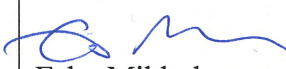




Puukerrostalojen paloturvallisuus - Vaatimusten perusteluja, ehtoja ja soveltamisohjeita

Kirjoittajat: Esko Mikkola, Topi Sikanen ja Teemu Karhula

Luottamuksellisuus: Julkinen

| | | |
|---|--|--|
| Raportin nimi Puukerrostalojen paloturvallisuus – Vaatimusten perusteluja, ehtoja ja soveltamisohjeita | | |
| Asiakkaan nimi, yhteystiedot ja yhteystiedot Finnish Wood Research Oy, Kimmo Järvinen, Snellmaninkatu 13, 00170 Helsinki | Asiakkaan viite Sähköposti/22.11.2010/ Kimmo Järvinen | |
| Projektin nimi Puukerrostalojen paloturvallisuus – osa 2 | Projektin numero/lyhytnimi 73823 / Puukerrostalot 2 | |
| Raportin laatija(t) Esko Mikkola, Topi Sikanen ja Teemu Karhula | Sivujen/liitesivujen lukumäärä 31/- | |
| Avainsanat Palovaatimukset, kantavat puurakenteet, suojaverhous, palo- osastoivat rakenneosat, sprinklaus, julkisivut, savuntuotto, sortuman todennäköisyys | Raportin numero VTT-R-10312-10 | |
| Tiivistelmä <p>Tässä tutkimusraportissa esitetään puurakenteiden rakenteellisen suojauksen (suojuverhous ja osastoivat rakennusosat) soveltamisen mahdollisuuksia ja ehtoja, julkisivuja koskevia vaatimusehdotuksia (savuntuoton vaatimukset ja puun käytön ehdot) sekä kantavien rakenteiden sortumattomuuden todennäköisyyksiä ja hyväksymisrajoja.</p> <p>Suojuverhouksen ja osastoivien rakenteiden soveltamisesta kantavien puurakenteiden suojaamiseen sprinklatuissa ja ei-sprinklatuissa asuin- ja työpaikkakerrostaloissa esitetään minimivaatimustasot sisäpuolisen ja ulkopuolisen palon tapauksessa sekä portaille erikseen.</p> <p>Pintakerrosluokan D-s2, d0 rakennustarvikkeiden käyttö ulkoseinissä verhoiluna ehdotetaan laajennettavaksi 4 kerrokseen asti sprinklaamattomissa ja 8 kerrokseen asti sprinklatuissa paloluokkien P1 ja P2 asuin- ja työpaikkarakennuksissa. Sallittuja voivat olla myös sprinklaamattomat 5-kerroksiset rakennukset siten, että ensimmäisessä kerroksessa käytetään ulkoseinissä vähintään luokan B-s2, d0 rakennustarvikkeita ja kerroksissa 2–5 luokan D-s2, d0 rakennustarvikkeita. Ulkoseinien ulkopintojen ja tuuletusraon ulkopintojen savuntuoton luokkavaatimukseksi ehdotetaan pääsääntöisesti s2 enintään 8 -kerroksisissa rakennuksissa.</p> <p>Sortuman todennäköisyyksien hyväksymisrajoiksi asuin- ja työpaikkarakennuksille (3 - 8 kerrosta) esitetään seuraavia arvoja: Paikallisen sortuman todennäköisyys syttymää kohti korkeintaan 10^{-3} ja jatkuvan sortuman todennäköisyys syttymää kohti 10^{-6} - 10^{-7} siten, että rakennuksen kerrosluvun kasvaessa neljästä kerroksesta kahdeksaan kerrokseen hyväksymisraja pienenee.</p> | | |
| Luottamuksellisuus | Julkinen | |
| Espoo 3.1.2011 Laatija  Esko Mikkola Johtava tutkija | Tarkastaja  Tuula Hakkarainen Erikoistutkija | Hyväksyjä  Eila Lehmus Teknologiapäällikkö |
| VTT:n yhteystiedot Johtava tutkija Esko Mikkola, PL 1000, 02044 VTT, esko.mikkola@vtt.fi | | |
| Jakelu (asiakkaat ja VTT) Finnish Wood Research Oy Tukiryhmän jäsenet VTT, Arkisto | | |
| <p style="text-align: center;"><i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i></p> | | |

Alkusanat

VTT:n toteuttamassa projektissa on määritetty puurakenteiden rakenteellisen suojauksen (suojaverhous ja osastoivat rakenneosat) soveltamisen mahdollisuuksia ja ehtoja, julkisivuja koskevia vaatimuksia (savuntuoton vaatimukset ja puun käytön ehdot) sekä kantavien rakenteiden sortumattomuuden todennäköisyyksiä ja hyväksymisrajoja.

Projektin tukiryhmään ovat kuuluneet Mikko Viljakainen ja Pekka Nurro (Metsäteollisuus ry), Jorma Jantunen (ympäristöministeriö), Jouni Hakkarainen (Rakennusteollisuus RT ry/Metsäliitto) ja Antti Koponen (Rakennusteollisuus RT ry), joita kiitämme samoin kuin Finnish Wood Research Oy:tä projektin rahoituksesta.

Espoo, tammikuussa 2011

Tekijät

Sisällysluettelo

| | |
|---|-----------|
| Alkusanat..... | <u>2</u> |
| 1 Johdanto..... | <u>4</u> |
| 2 Suojaverhouksen ja osastoinnin vaatimusten soveltaminen..... | <u>4</u> |
| 2.1 Yleinen soveltaminen sprinklatussa tapauksessa | <u>4</u> |
| 2.2 Välipohjan yläpuolinen palo | <u>6</u> |
| 2.2.1 Huonetila ei-sprinklattu | <u>6</u> |
| 2.2.2 Huonetila sprinklattu | <u>7</u> |
| 2.3 Ulkopuolinen palo | <u>8</u> |
| 2.3.1 Suojauksen tarve ulkopuolista paloa vastaan | <u>8</u> |
| 2.3.2 Mitä suojaukseen lasketaan..... | <u>10</u> |
| 2.4 Sisäpuolinen palo..... | <u>11</u> |
| 2.4.1 Laskentamenetelmä ja oletukset..... | <u>11</u> |
| 2.4.2 Puuverhoilun vaikutus suojaverhouksen päällä - sprinklattu tapaus .. | <u>12</u> |
| 2.4.3 Puuverhoilu osana suojaverhousta - ei sprinklausta..... | <u>14</u> |
| 2.5 Portaiden suojaus | <u>14</u> |
| 3 Julkisivut..... | <u>15</u> |
| 3.1 Pintakerrosluokituksen savuvaatimus julkisivuissa | <u>16</u> |
| 3.1.1 Julkisivujen savuntuottoluokkavaatimukset muualla Euroopassa | <u>16</u> |
| 3.1.2 Ehdotus pintakerrosluokituksen savuvaatimuksesta julkisivuissa | <u>17</u> |
| 3.2 Puun käyttö julkisivussa..... | <u>17</u> |
| 3.2.1 Ehdotus puun käytön laajentamiseksi julkisivuissa | <u>19</u> |
| 4 Kantavien puurakenteiden sortumattomuuden todennäköisyys..... | <u>19</u> |
| 4.1 Oletukset ja lähestymistapa | <u>19</u> |
| 4.2 Sortumattomuuden periaatteista | <u>20</u> |
| 4.3 Yksinkertaistettu sortumattomuuden arviointi..... | <u>20</u> |
| 4.3.1 Sortuman toistumisvälin laskenta..... | <u>23</u> |
| 4.3.2 F-N käyrien käyttö..... | <u>23</u> |
| 4.3.3 Sortumisen todennäköisyys - turvallisuus eri aikajaksoina..... | <u>26</u> |
| 4.3.4 Vertailu kansainvälisiin riskitasoihin ja ehdotus raja-arvoiksi | <u>26</u> |
| 5 Yhteenveto | <u>27</u> |
| Lähdeviitteet | <u>30</u> |

1 Johdanto

Vuoden 2009 lopulla ympäristöministeriö asetti puurakentamisen asemaa rakentamismääräyksissä selvittävän työryhmän, jonka tehtävänä oli käydä läpi Suomen rakentamismääräykset ja todeta ne asiat, jotka mahdollisesti aiheuttavat aiheetonta haittaa ja siten ylimääräisiä kustannuksia puurakentamisen kannalta.

Työryhmän työn taustaksi todettiin tarpeelliseksi hankkia tutkimustietoa siitä, millä ehdoilla Suomen rakentamismääräyskokoelman osan E1 paloluokan P2 taulukkomitoitusohjeet voitaisiin laajentaa koskemaan 5–8-kerroksisia puurakenteisia asuin- ja työpaikkarakennuksia. Tuloksena valmistui syyskuussa 2010 VTT:n tutkimusraportti *'Yksinkertaistetut vaatimukset P2-paloluokan asuin- ja työpaikkakerrostalon palo-osaston kantavien rakenteiden suojaukselle ja toiminnallisen palomitoituksen ohjeiden selkeytys'* [1].

Tämä tutkimusraportti täydentää edellä mainittua tutkimusta seuraavilla aihealueilla: puurakenteiden rakenteellisen suojauksen (suojaverhous ja osastoivat rakenneosat) soveltamisen mahdollisuudet ja ehdot, julkisivuja koskevat vaatimukset (savuntuoton vaatimukset ja puun käytön ehdot) sekä kantavien rakenteiden sortumattomuuden todennäköisyydet ja hyväksymisrajat.

2 Suojaverhouksen ja osastoinnin vaatimusten soveltaminen

VTT:n tutkimusraportissa [1] ekvivalentin palonkestoajan menetelmää sovellettiin vertailuperiaatteella erityisesti rakenteita suojaavan kerroksen (suojaverhouksen) kriittisen palorasitusten olosuhteiden todennäköisyyksien määrittämiseen. Hiiltymismekanismiin sisältävään mitoituskäyttöön puurakenteille tätä menetelmää ei esitetty, koska se saattaa selvästi aliarvioida puurakenteiden palonkestoajoja ainakin tapauksissa, joissa on vain yksi levykerros suojana ja puurakenteen hiiltymisen on osa rakenteen vaurioitumismekanismia. Siksi varmallalla puolella olevana suojauksena esitettiin K60 suojaverhousta (testaus standardipalon mukaisesti), joka estää suojauksen takana olevan puun syttymisen ja hiiltymisen 60 minuutin ajan. Näin suojattu puurakenne ei voi sortua lyhyemmässä ajassa kuin esim. suojaamaton tai levykerroksella suojattu palamaton kantava rakenne, joka juuri täyttää R60 vaatimuksen.

Kantavien rakenteiden suojaaminen syttymiseltä ja hiiltymiseltä voidaan toteuttaa joko rakenteellisin keinoin (suojaverhouksella tai osastoivan rakennusosan käytöllä) tai automaattisen sammutuksen ja rakenteellisten keinojen yhdistelmällä.

Seuraavassa käsitellään näiden suojausmenetelmien soveltamista eri tapauksissa sisältäen sekä sisäpuolisen että ulkopuolisen palon.

2.1 Yleinen soveltaminen sprinklatussa tapauksessa

Tarkastellaan VTT:n tutkimusraportissa *'Yksinkertaistetut vaatimukset P2-paloluokan asuin- ja työpaikkakerrostalon palo-osaston kantavien rakenteiden*

suojaukselle ja toiminnallisen palomitoituksen ohjeiden selkeytys' [1] esitettyjä ekvivalentin palonkestoajan ylitysten todennäköisyyksiä. Taulukossa 1 on esitetty korostaen ekvivalentin palonkestoajan ylitysten todennäköisyydet vertailutasolle ('a0K') ja sprinklatulle tapaukselle 10 ja 30 minuutin suojaverhouksella ('c10K' ja 'c30K') yhden huoneen tapauksessa (vastaa pientä palo-osastoa). Tuloksista nähdään, että vertailutaso asettuu 10 ja 30 minuutin suojaverhotun tapauksen väliin tässä aukkotekijän kannalta kriittisimmässä tilanteessa (ikkunoita 10 % lattia-alasta). Huoneistojen ja avokonttoreiden kohdalla 10 minuutin suojaverhaus on vertailutasoa turvallisempi ratkaisu. Toisaalta 'c10K' on yhtä turvallinen myös yhden huoneen tapauksessa kuin neljään kerrokseen asti sallittu nykyinen suojaustapa 'd10K'.

E1:n mukaan P1-paloluokan rakennusten kantavien rakenteiden palonkestävyyden (sortumattomuuden) vaatimuksissa ei ole eroja kerrosvälillä 3 - 8 kerrosta.

