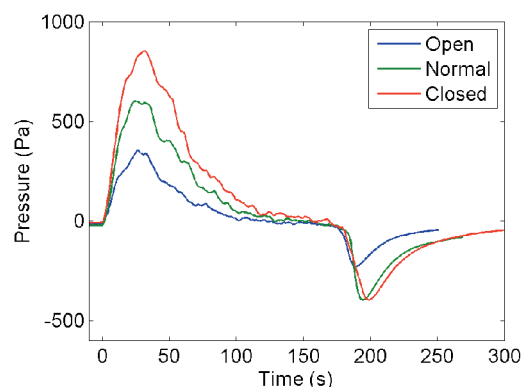
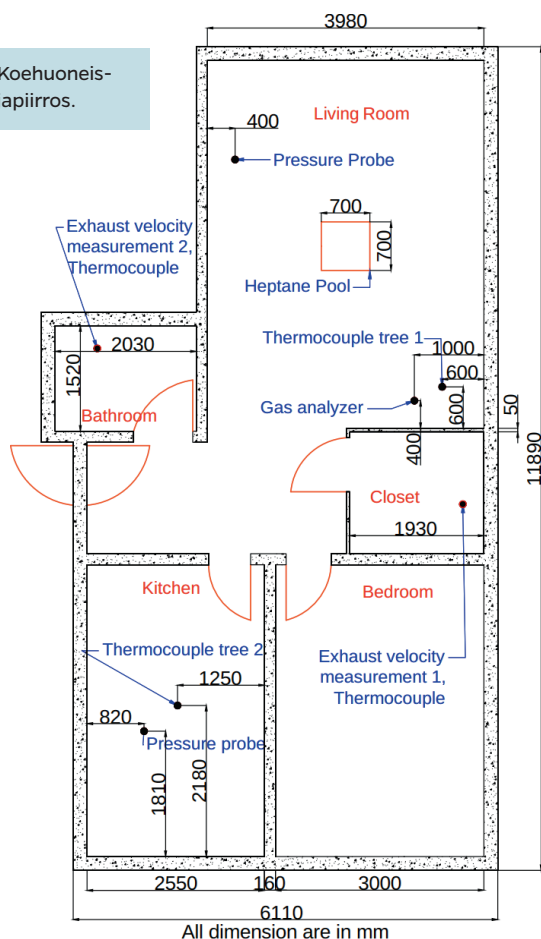
► tään bensiiniä, mutta on kokeilu- ja harjoitustoiminnan kannalta huomattavasti turvallisempi polttoneste, koska se ei höyrysty yhtä voimakkaasti ennen kokeen alkua. Kolmessa viimeisessä kokeessa poltettiin vaahtomuovipatjoja. Vaahtomuovipatjojen palotehot olivat niinikään hieman alle 1 MW ja niiden palaminen kesti noin 250 sekuntia. Viimeisessä kokeessa patja oli sijoitettu vaatehuoneeseen eikä keskelle olohuonetta kuten muissa kokeissa. Palote-

hojen kasvunopeudet vastasivat kaikissa kokeissa erittäin nopeaa mitoituspaloa, jossa 1 MW teho saavutettaisiin alle 75 sekunnissa.

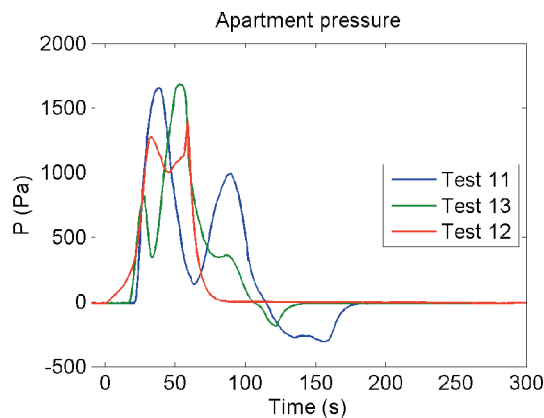
Heptaaniallaskokeiden tuloksina saadut paineet on esitetty kuvassa 3, josta nähdään, että paine nousee lämmönvapautumisen aiheuttaman kaasun laajenemisen seurauksena noin 30 sekunnissa huippuunsa. Paine alkaa tasaantua, kun lämmitys ja lämpöhäviöt asettuvat tasapainoon. Sammumisen jälkeen huoneistoon syntyy alipaine, kun kaasujen laajenemista aiheuttava teho häviää, mutta jäähtyminen jatkuu kylmien pintojen kautta. Ilman kuristimia tehdyssä kokeessa suurin ylipaine oli noin 350 Pa, kuristimien kanssa 600 Pa ja täysin suljettuna 850 Pa.

Vaahtomuovipatjakokeiden painekäyrät on esitetty kuvassa 4. Ylipaineet ovat huomattavasti korkeampia kuin heptaanialla, jopa noin 1650 Pa. Kokeen 11 tuloksessa näkyy miten palo ensin hiipui mutta kiihtyi sitten uudestaan, kun palava patja sulsi ja muodosti kiihkeästi palavan lammikon. Kokeessa 13, joka tehtiin ennen koetta 12, näkyy tilanne, jossa paine alkaa nopeasti nousta huoneisto-oven sulkeuduttua. Tässä vaiheessa huoneiston sisällä ollut paineilmalaittein varustettu henkilö ei saanut huoneiston sisäovea avattua omin voimin. Paine aleni hetkeksi, kun ovi saatiin auki porrashuoneen puolelta avustamalla. Kokeessa 12, joka oli sarjan viimeinen koe, näkyy äkillinen paineen aleneminen noin 60 sekuntia syttymisestä, kun huoneiston kevytrakenteinen ulko-

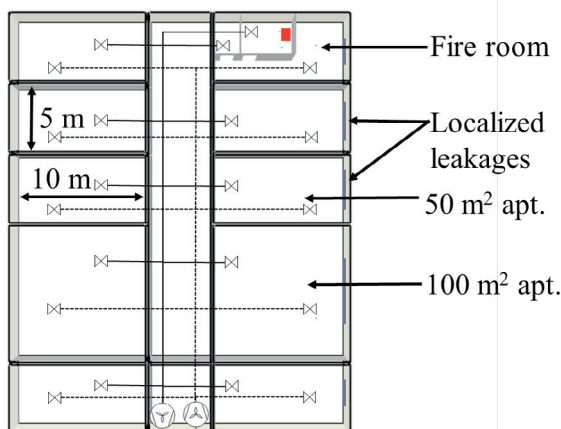
Kuva 2. Koehuoneiston pohjapiirros.



Kuva 3. Huoneiston paine heptaaniallaskokeissa.



Kuva 4. Huoneiston paine vaahtomuovipatjakokeissa.



Kuva 5. Simulointimalli.

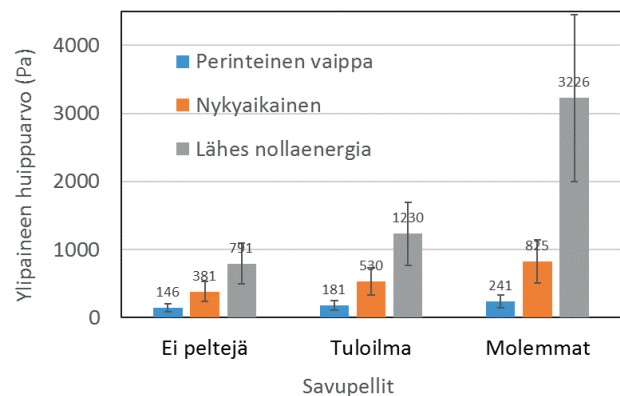
seinä vaurioitui, ja parvekkeen ikkuna lensi karmeineen ulos seinästä. Paine oli tällöin noin 1400 Pa. Vauriot olivat kuitenkin syntyneet jo edellisissä kokeissa.

PALOSIMULOINNIT

Kokeista saadut tulokset yleistettiin numeeristen simulointien avulla. Simuloinnit tehtiin FDS-ohjelman versiolla 6.3.2 [4]. Aluksi simulointiohjelma sekä vuotojen ja ilmanvaihdon mallinnusmenetelmä validoitiin Kurikassa tehtyjen kokeiden [3] sekä aiemmin Ruotsissa tehtyjen laboratoriokokeiden [5,6] avulla. Yksityiskohmainen raportti tehdyistä simuloinneista löytyy viitteestä [7].