Taulukko 1. Ekvivalentin palonkestoajan ylitykseen johtavan kriittisen palorasituksen todennäköisyydet kun vaikuttavina tekijöinä rakenteet (suojausineen) ja sprinklaus [1].

| Koodi | Kerrosia | Runko/pinnat ¹ | Sprinklaus | Suoja-verhaus | Ekvivalentin palonkestoajan ylityksen todennäköisyys | | | | |
|-------|----------|---------------------------|------------|---------------|--|-----------|------------------------------|-----------|-------------|
| | | | | | Nimellisjakauma | | Ikkunoita 10 % lattia-alasta | | |
| | | | | | huone | huoneisto | huone | huoneisto | avokonttori |
| a0K | ≤ 8 | A2 ² /Kip | Ei | | 0,027 | 0,096 | 0,073 | 0,143 | 0,197 |
| a0B | ≤ 8 | A2 ² /Bet | Ei | | 0,006 | 0,034 | 0,032 | 0,073 | 0,102 |
| b10K | 5-8 | Puu/Kip | Ei | 10 min | 0,861 | 0,950 | 0,941 | 0,980 | 0,980 |
| b30K | 5-8 | Puu/Kip | Ei | 30 min | 0,256 | 0,479 | 0,432 | 0,520 | 0,647 |
| b60K | 5-8 | Puu/Kip | Ei | 60 min | 0,027 | 0,096 | 0,073 | 0,143 | 0,197 |
| e0K | 5-8 | Puu/Kip | Kyllä | 0 | 0,109 | 0,109 | 0,109 | 0,109 | 0,109 |
| c10K | 5-8 | Puu/Kip | Kyllä | 10 min | 0,095 | 0,104 | 0,103 | 0,107 | 0,107 |
| c30K | 5-8 | Puu/Kip | Kyllä | 30 min | 0,035 | 0,057 | 0,052 | 0,061 | 0,074 |
| c60K | 5-8 | Puu/Kip | Kyllä | 60 min | 0,012 | 0,019 | 0,016 | 0,023 | 0,029 |
| d10K | 3-4 | Puu/Kip | Kyllä | 10 min | 0,095 | 0,104 | 0,103 | 0,107 | 0,107 |
| e10K | 3-4 | Puu/Kip | Ei | 10 min | 0,861 | 0,950 | 0,941 | 0,980 | 0,980 |
| e30K | 3-4 | Puu/Kip | Ei | 30 min | 0,256 | 0,479 | 0,432 | 0,520 | 0,647 |
| e60K | 3-4 | Puu/Kip | Ei | 60 min | 0,027 | 0,096 | 0,073 | 0,143 | 0,197 |

¹ Tilan vaipan materiaali; Kip = kipsilevy tai vastaava kevyt materiaali, Bet = betoni

² Vähintään A2-s1, d0 -luokan tarvikkeista tehty

Puurakenteiden suojaamiseen voidaan suojaverhouksen lisäksi käyttää myös osastoivia rakennusosia. Osastoivan rakennusosan EI 15 -vaatimus tarkoittaa sitä, että tällaisen rakennusosan suojaava vaikutus syttymistä ja hiiltymistä vastaan on pitkäkestoisempi kuin K₂10 -suojaiverhouksen.

Edellä olevan tarkastelun pohjalta ehdotetaan, että sprinklattujen 5–8-kerroksisten asuin- ja työpaikkarakennusten kantavien puurakenteiden suojausena voidaan käyttää joko K₂30 -suojaiverhousta tai EI 15 -osastointivaatimukset täyttävää suojausta, joka on tehty vähintään A2-s1, d0 -luokan tarvikkeista.

Tämä ehdotus tarkoittaa sitä, että 5–8-kerroksisen P2-luokan rakennuksen paikallisen sortuman olosuhteiden todennäköisyys olisi lievästi pienempi kuin vastaavan korkeintaan 4-kerroksisen rakennuksen.

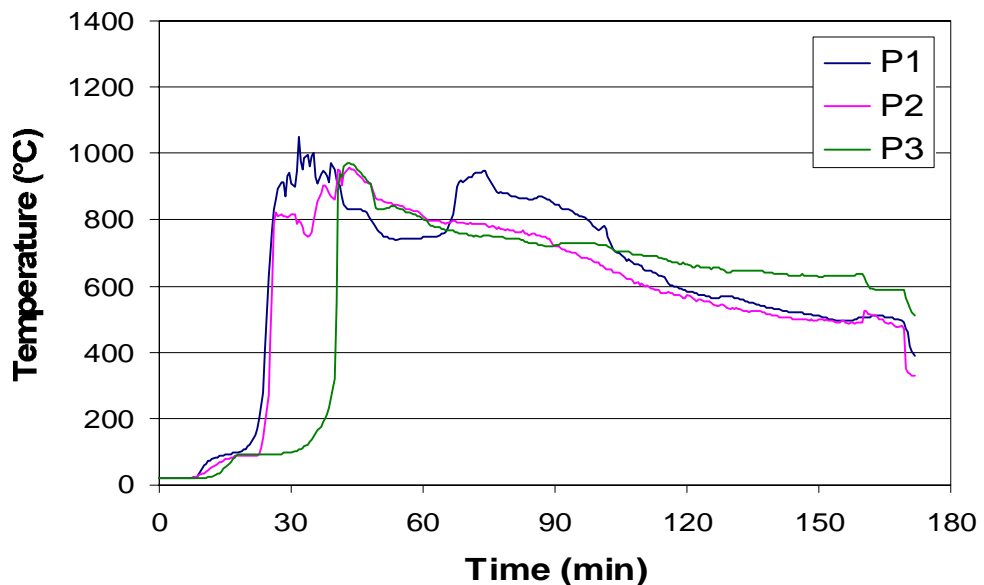
2.2 Välipohjan yläpuolinen palo

Tässä osassa arvioidaan välipohjan yläpuolisen palon palorasitusta ja siitä seuraavia suojauksen toteutuksen vaihtoehtoja seuraavasti:

- Suojaverhouksen tarve - ero alapuoliseen paloon
- Suojaverhouksen toteutus - suojaverhoukseen luettavat rakennusosat
- Osastoinnin vaatimusten soveltaminen suojaverhousvaatimusten rinnalla.

2.2.1 Huonetila ei-sprinklattu

Alla oleva kuva 1 on MASSIVTRÄ-projektin huonepalokokeesta, jossa mitattiin lämpötiloja myös lattialla olleen 22 mm paksun lastulevyn alapinnasta [2]. Lattialla oleva hiillos palokuorman jäljiltä pitää lämpötilat kohtuullisen korkealla pitkään.

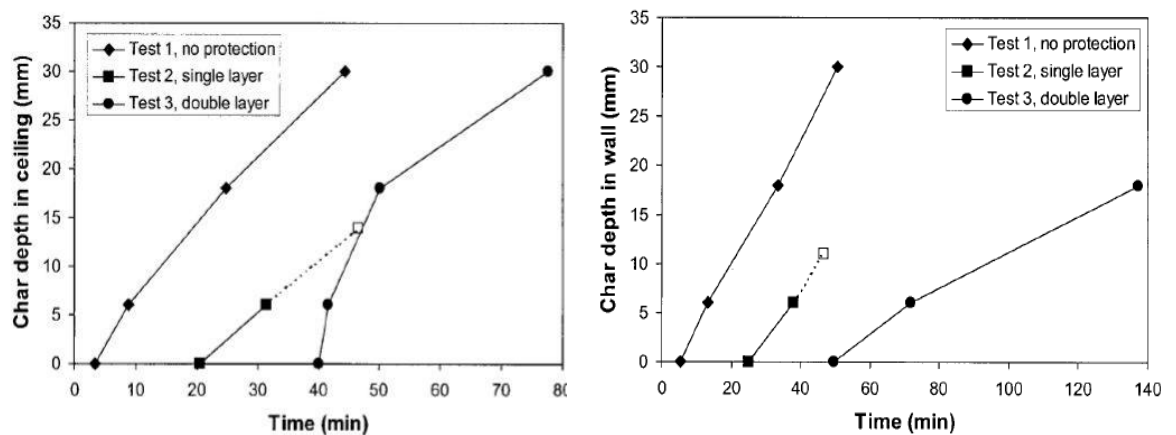


Kuva 1. Lämpötiloja lattialastulevyn (22 mm) alla kokeessa [2], jossa palokuormaa oli 920 MJ/m^2 (ilman massiivipuurunkoa) ja ekvivalentti palonkesto aika oli noin 55 minuuttia [1].

Alla on esitetty taulukossa yhteenveto hiiltymisnopeuden mittauksista edellä mainitun kokeen [2] huonetilan katossa ja seinän keskikorkeudella (ks. myös kuva 2) [3].

Table 7. Summary of charring characteristics of wood. Times were measured from the ignition of the movable fire load.

| Test no. | Start of Charring (min) | | Charring Rate (mm/min) | | | | Maximum Char Depth (mm) | | Time for Maximum Char Depth – End of Test (min) | |
|--------------------------|--|---------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------|---|-----|
| | Collapse of first GPB layer from ceiling (min) | Ceiling | Ceiling | | Walls | | Ceiling | Walls | | |
| | | | at the Onset of Charring | in the End Phase of Test | at the Onset of Charring | in the End Phase of Test | | | | |
| Test 1 (25 April 2001) | | 3 | 5 | 1 | 0.6 | 0.8 | 0.5–0.7 | 38 | 29–41 | 50 |
| Test 2 (24 January 2001) | 18 | 20 | 25 | 0.6 | | 0.4–0.5 | | 14 | 8–13 | 46 |
| Test 3 (5 June 2001) | 27 | 40 | 50 | 4 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 47 | 23–26 | 169 |
| Test 4 (18 January 2001) | 32 | 39 | | 3 | | | | 7 | 2–3 | 48 |



Kuva 2. Hiiltymisen mittaustuloksia katossa ja seinän keskikorkeudella kipsilevyllä suojaatuissa ja suojaamattomissa tapauksissa [3].

Kuvan 1 mukaan lastulevyn (22 mm) hiiltymisnopeus oli noin 1 mm/min. Lastulevy hiiltyi kokeessa siis nopeammin kuin standardipalon mukaisessa palorasituksessa (noin 0,8 mm/min), koska palorasitus oli kokeen alussa jonkin verran standardipaloa ankarampi. Kuvan 2 mukaan seinän keskikorkeudella hiiltymisnopeus suojaamattomassa puurakenteessa oli suunnilleen sama (tai hieman pienempi) kuin katossa. Näiden tulosten perusteella ei voi olettaa puun hiiltymisen (palorasituksen) olevan oleellisesti pienempi lattialla kuin seinän yläosissa ja katossa silloin, kun puuta ei ole mitenkään suojattu.

Kahdella kipsilevyllä suojatussa tapauksessa hiiltyminen oli kuitenkin hitaampaa seinän keskikorkeudella kuin katossa. Tämä johtui ilmeisesti siitä, että seinillä kipsilevyt pysyivät paremmin ehjinä suojaamassa puurakennetta.

Yhteenveto ei-sprinklatusta tapauksesta: palorasitus lattialla voi olla hieman pienempi kuin katossa liekehtivän palamisen aikana, mutta hiipumisen aikana lattialla voi olla myös hiillos, josta aiheutuu kohtalainen lämpörasitus lattiaan. K₂60 -suojaverhous (vähintään luokan A2-s1, d0 tarvikkeista) tai vastaava (EI 60) tarvitaan suojaamaan kantavia rakenteita.

2.2.2 Huonetila sprinklattu

Vesi päätyy pääasiassa lattialle jäädyttäen ja kastellen lopulta koko lattian. Palorasitus on siis selvästi tilan yläosia pienempi. Suojaverhousta/suojausta tarvitaan hidastamaan palon leviämistä lähinnä siihen tapaukseen, jolloin sprinklaus ei toimi.

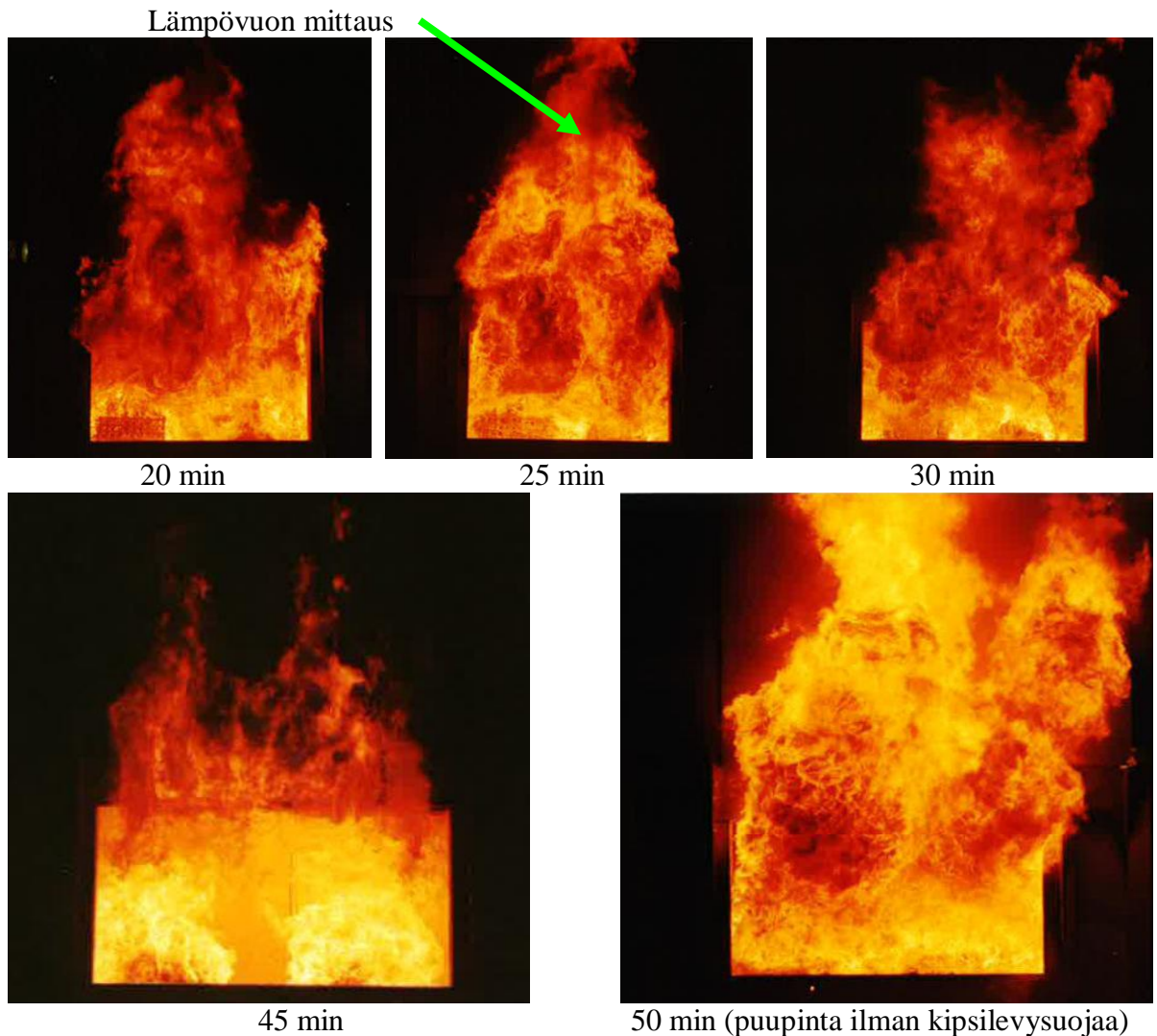
Edellä ehdotettu (kohta 2.1, yleinen soveltaminen) vaatimus, EI 15 vähintään luokan A2-s1, d0 tarvikkeista, soveltuu sprinklatun tilan lattiassa käytettäväksi. Tämän vaatimuksen täyttää esimerkiksi 13 mm:n paksuinen kipsilevy tai vastaava (vasten suojattavaa kantavaa runkoa) ja sen päälle voidaan asentaa lattiavaneri, parketti, jne.

2.3 Ulkopuolinen palo

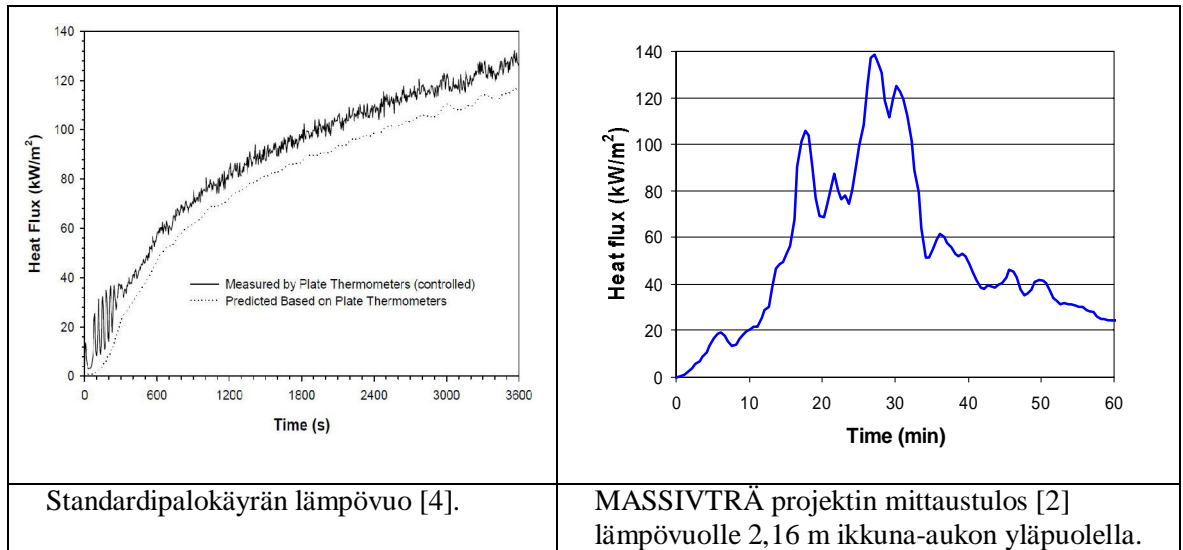
Seuraavassa tarkastellaan suojaverhouksen tarvetta ja toteutusta ulkopuolisen palon tapauksessa. Tarkastelu sisältää suojaverhoukseen luettavat rakennusosat ja EI-vaatimusten käytön.

2.3.1 Suojauksen tarve ulkopuolista paloa vastaan

Alla olevassa kuvassa 3 on esitetty lieskahtaneen huonepalon (sama kuin edellä) aikaansaama ulkopuolinen liekki eri ajanhetkillä.



Kuva 3. MASSIVTRÄ-projektin (2001) lieskahtaneen huonepalon liekkejä [2].

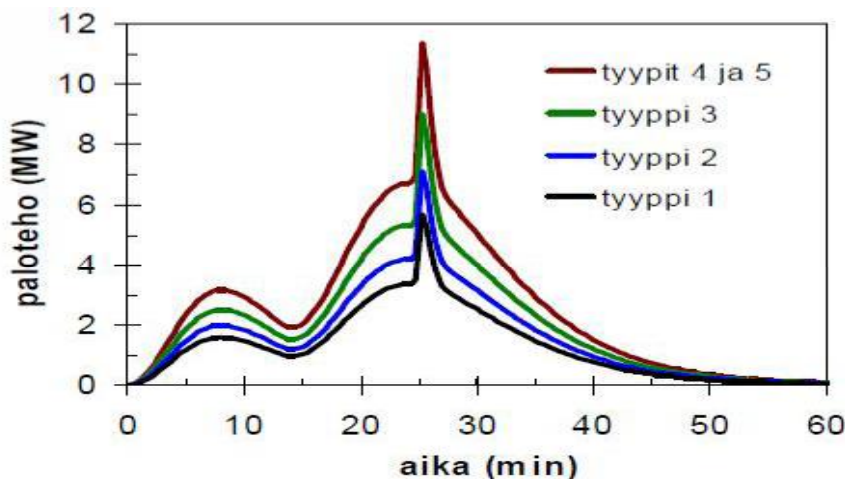


Kuva 4. Standardipalokäyrän ja lieskahtaneen huonepalon liekin lämpövuon intensiteettejä.

Lieskahtaneen huonepalon (ekvivalentti palonkesto aika noin 55 min) aikaansaama ulkopuolinen lämpörasitus vaikuttaa kuvan 4 perusteella olevan karkeasti noin puolet yhden tunnin standardipalon rasituksesta. Lisäksi on otettava huomioon se, että rakennuksen ulkopuolella liekehtivän palon loputtua jäähtyminen on selvästi nopeampaa kuin palotilan sisäpuolella. **Suojaustarve on siten 30 minuutin luokkaa ja se voidaan toteuttaa joko suojaverhouksella tai osastoivalla rakenteella.**

Lieskahtavaa huonepaloa ei ole sprinklatussa tapauksessa, mutta kuinka suuri voi olla ulkopuolella syttynyt palo?

- Ei ainakaan suurempi kuin lieskahtaneen huonepalon aikaansaama liekki
- Autopalon paloteho on kuvan 5 mukaan yli 3 MW:n tasolla alle 20 minuuttia. (Tässä verrataan autopalon palotehoa lieskahtaneen huonepalon tuottaman liekin palotehoon, joka voi olla useita megawatteja. Lisäksi autopalon liekin etäisyys seinästä on käytännössä suurempi kuin lieskahtaneen huonepalon liekin.)



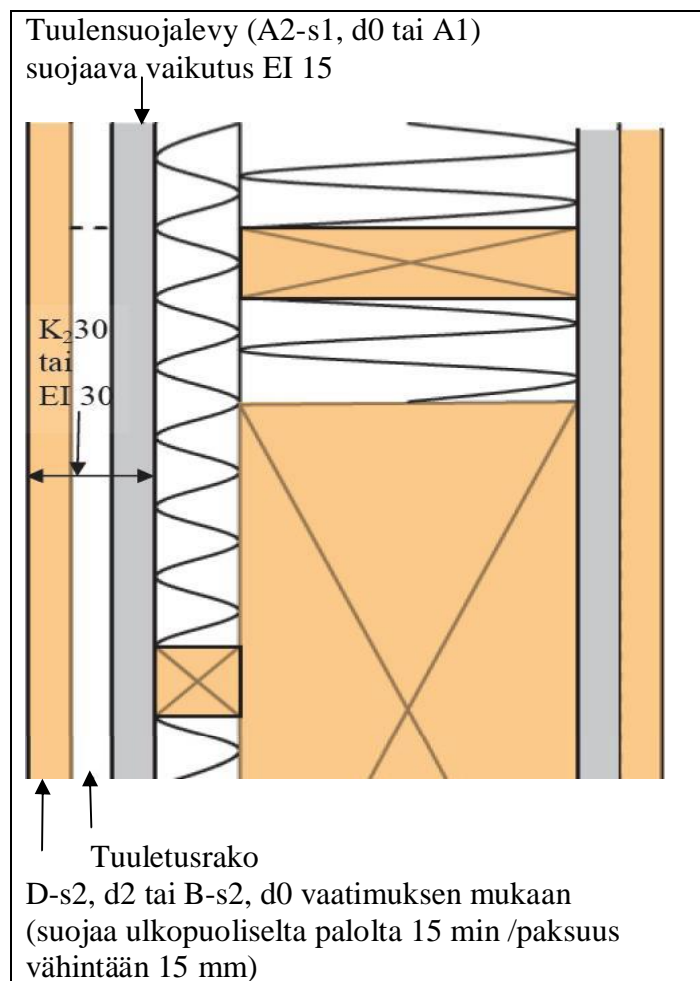
Kuva 5. Arvio erikokoisten henkilöautojen palotehokäyriksi [5].

Rakennuksen ensimmäinen ja toinen kerros: yhden auton palon aiheuttaman palorasituksen julkisivulle voidaan siten arvioida vaativan kantavien rakenteiden suojausajaksi noin 15 minuuttia (suojausesimerkkejä: EI 15 (A2-s1, d0) tai K₂10 (A2-s1, d0) + julkisivuverhous (D-s2, d2/B-s2, d0)).

Jos on syytä olettaa useamman auton palavan samanaikaisesti tai isomman ajoneuvon voivan palaa rakennuksen välittömässä läheisyydessä, täytyy rakenteiden suojaukselta edellyttää 30 minuutin aikaa. Kolmannesta kerroksesta ylöspäin suojausajaksi riittää 15 minuuttia (EI 15 kantavaa puurakennetta vasten vähintään luokan A2-s1, d0 tarvikkeista), koska puuverhoilun palamisesta syntyvä palorasitus kantaville rakenteille on oleellisesti pienempi kuin esim. lieskahtaneen huonepalon liekin aiheuttama.

2.3.2 Mitä suojaukseen lasketaan

Tuulensuojalevyllä on myös kantavaa runkoa syttymiseltä ja palolta suojaava vaikutus, jos se on vähintään A2-s1, d0 -luokkaa (esim. kipsilevyä) ja paksuus riittävä (esim. 13 mm kipsilevy) suojaamaan 15 minuutin ajan (EI 15). Tämän lisäksi 30 minuutin suojaukseen voidaan laskea puuverhoilu tai muu vastaava verhoilu, jonka suojaava aika on vähintään 15 minuuttia (D-s2, d0 tai B-s2, d0 vaatimuksen mukaan). Kuvassa 6 on havainnollistettu tilannetta.