Simuloinneissa tarkasteltiin yhtä asuinkerrostalon kerrosta. Malli koostui 50 m²:n palo-huoneistosta sekä joukosta 50:n ja 100 m²:n huoneistoja, jotka oli kytketty toisiinsa koneellisen tulo- ja poistoilmakanavan kautta. Kerroksen pohjapiirros ja ilmanvaihtoverkoston rakenne on esitetty kuvassa 5. Rakennuk-

Nopea t²-palo



Kuva 6. Simuloidut palohuoneiston ylipaineet nopeasti kehittyvässä palossa.

sen vaipalle käytettiin simuloinneissa kolmea erilaista tiiveystasoa, jotka vastaavat perinteistä kerrostalorakentamista ($q_{50} = 3,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), nykyaikaista perusratkaisua ($q_{50} = 1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) ja lähes-nollaenergiarakentamista ($q_{50} = 0,75 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). Ilmanvaihtojärjestelmän ominaisuudet määriteltiin vastaamaan mahdollisimman hyvin nykyaikaisen asuinkerrostalon ilmanvaihtoa. Savunhallinnan eri vaihtoehtojen tutkimiseksi simuloitiin kolmea eri savupeltien konfiguraatiota:

- 1) Sekä tulo- että poistokanaviin on asennettu automaattisesti laukeavat savupellit.
- 2) Vain tuloilmakanavaan on asennettu savupelti. Poistokanava pidetään avoinna ja poistopuhallin joko sammutetaan tai pidetään käynnissä.
- 3) Molemmat kanavat pidetään avoinna ja puhaltimet sammutetaan tai pidetään käynnissä.

Simuloinneissa tutkittiin palohuoneiston ylipainetta ja savun leviämistä naapurihuoneistoihin. Simuloinnit tehtiin kolmella erilaisella palon kasvunopeudella (erittäin nopea, nopea ja keskimääräinen), jotka vastaavat toiminnallisessa paloturvallisuussuunnittelussa käytettyjen mitoituspalojen kasvunopeuksia. Palohuoneiston ylipaineet nopeasti kehittyvän palon tapauksessa on esitetty kuvassa 6. Sekä vaipan tiiveys että savupeltien konfiguraatio vaikuttavat voimakkaasti paineen suuruuteen. Vielä suurempi vaikutus havaittiin palon kasvunopeudella: tiiveimmän rakennustyyppin ja suljetun ilmanvaihdon ylipaine oli keskimääräisellä kasvunopeudella 966 Pa ja erittäin nopealla kasvunopeudella 8125 Pa.

Paineiden suuruutta voidaan tarkastella kahden kynnyksarvon kannalta: Ensimmäinen kynnys liittyy sisäänpäin aukeavan oven avaamiseen. Jos oletetaan, että oven avaaminen on mahdollista vain alle 100 Pa:n paine-erolla, niin poistumisen havaittiin olevan mahdollista vain perinteisessä rakennuksessa, jossa syttyy keskimääräisellä nopeudella kasvava palo. Muissa tilanteissa ylipaine oli 100 Pa suurempi.

”Vaipan tiiveys ja savupellit vaikuttavat voimakkaasti paineeseen.”

”Tiiviin ulkovaipan aiheuttamat paloriskit pitäisi ottaa huomioon säädöksissä ja ohjeissa.”

- Toisena kriittisenä rajana voidaan pitää rakenteiden eheyden vaarantavaa 1500 Pa:n painetta. Keskimääräisellä nopeudella kehittyvät palot eivät saavuttaneet tätä rajaa lainkaan, mutta nopeasti kehittyvissä paloissa 1500 Pa:n havaittiin ylittyvän lähes-nollaenergiatason rakennuksissa, kun molemmat ilmanvaihtokanavat olivat suljettuna. Erittäin nopeasti kehittyvissä paloissa 1500 Pa ylittyi sekä moderneissa että lähes-nollaenergiarakennuksissa savupeltien käytöstä tai puuttumisesta riippumatta.

Savun leviämistä tutkittiin tarkastelemalla savun konsentraatiota naapurihuoneistoissa. Jos kummassakaan kanavassa ei ollut savupeltiä, havaittiin savun leviävän naapureihin puhaltimien toiminnasta riippumatta. Pääasiallinen leviämisreitti oli tuloilma-kanaviston kautta. Jos tuloilmapuoli suljettiin ja poistilmapuhallin pidettiin toiminnassa, savua ei levinnyt naapureihin lainkaan. Tämä oli sekä paineen- että savunhallinnan kokonaisuuden kannalta paras ratkaisu.