Kuva 6. Ulkoseinän suojaavat kerrokset

2.4 Sisäpuolinen palo

K₂ 30 -suojaverhotun ja sprinklatun tapauksen yhteydessä tarkastellaan puuverhouksen käytön kelpoisuutta oletuksella, että puuverhous samalla antaa lisää suojaverhousaikaa. Tätä varten tehdään Eurokoodin ekvivalenttien palonkestoaikojen laskennat soveltuvilla palokuorma-arvoilla. Myös EI 15 -rakenneosien soveltuvuus suojauksen vaihtoehtona tarkastellaan.

Sprinklaamattomassa tapauksessa tarkastellaan sitä, millä ehdoilla K₂60 -suojaverhouksesta osa voisi olla D-luokkaa.

2.4.1 Laskentamenetelmä ja oletukset

Käytetään Eurokoodi 1991-1-2:n laskentaohjeita ekvivalentin palonkestoajan (suojausajan) laskemiseen (ks. tarkempi kuvaus raportissa [1]) ja tehdään seuraavia oletuksia:

- **K₂ 30 -suojaverhous tai suojaava EI 15 -rakenne kokonaan A2-s1, d0 -luokkaa**
- Pintaverhoiluna käytetyn puupaneelin (levyn) tiheys 500 kg/m³ sisältäen 8 - 10 % kosteuden, joka tulee ottaa huomioon puun lämpöarvossa (EN 1991-1-2:n mukaan).
- Puun perustiheyksillä noin 500 kg/m³ hiiltymisnopeus on korkeintaan noin 1 mm/min myös alle 20 mm:n paksuuksilla standardipaloa vastaavissa olosuhteissa [6].
 - o EN 1995-1-2 antaa ohuille puulevyille laskentakaavan, jolla hiiltymisnopeudet kasvavat jopa 2-3 millimetriin minuutissa. Nämä koskevat oletettavasti tapauksia, joissa ohuen levyn takana on esim. lämmöneriste tai tyhjä tila, jolloin lämpöä ei johdu levystä eteenpäin. Tässä nyt tarkasteltavassa tapauksessa puulevy on kuitenkin vasten kipsilevyä (tai vastaavaa), joten sen hiiltymisnopeuden (=suojaavan vaikutuksen) voidaan olettaa olevan suunnilleen vakio kuten paksumminkin puutuotteilla.
 - o EN 1995-1-2:n mukaiset puutuotteiden ja -verhosten hiiltymisnopeudet (vanerilla suurin arvo) on annettu taulukossa 2
- Pintaverhoilulevy tasapaksu (ei sisällä uria, tms.)
- Huonekoosta riippuen aukottomien seinäpintojen pinta-ala verrattuna lattiapinta-alaan vaihtelee välillä 2 - 3, siten suurin kerroin on pienillä huoneilla. Tässä kertoimelle käytetään arvoa 2,5.
- Lattian puuparketit ja vastaavat oletetaan sisältyvän nimellispalokuormaan (palokuormamittauksissa laskettu mukaan lattioiden kiinteä palokuorma ja myös seinillä ja katossa oleva, mutta nykyisessä kerrostalokannassa kiinteä palokuorma on koostunut lähinnä vain lattioiden palokuormasta)
- Aktiivisen palontorjunnan oletukset
 - o Automaattinen sammutus käytössä, kerroin 0,61 (koskien mitoituspalokuormaa)
 - o Automaattinen paloilmoin (lämpö) käytössä, kerroin 0,87
 - o Muualta tuleva palokunta, kerroin 0,78
 - o Hälytys kytketty hätäkeskukseen, kerroin 0,87

Taulukko 2. EN 1995-1-2:n mukaisia puutuotteiden hiiltymisnopeuksia.

| | β_0 mm/min | β_h mm/min |
|---|---------------------|---------------------|
| a) Havupuu ja pyökki | | |
| Liimapuu, jonka ominaistiheys $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ | 0,65 | 0,7 |
| Sahatavara, jonka ominaistiheys $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ | 0,65 | 0,8 |
| b) Lehtipuu | | |
| Lehtipuusta valmistettu sahatavara tai liimapuu, jonka ominaistiheys on 290 kg/m^3 | 0,65 | 0,7 |
| Lehtipuusta valmistettu sahatavara tai liimapuu, jonka ominaistiheys $\geq 450 \text{ kg/m}^3$ | 0,50 | 0,55 |
| c) LVL, jonka ominaistiheys on $\geq 480 \text{ kg/m}^3$ | 0,65 | 0,7 |
| d) Levyt ja lautaverhoukset | | |
| Lautaverhoukset | 0,9 ^a | – |
| Vaneri | 1,0 ^a | – |
| Muut puulevyt kuin vaneri | 0,9 ^a | – |
| ^a Arvot pätevät, kun ominaistiheys on 450 kg/m^3 ja levyn paksuus on 20 mm; ks. kohtaa 3.4.2(9) tiheyden tai paksuuden poiketessa näistä arvoista. | | |

Kun ominaistiheys ρ_k poikkeaa tästä tai kun levyn paksuus h_p on alle 20 mm, hiiltymisnopeus lasketaan kaavasta

$$\beta_{0,p,t} = \beta_0 k_p k_h$$

missä

$$k_p = \sqrt{\frac{450}{\rho_k}}$$

$$k_h = \sqrt{\frac{20}{h_p}}$$

missä edelleen:

ρ_k on ominaistiheys [kg/m^3]

h_p on levyn paksuus [mm].

2.4.2 Puuverhoilun vaikutus suojaverhouksen päällä - sprinklattu tapaus

Edellä olevilla oletuksilla saadaan laskettua seuraava taulukko 3 tarvittavan suojaverhousajan pituudesta eri puuverhousten paksuuksilla, kun puun käyttö sallitaan lattioiden (sisältyy palokuorman ominaisarvoon) lisäksi seinillä ja katoissa. Taulukon 3 arvojen laskennassa on käytetty Eurokoodin sprinklauksen huomioon ottavaa kerrointa 0,61 palokuorman osalta sekä otettu huomioon Eurokoodin mukaisesti paloilmoin (lämpö), palokunta, hälytys hätäkeskukseen ja riippumaton vesilähde. Rakenteellisena suojauksena on K₂30-suojaverhous.

Taulukon 3 tapauksista voidaan päätellä, että puuverhoilun käyttö seinillä ja katossa lisää palokuormaa suunnilleen vain sen verran kuin kyseinen verhoilu vastaavasti pystyy suojaamaan. Tämä kuitenkin edellyttää, että jos esimerkiksi vain seinissä käytetään puuta, täytyy kattoon lisätä vastaavan suojan antava määrä esim. kipsilevyä.

Taulukko 3. Tarvittavan suojaverhousajan ja puuverhoilun paksuuden riippuvuus, kun käytetään Eurokoodin sprinklauskerrointa ja K₂₃₀-suoja-verhousta.

Tapaus 1: Eurokoodin mukainen sprinklauksen huomioon ottava kerroin 0,61 - suojauksena K₂₃₀

| Puuverhoilun paksuus | Puuverhoilu seinillä ja katossa | | Hiiltymisnopeus (kipsilevyalustalla), puun tiheys 500 kg/m ³ | Puuverhoilu seinillä ja katossa | | | |
|----------------------|---|----------|---|--|---|----------|--------|
| | Suoja-verhoilulta vaadittava suojausaika* (min) | | | Suoja-verhoilulta vaadittava suojausaika** (min) | Hiiltymisnopeuden suurin arvo, jolla suojausaika toteutuu | | |
| mm | Kokonaisaika | Lisäaika | mm/min | mm/min | Kokonaisaika | Lisäaika | mm/min |
| 6 | 35 | 5 | 1,20 | 0,9 - 1,0 | 30 | - | - |
| 12 | 42 | 12 | 1,00 | 0,9 - 1,0 | 37 | 7 | 1,71 |
| 15 | 46 | 16 | 0,94 | 0,9 - 1,0 | 40 | 10 | 1,50 |
| 18 | 50 | 20 | 0,90 | 0,9 - 1,0 | 44 | 14 | 1,29 |
| 20 | 53 | 23 | 0,87 | 0,9 - 1,0 | 46 | 16 | 1,25 |

*Otettu huomioon sprinklaus, paloilmoin (lämpö), palokunta, hälytys hätäkeskukseen

**Kuten * + riippumaton vesilähde

Taulukon 4 arvojen laskennassa on käytetty sprinklauksen huomioon ottavana kertoimena arvoa 0,33 palokuormaa koskien. Tämä kerroin vastaa raportin VTT-R-07556-10 [1] tarkempia arviointeja sprinklauksen vaikutuksesta palorasitukseen. Lisäksi on otettu huomioon Eurokoodin mukaisesti paloilmoin (lämpö), palokunta ja hälytys hätäkeskukseen. Rakenteellisena suojauksena on EI 15-suojaus.

Oletuksilla sprinklaus, paloilmoin (lämpö), palokunta ja hälytys hätäkeskukseen puuverhoilun käyttö seinillä ja katossa lisää palokuormaa suunnilleen vain sen verran kuin kyseisen verhoilu vastaavasti pystyy suojaamaan. Tämä kuitenkin edellyttää, että jos esimerkiksi vain seinissä käytetään puuta, täytyy kattoon lisätä vastaavan suojan antava määrä esim. kipsilevyä.

Taulukko 4. Tarvittavan suojaverhousajan ja puuverhoilun paksuuden riippuvuus, kun käytetään sprinklauksen huomioon ottavana kertoimena arvoa 0,33 ja EI 15-suojausta.

Tapaus 2: Sprinklauksen huomioon ottava kerroin 0,33 (VTT-R-07556-10:n tarkempia arviointeja kuvaava kerroin) - perussuojauksena EI 15

| Puuverhoilun paksuus | Puuverhoilu seinillä ja katossa | | Hiiltymisnopeus, kun tiheys noin 500 kg/m ³ | Puuverhoilu seinillä ja katossa | | | |
|----------------------|---------------------------------|----------|--|---------------------------------|---|----------|--------|
| | Vaadittava suojausaika* (min) | | | Vaadittava suojausaika** (min) | Hiiltymisnopeuden suurin arvo, jolla suojausaika toteutuu | | |
| mm | Kokonaisaika | Lisäaika | mm/min | mm/min | Kokonaisaika | Lisäaika | mm/min |
| 0 | 15 | - | - | | 17 | (2) | |
| 6 | 19 | 4 | 1,50 | 0,9 - 1,0 | 22 | 7 | 0,86 |
| 12 | 23 | 8 | 1,50 | 0,9 - 1,0 | 26 | 11 | 1,09 |
| 15 | 25 | 10 | 1,50 | 0,9 - 1,0 | 29 | 14 | 1,07 |
| 18 | 27 | 12 | 1,50 | 0,9 - 1,0 | 31 | 16 | 1,13 |
| 20 | 28 | 13 | 1,54 | 0,9 - 1,0 | 33 | 18 | 1,11 |

*Otettu huomioon sprinklaus, paloilmoin (lämpö), palokunta, hälytys hätäkeskukseen

**Kuten *, mutta ei hälytystä hätäkeskukseen

Kun rakennus on sprinklattu ja lisäksi varustukseen kuuluu paloilmoin (lämpö) ja hälytys hätäkeskukseen sekä käytetään suojaverhouksessa vähintään A2-s1, d0 -luokan levyä suojattavaa rakennetta vasten, päädytään vähimmäisvaatimuksina seuraaviin ehtoihin:

- suojauksena EI 15 (A2-s1, d0), kun seinillä ja katoissa ei ole pintaverhoilua, joka ei täytä vähintään A2-s1, d0 -luokan vaatimuksia (kohdan 2.1 mukaisesti)
- suojauksena EI 15 (A2-s1, d0) + yhtenäinen puuverhoilu (tai vastaava) sekä seinillä että katoissa (paksuus korkeintaan noin 20 mm).

2.4.3 Puuverhoilu osana suojaverhousta - ei sprinklausta

Tarkastellaan, voiko osa K₂60 -suojaverhouksesta olla D-luokkaa. Tässä tapauksessa oletetaan, että ei ole sprinklausta, mutta on paloilmoin (lämpö) ja hälytys hätäkeskukseen. Puulevyksi oletetaan vaneri. Tästä seuraa, että käytettäessä esimerkiksi 15 mm:n puuverhoilua A2-s1, d0 -luokan suojaverhouksen suojausajan tulee edelleen olla 60 minuuttia, kun puuta käytetään sekä seinissä että katoissa. Tämä johtuu siitä, että lisääntynyt palokuorma vaatii pidemmän suojausajan, jolloin alkuperäistä suojausta ei voida pienentää. Puuverhoilu suojaa vain sen verran kuin se lisää palokuorman kautta tarvittavaa suojausaikaa.

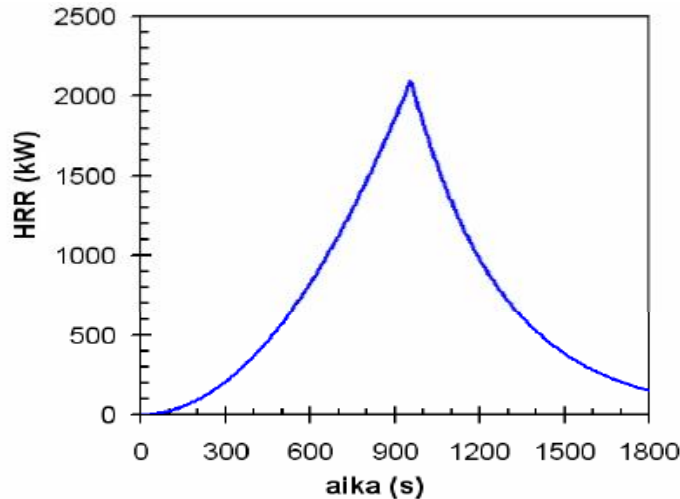
Suojaverhouksen K₂60 vaihtoehtona kantavan puurakenteen suojaus voidaan toteuttaa myös osastoivalla EI 60 -rakenteella, joka on tehty vähintään A2-s1, d0 -luokan tarvikkeista.

2.5 Portaiden suojaus

Portaiden suojaustarvetta arvioidaan uhkakuviiin ja muihin vaatimuksiin verraten. Uhkakuvia porrashuoneen palossa ovat:

- Lieskahtanut palo huoneistosta porraskäytävään
 - o Alkaa noin 30 min lieskahduksen jälkeen, jos ovet kiinni, tai heti oven avaamisen jälkeen
 - o Vastaa karkeasti tilannetta julkisivulla - iso liekki, kesto voi olla lyhyempi (kesto noin 15 - 30 minuuttia, jos ei sprinklausta; sprinklattuna alle 15 minuuttia)
- Palo porraskäytävässä
 - o Esim. sisään rahdattava jääkaappi-pakastin
 - Paloteho on esitetty kuvassa 7
 - Paloteho yli 1 MW noin 10 min, jos ei sprinklausta

Näistä voidaan olettaa sprinklatussa tapauksessa standardipalon mukaiseksi rasiutukseksi korkeintaan 10 minuuttia, josta seuraa portaiden, porrassyökyjen ja -tasanteiden suojauksen tarpeeksi 10 minuuttia. Siten sprinklatussa rakennuksessa portaiden (R30) suojaus voidaan toteuttaa joko K₂10 -suojaverhouksena tai EI 15 -rakenteella, jotka on tehty vähintään luokan B-s1, d0 tarvikkeista. Sprinklaamattomassa tapauksessa portaiden suojausaika on 30 minuuttia (K₂30 tai EI 30), jos huoneistojen porraskäytävään johtavat ovet eivät ole itsestään sulkeutuvia. Askelmien ja tasanteiden yläpinnat voivat olla D_{FL}-s1 -luokkaa.



Kuva 7. Jääkaappi-pakastimen palotehon mitoituskäyrä [5].

3 Julkisivut

Ulkoseinien ulkopintojen ja tuuletusraon pintojen luokkavaatimukset esitetään Suomen rakentamismääräyskokoelman (SRMK) osan E1 [7] taulukossa 8.3.4:

8.3.4

Ulkoseinän ulkopinnan ja tuuletusraon pintojen luokkavaatimukset on esitetty taulukossa 8.3.4. Parvekkeissa noudatetaan ulkoseinän ulkopinnan vaatimuksia.

Ohje

Pinnat saa päällystää tavanomaisin tasoite-, silote- ja maalikerroksin.

Selostus

Ulkoseinien sisäpuolisten pintojen vaatimukset on esitetty kohdassa 8.2.

TAULUKKO 8.3.4

ULKOSEINIEN ULKOPINTOJEN JA TUULETUSRAON PINTOJEN LUOKKAVAATIMUKSET

| | Rakennuksen paloluokka ja käyttötapa | | | | | |
|------------------------|---|---|------------------------|--|----------------------------|----------|
| | P1 | | P2 | | P3 | |
| | P1-luokan rakennukset yleensä | Enint. 4-kerroksiset asuin- ja työpaikkarakennukset | Hoitolaitokset | 3–4-kerroksiset asuin- ja työpaikkarakennukset | Muut P2-luokan rakennukset | |
| Ulkoseinän ulkopinta | B-s1, d0 ¹⁾ | B-s1, d0 ²⁾ | B-s1, d0 ²⁾ | B-s1, d0 ²⁾ | D-s2, d2 | D-s2, d2 |
| Tuuletusraon ulkopinta | B-s1, d0 ¹⁾ | B-s1, d0 ²⁾ | B-s1, d0 ²⁾ | B-s1, d0 ²⁾ | D-s2, d2 | D-s2, d2 |
| Tuuletusraon sisäpinta | B-s1, d0 | B-s1, d0 | B-s1, d0 | B-s1, d0 | D-s2, d2 | — |
| Taulukon merkintä: | — = ei vaatimusta | | | | | |
| Taulukon huomautukset: | ¹⁾ Enintään kahdeksankerroksisissa P1-luokan rakennuksissa ulkoseinän ulkopinnan osa saa olla luokkaa D-s2, d2, mikäli tällaisia osia ympäröivät rakenteet suojaavat seinäpintaa palon leviämiseltä. Julkisivulevyjen kiinnitykseen saa enintään kahdeksankerroksisissa rakennuksissa käyttää vähäisessä määrin D-s2, d2-luokan rakennustarvikkeita. ²⁾ Luokan D-s2, d2 rakennustarvikkeiden käyttö on sallittu kohdan 8.3.5 edellytyksin. | | | | | |

Tämän mukaan pintakerrosluokan D-s2, d2 rakennustarvikkeita kuten puuta on ulkoseinissä sallittua käyttää muissa P2-luokan rakennuksissa kuin hoitolaitoksissa ja 3–4-kerroksisissa asuin- ja työpaikkarakennuksissa sekä P3-luokan rakennuksissa.

3.1 Pintakerrosluokituksen savuvaatimus julkisivuissa

Vuonna 2002 voimaan tullessa SRMK:n osassa E1 siirryttiin pintakerrosten eurooppalaiseen paloluokitukseen. Vaatimusten pääluokkaan liittyvät aina savuntuottoa ja palavien osien tai pisaroiden tuottoa koskevat sivuluokat. SRMK:n osassa E1 käytössä olevat pintojen luokkavaatimukset ovat seuraavat:

- A2-s1, d0
- B-s1, d0
- C-s2, d1
- D-s2, d2

Vuonna 2002 SRMK:n osan E1 savuntuoton luokkavaatimus tuli koskemaan myös ulkoseinien ulkopuolisia pintakerroksia. Tätä aiemmin ulkoseinien pintojen luokkavaatimukseen (E1:n taulukko 8.3.4) liittyi ohje, jonka mukaan ulkoseinien ulkopuolisten pintakerrosten ei tarvitse täyttää luokkavaatimuksia savunmuodostuksen osalta.

Pintojen luokkavaatimuksissa turvallisuuden kannalta kriittisin on rakennus-tarvikkeen pääluokka, koska se määrää kuinka nopeasti ja kuinka laajalle palo voi levitä. Savuntuoton luokkavaatimuksen merkitys turvallisuudelle on ulkoseinien osalta selvästi vähäisempi kuin sisäpuolisten pintojen osalta, koska ulkotilassa savu pääsee vapaasti leviämään eikä siten yleensä vaikeuta poistumista.

3.1.1 Julkisivujen savuntuottoluokkavaatimukset muualla Euroopassa

Pohjoismaiden paloturvallisuusmääräyksiä on vertailtu "Minimising the trade barriers due to fire regulations in the Nordic countries" -projektissa, jonka rahoitti Nordisk InnovationsCenter (NICE). Eri maiden määräyksissä havaittiin useita eroavuuksia, ja projektin raportissa annettiin joitakin harmonisointisuosituksia [8].

Savuntuottovaatimusten suhteen tärkein harmonisointikohde ovat ulkoseinien ulkopinnat. Tämänhetkiset luokkavaatimukset Pohjoismaissa, Saksassa, Iso-Britanniassa ja Ranskassa on koottu taulukkoon 5.

Ulkoseinien ulkopintojen savuntuottovaatimukset Pohjoismaissa vaihtelevat luokasta s3 (so. ei vaatimuksia) Norjassa luokkiin s2 ja s1 Tanskassa, Suomessa, Ruotsissa ja Islannissa. Iso-Britannia ja Ranska sallivat luokan s3 tuotteiden käytön. Saksassa vaatimukset ovat hyvin vaihtelevat riippuen rakennustyyppistä ja osavalttiosta.

Edellä mainitun NICE-projektin johtopäätöksenä korostettiin, että rakennuksen ulkopuolella palavien rakennustarvikkeiden tuottama savu leviää helposti eikä siten merkittävästi hidasta poistumista. Koska ulkotilassa muodostuvan savun aiheuttamat riskit ovat pienemmät kuin sisätilassa muodostuvan savun, ulkopuolisille pinnoille asetettavat vaatimukset voivat olla lievemmat kuin sisäpuolisille pinnoille. Vaatimusten vertailun tuloksena raportissa ehdotettiin, että Pohjoismaiden tulisi harkita savuluokkavaatimuksen s2 käyttöä koskien ulkoseinien ulkopintoja [8].

Taulukko 5. Ulkoseinien ulkopintojen luokkavaatimuksia Pohjoismaissa, Saksassa, Iso-Britanniassa ja Ranskassa.

| Maa | Luokkavaatimus | Huomautuksia |
|----------------------|------------------------------------|---|
| Tanska ¹⁾ | D-s2, d2 | |
| Suomi | B-s1, d0 | asuin- ja työpaikkarakennukset |
| | D-s2, d2 | muut P2-luokan rakennukset kuin hoitolaitokset ja 3–4-kerroksiset asuin- ja työpaikkarakennukset; P3-luokan rakennukset |
| Islanti | B-s1, d0 D-s2, d0 | |
| Norja | B-s3, d0 D-s3, d0 | |
| Ruotsi | A2-s1, d0 | tai täyden mittakaavan palokokeen tuloksen perusteella |
| | D-s2, d0 | 1–2-kerroksiset sairaalat ja koulut |
| Saksa ²⁾ | A2 / B / C / D / E | pääluokka |
| | s1 / s2 / s3 | savuntuottoiluokka |
| | d0 / d1 / d2 | palavien pisaroiden/osien luokka |
| Iso-Britannia | B-s3, d2 | > 18 m |
| | D-s3, d2 | < 18 m |
| Ranska | C-s3, d0 or D-s3, d2 ³⁾ | asuinrakennukset |
| | C-s3, d0 or D-s3, d0 ³⁾ | sairaalat ja koulut |
| | ei vaatimuksia | toimistorakennukset |

¹⁾ Tanskassa suojaverhosten pintakerrosluokkavaatimus voi olla B-s1, d0 tai D-s2, d2 riippuen rakennuksen korkeudesta.

²⁾ Saksan osavaltioilla on itsemääräämisoikeus rakennusmääräyksissä.

³⁾ erityisehdoin

3.1.2 Ehdotus pintakerrosluokituksen savuvaatimuksesta julkisivuissa

Pintakerrosluokituksessa turvallisuuden kannalta kriittisin on rakennustarvikkeen pääluokka, joka määrää kuinka nopeasti ja kuinka laajalle palo voi levitä. Ulkoseinissä käytettävien rakennustarvikkeiden savuntuotto-ominaisuuksien merkitys turvallisuudelle on pienempi kuin sisätiloissa, koska ulkotilassa savu pääsee vapaasti leviämään eikä siten yleensä merkittävästi vaikeuta rakennuksesta poistumista tai vaaranna pelastus- ja sammutustöitä.

Näillä perusteilla ehdotetaan, että ulkoseinien ulkopinnoille ja tuuletusraon ulkopinnoille savuntuoton luokkavaatimus olisi pääsääntöisesti s2 enintään 8 - kerroksisissa rakennuksissa. Jos jokin rakennustyyppi tai käyttötapa todetaan julkisivun savuntuoton suhteen poikkeuksellisen kriittiseksi, voi luokkavaatimus tällaisessa kohteessa olla s1. Tällaisia poikkeustapauksia voivat olla esimerkiksi hoitolaitos, jonka asukkaiden tai potilaiden toimintakyky on rajoittunut, tai erityisen pitkä ja leveä räystääs, jonka alle voi kertyä suuressa määrin savua.