SUOSITUKSET

Yhteenveto hankkeen tuloksista on luettavissa sen loppuraportista [8]. Tärkeimmät suositukset ovat:

1) Paineen kohoaminen ja sen seuraukset tulisi jatkossa ottaa huomioon rakennusten suunnittelussa. Erityisesti rakennusten entistä tiiviimpien ulkovaippojen aiheuttamat riskit pitäisi ottaa huomioon säädöksissä ja ohjeissa.

2) Poistuminen palavasta asunnosta pitäisi turvata välttämällä sisäänpäin aukeavia ovia.

3) Erilaisia teknisiä ratkaisuja paineenhallintaan tulisi selvittää ja niiden hyväksyttävyys rakennushankkeissa varmistaa. Esimerkkinä mainittakoon hankkeessa tutkittu mahdollisuus paineenalentamiseen ilmanvaihdon poistokanavien kautta, kun tulopuolen kanavat suljettiin pellein tai rajoittimin.

KIITOKSET

Tutkimushankkeen toteuttamiseen osallistuivat Aalto-yliopistosta Rahul Kallada Janardhan ja Umar Riaz, VTT:ltä Topi Sikanen ja Timo Korhonen, Stravent Oy:stä Peter Biström ja Tomas Fagergren (Brandskyddslaget), Varsinais-Suomen pelastuslaitokselta Pasi Paloluoma ja Knut Lehtinen, sekä Palotekninen insinööritoimisto Markku Kauriala Oy:stä Jukka Hietaniemi ja Gleb Bytskov. Kokeiden mittausosuudesta vastasivat Jere Heikkinen ja Ville Heikura VTT Expert Services Oy:stä ja turvaamisesta Etelä-Pohjanmaan pelastuslaitos. Tiiveyskokeet teki Vertia Oy. Tutkimushankkeen rahoittivat Palosuojaohjelurahasto, Hagab AB, Rikosseuraamusvirasto ja ympäristöministeriö. Osa simulointiosuuden rahoituksesta tuli Suoman Akatemialta (hankenro. 289037). ■

Lähdeluettelo

1. Prétrel, H. le Saux, W. Audouin, L. Pressure variations induced by a pool fire in a well-confined and force-ventilated compartment, Fire Safety Journal 52 (2012) 11–24.

2. Forneau, C. Delvosalle, C. Breulet, H. Desmet, S. Brohez, S. Comparison of fire hazards in passive and conventional houses, Chemical Engineering Transactions 26 (2012) 375–380. <http://dx.doi.org/10.3303/CET1226063>
3. Janardhan, R.K., Hostikka, S. Experiments and numerical simulations of pressure effects in apartment fires, Fire Technology 53 (2017) 1353–1377. <http://dx.doi.org/10.1007/s10694-016-0641-z>.
4. McGrattan, K.B., McDermott, R., Floyd, J., Hostikka, S., Forney, G., Baum, H. Computational fluid dynamics modelling of fire, Int. J. Comput. Fluid Dyn. 26 (6-8) (2012) 349–361.
5. Hägglund, B., Nireus, K., Werling, P. Pressure rise due to fire growth in a closed room. Description of three full-scale tests, FOA Defence Research Establishment, FOA-R-96-00347-2.4-SE, 1996, p. 27.
6. Hägglund, B., Nireus, K., Werling, P. Pressure rise due to fire growth in a closed room. An experimental study of the smoke spread via ventilation ducts, FOA Defence Research Establishment, FOA-R-98-00870-311-SE, 1998, p. 97.
7. Hostikka, S. Janardhan, R.K., Riaz, U. Sikanen, T. Fire-induced pressure and smoke spreading in mechanically ventilated buildings with air-tight envelopes. Fire Safety Journal (2017). <http://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.04.006>.
8. Hostikka, S., Janardhan, R.K. Pressure management in compartment fires. Aalto University publication series SCIENCE + TECHNOLOGY, 1/2017. 46 s. + liit. 95 <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-7239-5>



Simo Hostikka on paloturvallisuustekniikan professori Aalto-yliopistossa.