3.2 Puun käyttö julkisivussa

Puujulkisivun vaikutusta P1-luokan betonirunkoisen kerrostalon paloturvallisuuteen on tutkittu Puun käyttö korjausrakentamisessa -projektissa [9]. Tutkimuksessa tarkasteltiin puujulkisivujen käyttöä korjausrakentamisessa

perustuen riskien suuruuden arviointiin. Riskianalyysi tehtiin palotilanteille, joissa palo pääsee julkisivulle. Näitä ovat lieskahtaneet huoneistopalot, jotka rikkovat palotilan ikkunat, parvekepalot sekä ulkoiset syttymät rakennuksen seinustalla. Palokunnan sammutus- ja pelastustoiminta otettiin huomioon käyttämällä ajasta riippuvaa tapahtumapuumallia. Esimerkkikohteena oli Helsingissä sijaitseva betonirunkoinen sprinklaamaton 3–4-kerroksinen P1-luokan lähiökerrostalo, johon asennettiin korjausrakentamisen yhteydessä puinen julkisivuverhous vanhan julkisivun päälle. Tulosten yleistyksessä tarkasteltiin esimerkkikohteen erityispiirteiden vaikutusta riskitarkasteluun ja sen johtopäätöksiin. Johtopäätöksenä oli, että esimerkkikohteen tulokset ovat yleistettävissä vastaavan tyyppisiin 1960- ja 1970-luvuilla rakennettuihin betonirunkoisiin P1-paloluokan lähiökerrostaloihin, joiden kerrosluku ei poikkea merkittävästi tarkastellusta kohteesta.

Palotilanteista, joissa palo pääsee julkisivulle, suurimman palorasituksen julkisivuun aiheuttaa lieskahtanut huoneistopalo, kuten tämän raportin kappaleessa 3.2 on esitetty. Tutkimuksen [9] tuloksena todettiin, että asunnossa syttyneen palon leviämisen suhteellinen todennäköisyys yläpuoliseen asuntoon kasvaa esimerkkikohteen tapauksessa yhdellä kymmenesosalla, kun kohteeseen lisätään korjausrakentamisen yhteydessä puinen julkisivu. Normitettuna koko Suomen asuinkerrostaloille tämä riskin lisäys merkitsisi kerran kymmenessä vuodessa yhtä sellaista tapausta lisää, jossa huoneistopalo leviää yläpuoliseen asuntoon. Muiden tekijöiden, kuten huoneiden geometrian ja palokunnan ajomatkan, havaittiin vaikuttavan palon leviämisen todennäköisyyteen enemmän kuin puisen julkisivun.

Asuinkerrostalojen paloturvallisuutta yleensä voidaan parantaa huomattavasti enemmän muilla toimenpiteillä kuin julkisivumateriaalin valinnalla. Henkilöturvallisuuden kannalta keskeisiä ovat talon julkisivumateriaalista riippumattomat toimenpiteet kuten syttymien vähentäminen, savun hallinta porrashuoneissa ja asuntokohtaisten palovaroittimien toimintavarmuuden parantaminen.

Puujulkisivuun liittyviä paloriskejä voidaan pienentää pyrkimällä estämään ulkoiset syttymät rakennuksen seinustalla. Tällöin rakennuksen seinusta tulee pitää vapaana, esimerkiksi siirtämällä roska- ja autokatokset pois seinän vierestä ja estämällä autojen pysäköinti seinän viereen. Rakennuksen etäisyyden naapurirakennuksiin tulee olla vähintään 8 metriä. Ulkoisiin syttymiin liittyviä riskejä voidaan pienentää myös käyttämällä kerrostalon alimman kerroksen ulkoseinien materiaalina vähintään luokan B-s2, d0 rakennustarvikkeita. Palon leviämiskerrokset parvekkeiden kautta, ullakolle tai yläpohjaan tulee hallita rakenteellisin keinoin.

Tutkimusraportissa VTT-R-07556-10 [1] esitetyt kantavien puurakenteiden suojauksen periaatteita noudattaen tehdyt P2-luokan rakennukset voidaan rinnastaa vastaaviin P1-luokan rakennuksiin julkisivupalon osalta. Molemmissa tapauksissa palon leviämisen vaara yläpuolella oleviin palo-osastoihin on painottunut ikkunoiden kautta leviämiseen, ei kantavien rakenteiden myötävaikutukseen.

Edellä kuvatun analyysin lähtökohtana on sprinklaamaton kerrostalo. Sprinklaamattomassa rakennuksessa tulipalon aiheuttama palorasitus on sama tai

ankarampi kuin sprinklatussa rakennuksessa (ulkopuolinen palo), joten johtopäätökset pätevät myös sprinklatuille kerrostaloille. Lisäksi sprinklatussa rakennuksessa ulkopuolisen palon leviämisen sisäpuolelle estää automaattinen sammutuslaitteisto, joten puujulkisivun käyttö on mahdollista korkeintaan 8 kerrokseen asti.

3.2.1 Ehdotus puun käytön laajentamiseksi julkisivuissa

Puujulkisivun vaikutuksen palon leviämiseen yläpuolella oleviin palo-osastoihin on todettu olevan pieni verrattuna muihin palotilanteeseen liittyviin tekijöihin.

Tällä perusteella ehdotetaan, että pintakerrosluokan D-s2, d0 rakennustarvikkeiden käyttö ulkoseinissä verhoiluna sallitaan ainakin 4 kerrokseen asti sprinklaamattomissa ja 8 kerrokseen asti sprinklatuissa paloluokkien P1 ja P2 asuin- ja työpaikkarakennuksissa. Sallittuja voivat olla myös sprinklaamattomat 5-kerroksiset rakennukset siten, että ensimmäisessä kerroksessa käytetään ulkoseinissä vähintään luokan B-s2, d0 rakennustarvikkeita ja kerroksissa 2–5 luokan D-s2, d0 rakennustarvikkeita.

Paloturvallisuuden varmistamiseksi on kuitenkin huomioitava seuraavat seikat:

- rakennuksen etäisyyden naapurirakennuksiin tulee olla vähintään 8 metriä;
- ulkoseinän vieressä ei saa olla palavia rakennelmia kuten roska- tai autokatokset;
- autojen pysäköinti ulkoseinän lähelle tulee estää;
- palon leviämiskäytännöt parvekkeiden kautta, ullakolle tai yläpohjaan tulee hallita rakenteellisin keinoin.

4 Kantavien puurakenteiden sortumattomuuden todennäköisyys

Tässä osassa tapahtumapuun avulla hahmotetaan aikajaksotus ja siten eri tekijöiden merkitystä eri ajankohtina (aikaväleinä) perustuen tutkimusraporttiin VTT-R-07556-10 [1]. Tarkastelun kohteena on suojausten/suojaverhouksen ja sprinklauksen vaikutus kantavien rakenteiden sortumattomuuteen sekä F-N-käyrien käyttö hyväksymiskriteerin määrittämisessä.

4.1 Oletukset ja lähestymistapa

Lähtökohtana ovat seuraavat oletukset: käsitellään vain asuin- ja työpaikkarakennuksia (pääpaino asuinrakennuksissa), jotka ovat P2-luokan rakennuksia (3 - 8 kerrosta) ja joiden palokuormaryhmänä on alle 600 MJ/m².

Tavoitteena on absoluuttisen todennäköisyyden arviointi; ei vertailu normin sallimiin taulukkoarvoihin perustuviin vaihtoehtoihin. Kriteerinä on se, että sortumisen todennäköisyys on hyväksyttävän pieni. Tämän hyväksyttävyyden rajan määrittely tarvitsee tueksi vertailuja muualla sovellettaviin käytäntöihin.

Aluksi tarkastellaan syttymän aiheuttaman sortuman (tai sen olosuhteiden) toistumisvälejä kerrostalossa ja hengenvaaraan joutumisen uhkakuvia paikallisen

sortuman ja jatkuvan sortuman tapauksissa. F-N -käyriä käytetään arvioitaessa sallittujen tapahtumien raja-arvoja eri uhrilukumäärien onnettomuuksille. On myös muistettava, että tilastoidut palokuolemat Suomessa eivät käytännössä liity sortumiin, mutta määrittävät sallittavuuden rajoja.

4.2 Sortumattomuuden periaatteista

Rakentamismääräysten osan E1 mukaan paloluokkaan P1 kuuluvan rakennuksen kantavien rakenteiden oletetaan pääsääntöisesti kestävä palossa sortumatta. Luokkavaatimukset lähtevät siitä, että henkilöturvallisuuden takaamiseksi ja vahinkojen rajoittamiseksi P1-luokan yli kaksikerroksiset rakennukset eivät sorru palon ja jäähtymisvaiheen aikana. Niiden runkorakenteen oletetaan kestävä rakennuksessa tai sen osassa olevien kaikkien palamiskykyisten aineiden palamisen ilman sammuttamista. Vaatimuksenmukaisuus voidaan osoittaa kokeellisesti, laskennallisesti, yhdistämällä koe- ja laskennalliset tulokset tai käyttämällä hyväksyttävää taulukkomitoitusta. Siten esimerkiksi, kun kantavat rakenteet on tehty vähintään luokan A2-s1, d0 tarvikkeista, vaatimus tulee täytetyksi R60 -rakenteella (kun rakennus kuuluu palokuormaryhmään alle 600 MJ/m²).

Käytännössä edellä oleva tarkoittaa sitä, että kantavan rakenteen palonkestävyyden (perustuen rakenteen materiaaliominaisuuksiin ja/tai rakenteen suojaukseen) ollessa riittävä kestävä oletetun /mitoitettavan palon (esim. R60) rasitukset sortumatta, sortumattomuuden vaatimus täyttyy. Tilastollisesti nämä mitoitettavan palon rajat kuitenkin rajallisessa määrin ylitetään, jolloin voi seurauksena olla paikallinen sortuma. Tästä mahdollisesti seuraavan jatkuvan sortuman todennäköisyyden tulee olla hyvin pieni verrattuna paikalliseen sortumaan, jotta vältetään suurilta tuhoilta. Koska sortumattomuus ei voi toteutua täydellisesti, on tarpeen määrittellä kriteerit (=todennäköisyydet), joita käyttäen voidaan ylläpitää hyväksyttyä turvallisuustasoa.

4.3 Yksinkertaistettu sortumattomuuden arviointi

Tässä esitettävä yksinkertaistettu arviointi perustuu tutkimusraportin VTT-R-07556-10 [1] tapahtumapuuhun ja lukuarvoihin sisältäen arviointeja lähtöarvojen tarkentamisesta.

Asuinrakennuksen kerrosalaksi oletetaan tässä 3000 m² (8 kerrosta ja vajaa 400 m² kerrosta kohti). Syttymien ja sortuman olosuhteiden todennäköisyydet ovat seuraavat:

- Palon syttymisen todennäköisyys on $6,59 \times 10^{-6}$ 1/m²a [1]
- Sortuman olosuhteiden todennäköisyyden arvio syttymää kohti on K₂60 - tapauksessa $4,13 \times 10^{-3}$ ja K₂30 + sprinklaus -tapauksessa $3,72 \times 10^{-3}$ [1]

Näistä seuraavat 3000 m²:n rakennuksessa sortuman olosuhteiden todennäköisyydet ja toistumisvälit seuraavasti:

- K₂60: $8,2 \times 10^{-5}$ 1/a; toistumisväli 12 200 vuotta
- K₂30 + sprinklaus: $7,4 \times 10^{-5}$ 1/a, toistumisväli 13 500 vuotta.

Seuraavassa analysoidaan eri tekijöiden todennäköisyyksiä (**lihavoituna VTT-R-07556-10 -raportissa [1] käytetyt arvot/vaihteluvälit**) ja eri arvojen merkityksiä kerrostalon ennustetun sortuman toistumisvälin kannalta:

- Palon havaitseminen (palovaroitin, aistinvarainen) - jos ei havaita, ei alkusammutusta eikä kutsuta palokuntaa (tämä on yksinkertaistetusti oletettu koko palon ajan yli integroituna suhteellisena arvona ilman aikariippuvuutta)
 - **0,75 - 1,0**
 - 0,75 kriittisempi arvo
 - Arvon 0,9 käytön vaikutus lopputulokseen: + 140 % (sortuman toistumisväli kasvaa)
 - Arvon 0,95 käytön vaikutus lopputulokseen: + 340 %
 - Arvon 0,99 käytön vaikutus lopputulokseen: + 1300 % (noin 14 kertaa suurempi)
 - Hyvin herkkä parametrin muutoksille

⇒ Olisiko syytä käyttää arvoa 0,95? Tämä tarkoittaa sitä, että kerrostalon paloa ei millään tavalla havaita 5 %:ssa tapauksia noin ensimmäisen tunnin aikana. Tämä lienee realistisempi arvio kuin se, että 25 % tapauksista jää havaitsematta.
- Alkusammutus onnistuu
 - **0,1 - 0,2**
 - 0,1 kriittisempi arvo
 - Arvon 0,2 käytön vaikutus lopputulokseen: + 0,3 %
 - Hyvin epäherkkä
- Automaattinen sammutus (jos on) saa palon hallintaan
 - **0,9 - 0,97**
 - 0,9 kriittisempi arvo
 - Arvon 0,95 käytön vaikutus lopputulokseen: + 76 %
 - Arvon 0,97 käytön vaikutus lopputulokseen: + 150 %
 - Melko herkkä: Automaattisen sammutuksen epäonnistumisten puoliintuminen (50 % lasku) vähentää sortumia 43 %
- Palon tukahtuminen itsestään
 - **0,3 - 0,74**
 - 0,3 kriittisempi arvo
 - Arvon 0,1 käytön vaikutus lopputulokseen: - 22 % (sortuman toistumisväli lyhenee)
 - Epäherkkä: Tukahtumalla sammumisen todennäköisyys pienenee kolmanteen osaan (67 %), mutta sortumat lisääntyvät vain 22 %
- Pelastuslaitos sammuttaa palon tai oleellisesti rajoittaa palon intensiteetin palavassa osastossa (noin puolessa tunnissa paikalle saapumisesta)
 - **0,99**
 - Arvon 0,95 käytön vaikutus lopputulokseen: - 10 %
 - Epäherkkä: Sammutuksen epäonnistuminen viisinkertaistuu, mutta sortumat lisääntyvät vain 10 %
- Suojaverhouksen toimivuus
 - **Esim. 2,3 %:ssa** tapauksista ekvivalentti palonkesto aika ylittyy

- Ylittävien tapausten määrän kaksinkertaistamisen vaikutus lopputulokseen: - 50 %
- Ylittävien tapausten määrän nelinkertaistamisen (palokuorman nimellisjakauman käyttö ja ekvivalentin menetelmän mahdollisen 40 %:n mitoitusarvon aliarvioinnin huomioon ottaminen) vaikutus lopputulokseen: - 77 %
- Herkkä: Suojaverhouksen pettämisen todennäköisyyden kaksinkertaistuminen kaksinkertaistaa sortumien todennäköisyyden
- Hiiltymisen alku sprinklausesta huolimatta
 - 1 %:ssa tapauksista ekvivalentti palonkesto-aika ylittyy
 - Arvon 4 % (Eurokoodin sprinklausoletus) käytön vaikutus lopputulokseen: - 27 %
 - Epäherkkä: Hiiltymisen alkamisen todennäköisyyden nelinkertaistaminen lisää sortumia 27 %.

Jos edellä olevien arvioiden pohjalta tehdään seuraavia muutoksia laskennan alkuarvoihin

- palon havaitseminen (tunnin aikana): käytetään arvoa 0,95 arvon 0,75 sijasta
- automaattinen sammutus saa palon hallintaan: käytetään arvoa 0,95 arvon 0,90 sijasta
- palo tukahtuu itsestään: käytetään arvoa 0,1 arvon 0,3 sijasta
- pelastuslaitos onnistuu palon sammuttamisessa: käytetään arvoa 0,95 arvon 0,99 sijasta
- ekvivalentti palonkesto-aika ylittyy: nelinkertaistetaan, seuraa sortuman toistumisväliin 25 % kasvua, eli 12 200 vuotta muuttuu 15 200 vuodeksi ja 13 500 vuotta muuttuu 16 900 vuodeksi. Vastaavasti, jos edellisen listan muutokset käytetyissä arvoissa tehdään lukuun ottamatta automaattisen sammutuksen onnistumisen arvoja, saadaan seuraavat muutokset sortumisen toistumisväleissä: 12 500 vuotta → 8700 vuotta; 13 500 vuotta → 9600 vuotta.

Edellä olevat tulokset ovat selvästi turvallisella puolella olevia, koska on oletettu kantavan puurakenteen hiiltymisen alkamisen johtavan väistämättä sortumaan 60 minuutin palorasitusta vastaavassa tilanteessa (tapaukset 'suojaverhouksen toimivuus' ja 'hiiltymisen alku sprinklausesta huolimatta'). Tämä oletus liioittelee käytännön tilannetta: ensiksikin hiiltymän alettua ei ole kovinkaan todennäköistä, että rakenne sortuisi välittömästi. Esimerkiksi värähtelyn vaatimukset täyttävällä kantavalla välipohjalla, jonka suojauksena on 2 x 13 mm kipsilevy (puupalkit 51x400 k400 + yläpuolella pintabetoni), sortuminen tapahtuu Eurokoodin laskennan mukaan vasta 85 minuutin jälkeen. Tähän tulokseen päädytään vaikka suojaavan kerroksen paksuus on vain noin kaksi kolmasosaa 60 minuutin palorasituksen vaatimasta suojaverhouksen paksuudesta. Ajan mittaan sortuman todennäköisyys toki kasvaa, mutta lisää-aika tuo mahdollisuuksia sekä sammuttaa palo että tietyin edellytyksin hiiltymisen voi itsestään pysähtyä ja näin vältetään sortuma. Hiiltymisen pysähtymisen voi aiheuttaa esimerkiksi palo-osaston aukkojen avautuminen suuremmiksi, jolloin hiiltyvät rakenteet alkavat jäähtyä.

Ehdotetuilla suojausvaihtoehdoilla asuinpuukerrostalossa (kerrosala korkeintaan 3000 m²) voi tapahtua paikallinen sortuma suuruusluokaltaan noin 10 000 vuoden

välein. Saman kerrosalan toimistorakennuksessa sortuman toistumisväli on 1,5 - 2 -kertainen asuinrakennukseen verrattuna, eli siis 15 000 - 20 000 vuotta.

4.3.1 Sortuman toistumisvälin laskenta

Kerrostaloasunnoissa on asunto-alaa keskimäärin lähes 60 m²/asunto ja kerrospinta-alaa yhteensä lähes 90 × 10⁶ m². Tästä seuraa (käyttäen syttymisen todennäköisyyttä tilastoista ja arvioitua syttymää kohti seuraavaa sortumisen olosuhteiden todennäköisyyttä), että koko Suomen asuntokerrostalokannassa voisi olla korkeintaan noin 2,5 paikallisen sortuman olosuhteisiin johtavaa tapahtumaa vuosittain [3]. Käytännössä tämä tarkoittaa tapauksia, joissa ei jouduta varsinaiseen sortumaan, mutta paikallisesti on tarve korjata kantava rakenne.

Kuinka moni tällainen paikallinen sortuma aiheuttaa hengenvaaran rakennuksen asukkaille, ja kuinka monelle?

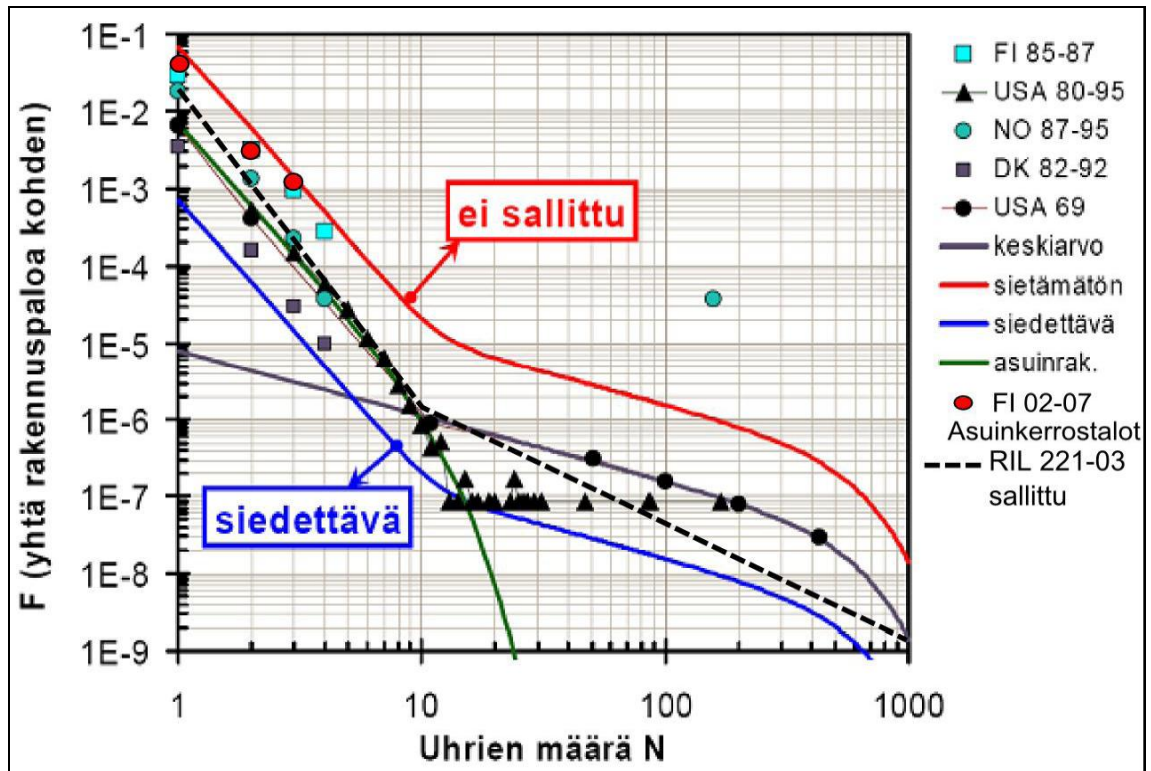
- Palo-osaston asukkaille ei aiheudu vaaraa enää sortumasta, koska olosuhteet ovat olleet jo paljon ennen sortumisen vaaraa sellaiset, että selviytyminen palo-osaston sisäpuolella on mahdotonta.
- Alapuoliset palo-osastot: Valtaosassa (noin 75 %) suomalaisia asuntoja asuu korkeintaan kaksi henkilöä, joten oletusarvona alle 2 henkilöä keskimäärin altistuu vaaralle alapuolisessa huoneistossa. Huoneistossa ei olla koko aikaa, mutta välillä lukumäärä voi olla myös suurempi.
- Viereiset palo-osastot: Alle 2 henkilöä huoneistoa kohti keskimäärin.
- Yläpuoliset palo-osastot: Alle 2 henkilöä keskimäärin.

Paikallisen sortuman ei voida olettaa etenevän samanaikaisesti yläpuolelle, alapuolelle ja kaikille sivuille, vaan oletettavaa on, että sortuma tapahtuu vain yhteen suuntaan. Kaikki palo-osaston vaipan osat eivät sorru samanaikaisesti, vaan esimerkiksi välipohja pettää. Oletettavaa on myös, että sortuman alkaessa lähimpien palo-osastojen (huoneistojen) asukkaat (tai ainakin melkein kaikki) ovat joko poistuneet itse tai heidät on pelastettu. Tällöin paikallisessa sortumassa hengenvaaraan joutuvien henkilöiden määrän turvallisella puolella olevana likiarviona voidaan käyttää yhdessä huoneistossa keskimäärin asuvien henkilöiden määrää (1,9 tällä hetkellä).

Verrataan seuraavaksi osastoinnin pettämisen ja rakenteiden sortumisen todennäköisyyksiä. VTT Tiedotteita 2253:n [9] mukaan esimerkkinä käytetyssä kerrostalossa todennäköisyys, että yhtä syttyvää paloa kohti tuli leviää yläpuoliseen asuntoon, on 0,0025 betonisen julkisivun tapauksessa. Tämä tarkoittaa 1,6 kertaa yleisempää esiintymisen todennäköisyyttä kuin sortuman olosuhteiden muodostuminen (todennäköisyys 0,004 syttymää kohti).

4.3.2 F-N käyrien käyttö

Kuvassa 8 (F-N-käyrästä) on esitetty eri maiden tilastoihin perustuvia lukuja palokuoleman vaaralle altistuvien määrästä vuositasolla. Kuvassa on eriteltyä Suomessa asuinkestoaloissa tapahtuneet palokuolemat vuosilta 2002-2007 onnettomuustietokanta PRONTO:n mukaan. Asuinkestoaloissa paloja oli tuona aikana yhteensä 2979 (joissa pelastuslaitos paikalla), josta saadaan keskiarvoksi 596 paloa per vuosi. Taulukossa 6 on esitetty yksi- ja moniuhristen palojen lukumäärät.



Kuva 8. Uhrien lukumäärä rakennuspaloa kohti [10-12]. Kuvaan lisätty asuinkerrostalojen palot 2002-2007 (FI 02-07) sekä RIL 221-2003 -oppaan [13] sallittu raja skaalattuna rakennuspaloa kohti (RIL 221-03).

Kuvasta 8 havaitaan, että todellisten tapahtuneiden onnettomuuksien todennäköisyyksiä ei löydy kuvaan piirretyn siedettävä -rajan alapuolelta. Tätä rajaa voidaan siten pitää käytännössä rajana, jota pienempää todennäköisyyttä ei yhteiskunnassa yleensä vaadita (jos ei ole ryhdytty mihinkään korjaaviin toimenpiteisiin tilanteen muuttamiseksi). Sallitun rajan ei välttämättä tarvitse olla aivan siedettävän rajan mukainen, koska tilastoarvoissa voi olla mukana myös arvoja, jotka seuraavat vakavista laiminlyönneistä turvallisuuden suhteen. Kuvan 8 arvoja tulkittaessa tulee myös muistaa se, että eri maiden arvoihin sisältyy varsin erilaisia taustatekijöitä, mm. kulttuuriperustaisia.

Taulukko 6. Uhrien lukumäärä kerrostaloasuntopaloa kohden PRONTO 2002-2007 tietojen pohjalta.

| Uhreja | Lukumäärä | Lukumäärä/vuosi | Lukumäärä/asuntopalo |
|--------|-----------|-----------------|----------------------|
| 1 | 124 | 24,8 | 0,041625 |
| 2 | 9 | 1,8 | 0,003021 |
| 3 | 4 | 0,8 | 0,001343 |
| 4 | 0 | 0 | 0 |

Taulukko 7. Suurin sallittu uhrien määrä eri esiintymistiheyksillä.

| F (yhtä rakennuspaloa kohden) | Uhreja | | |
|-------------------------------------|-------------|--------------|------------|
| | Ei-sallittu | Sallittu-RIL | Siedettävä |
| 1,00E-02 | 1,7 | 1,11 | - |
| 1,00E-03 | 3,3 | 1,97 | - |
| 1,00E-04 | 6,3 | 3,50 | 1,8 |
| 1,00E-05 | 14 | 6,22 | 3,3 |
| 1,00E-06 | 161 | 13,1 | 6,3 |
| 1,00E-07 | 644 | 60,8 | 13,9 |
| 1,00E-08 | - | 282 | 161 |

Taulukossa 7 on esitetty kuvan 8 ei-sallittujen ja siedettävän käyrän arvot (uhrien lukumäärät) todennäköisyyksien arvoilla 0,01, 0,001, jne. ja taulukossa 8 yksi- ja moniuhristen tapausten sallitut ja siedettävät arvot.

Taulukko 8. Suurin sallittu esiintymistaajuus eri uhriluvuilla

| Uhreja | F (yhtä rakennuspaloa kohden) | | |
|--------|-------------------------------|--------------|------------|
| | Ei-sallittu | Sallittu-RIL | Siedettävä |
| 1 | 4,25E-02 | 1,50E-02 | 4,88E-04 |
| 2 | 6,21E-03 | 9,38E-04 | 6,34E-05 |
| 3 | 1,50E-03 | 1,85E-04 | 1,45E-05 |
| 4 | 5,23E-04 | 5,86E-05 | 4,98E-06 |
| 5 | 2,16E-04 | 2,40E-05 | 2,24E-06 |
| 10 | 2,13E-05 | 1,50E-06 | 2,07E-07 |
| 100 | 1,52E-06 | 4,74E-08 | 1,50E-08 |

Syttymää kohti lasketusta sortuman todennäköisyydestä 4×10^{-3} ja RIL:n ohjeen [13] mukaisesta sallitusta rajasta seuraa se, että yhtä paikallista sortumaa kohti sallittaisiin keskimäärin 1,5 uhria. Taulukon 7 avulla voidaan päätellä, että kahden uhrin tapauksia saisi olla sortumaa kohti 0,23 (eli kaksi uhria noin joka neljännen sortuman yhteydessä). Vastaavat luvut kolmelle uhrille ovat 0,046 (joka 22. sortuma) ja kymmenelle uhrille 0,00038 (joka 2700. sortuma).

Näistä luvuista voidaan päätellä, että paikallisen sortuman henkilöturvallisuudelle aiheuttamien seurausten todennäköisyys on tällä hetkellä käytännössä hyväksyttävällä tasolla (palo leviää noin tunnin jälkeen joko yläpuolelle, alapuolelle tai sivulle; kerrostalotasunnossa keskimäärin 1,9 asukasta ja paikallaolon todennäköisyys korkeitaan 0,8, jolloin hengenvaaralle altistuu keskimäärin 1,5 henkilöä).

Jatkuvan sortuman alkaminen välittömästi paikallisen sortuman seurauksena nostaisi hengenvaaralle altistuvien määrän suuruusluokaltaan helposti kymmenkertaiseksi. Tästä syystä jatkuvan sortuman todennäköisyys tulee asettaa noin kolme - neljä kertalukua pienemmäksi kuin paikallisen sortuman. Siis, jos paikallisen sortuman olosuhteiden todennäköisyys on 4×10^{-3} , tulisi jatkuvan sortuman olosuhteiden todennäköisyyden rakennuspaloa (kerrostalo) kohti olla 4×10^{-7} - 4×10^{-6} , eli suuruusluokaltaan yksi miljoonasta. Tämä tarkoittaisi kerrostalon laajamittaista sortumaa Suomessa noin 1700 vuoden välein (kun

oletetaan kerrostalopalojen pysyvän nykyarvossa 600 paloa vuodessa), tai yhtä rakennuksen sortumaa vuodessa noin 8,8 miljardin populaatiossa (jolla sama asumismuoto ja jakauma sekä turvallisuustaso kuin Suomessa).

4.3.3 Sortumisen todennäköisyys - turvallisuus eri aikajaksoina

Seuraavassa kantavien rakenteiden suojaus on oletettu toteutetun joko rakenteellisella 60 minuutin suojauksella tai tätä vastaavalla sprinklauksen ja rakenteellisen suojauksen yhdistelmällä.

Palon alkuvaiheessa (0 - noin 30 min) henkilöturvallisuuden riskit johtuvat pelkästään palon kehittymisestä ja sen mahdollisesta leviämisestä ikkunoiden ja ovien kautta palo-osastosta toiseen. **Kantavilla rakenteilla ei ole mitään osuutta henkilöturvallisuuteen eikä omaisuuden turvaan.**

Suunnilleen **ajanjaksolla 30 - 60 minuuttia** kantavien rakenteiden vaikutus henkilöturvallisuudelle ja omaisuusvahingoille alkaa kasvaa hitaasti nollasta päätyen siihen, että jakson lopussa syttymää kohti **sortuman olosuhteiden todennäköisyys on kasvanut arvoon noin 4×10^{-3} .**

- Seurauksena voi olla paikallinen sortuma, jolloin hengenvaaraan joutuu 1- 2 henkilöä, jos he eivät ole poistuneet tai pelastettu (tämä on RIL 221-2003 -oppaan [13] sallimissa rajoissa).
- Aikaskaala paikalliselle sortumalle on noin tunnista eteenpäin. Esim. kantavalla välipohjalla suojauksena 2 x 13 mm kipsilevy (puupalkit 51x400 k400 + yläpuolella pintabetoni) sortuminen tapahtuu Eurokoodin laskennan mukaan vasta 85 minuutin jälkeen. Näin on, vaikka palorasitus jatkuisi standardipalokäyrän mukaisena kasvavana rasituksena ja suojausta on vain noin kaksi kolmasosaa 60 minuutin vaatimasta suojaverhouksesta.
- Kaikkien sellaisten tapausten, joiden olosuhteet ovat riittävät sortumalle (määräysten minimitaso), ei voida olettaa johtavan itse sortumaan (ei paikalliseen, eikä etenäkään jatkuvaan sortumaan). Yli kaksikerroksisten asuinrakennusten varsinaisten sortumien todennäköisyyden havaittua (tilastoitua) rakennuspaloa kohti voidaan arvioida olevan suuruusluokaltaan 10^{-3} Suomen nykyisten rakentamismääräysten vaatimustason mukaan toteutettuna.

Jatkuvan sortuman todennäköisyyden tulee olla 10^{-3} - 10^{-4} kertaa paikallisen sortuman todennäköisyys, jotta kuvassa 8 esitetty RIL 221-2003 -oppaan mukainen sallittu taso kymmenen (tai useamman) uhrin tapaukselle toteutuu.

4.3.4 Vertailu kansainvälisiin riskitasoihin ja ehdotus raja-arvoiksi

Kuvassa 9 on verrattu eri maiden siedettävien ja ei-sallittujen riskirajojen suosituksia koskien onnettomuuksia tai rakennuspaloja [13-16]. Suuri osa arvoista ei koske erityisesti paloturvallisuutta vaan esimerkiksi prosessiteollisuuden henkilöriskejä yleisesti.

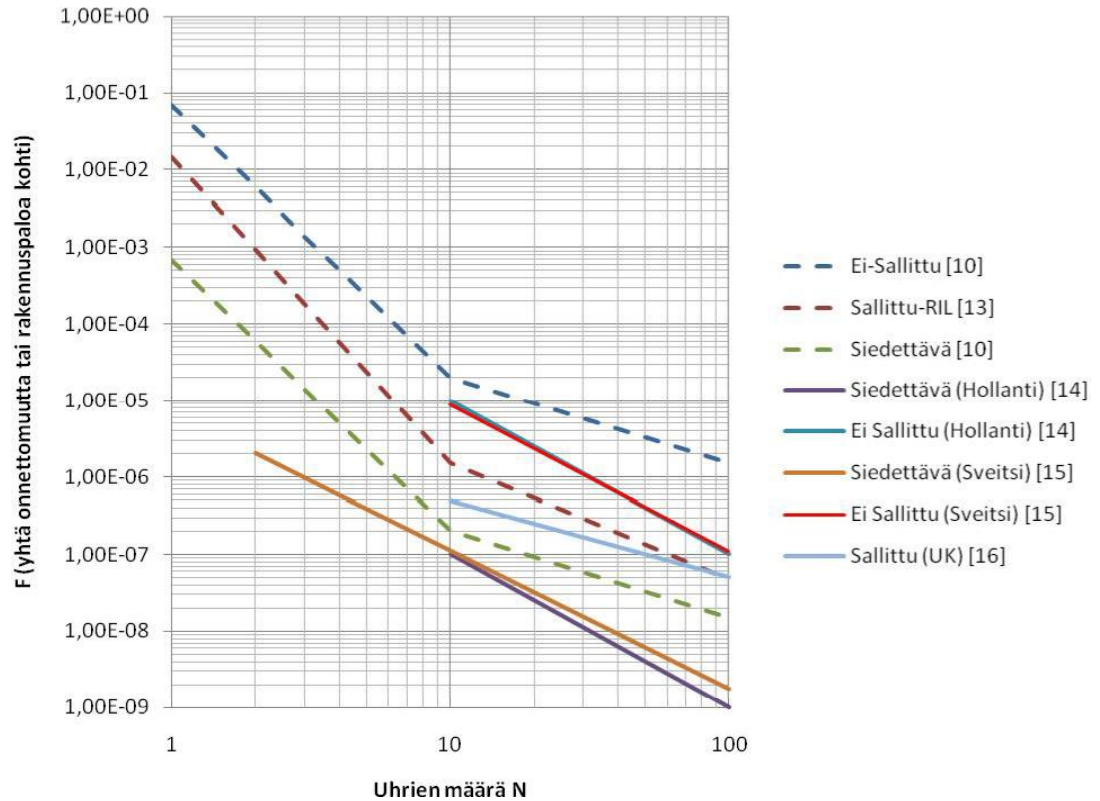
Yhden tai usean uhrin palokuolemaan johtavan onnettomuuden todennäköisyys yhteiskunnan yleisen hyväksyttävyyden kannalta Suomessa RIL 221:n mukaan:

- 1 uhri: noin $1,5 \times 10^{-2}$

- 5 uhria: noin 2×10^{-5}
- 10 uhria: noin 1×10^{-6} (vertailuna UK: 5×10^{-7})
- 100 uhria: noin 5×10^{-8} (vertailuna UK: 5×10^{-8}).

Palokuolemaan johtavan onnettomuuden todennäköisyys yksilön kannalta (= yksi palokuolema):

- noin 3×10^{-2} rakennuspaloa kohti Suomessa
- noin 2×10^{-5} vuotta kohti Suomessa (UK: hyväksymisen raja $1,5 \times 10^{-5}$).



Kuva 9. Eri maiden siedettävien/ei-sallittujen riskitasojen vertailua

Edellä oleviin paikallisen ja jatkuvan sortuman uhkakuviiin, palokuolemien F-N -käyriin ja kansainvälisiin riskitasoihin perustuen ehdotetaan hyväksymisrajoiksi asuin- ja työpaikkarakennuksille seuraavia:

- Paikallisen sortuman todennäköisyys syttymää kohti: 10^{-3}
- Jatkuvan sortuman todennäköisyys syttymää kohti: 10^{-6} - 10^{-7} siten, että rakennuksen kerrosluvun kasvaessa neljästä kerroksesta kahdeksaan kerrokseen hyväksymisraja pienenee.

5 Yhteenveto

Suojaverhouksen ja osastoinnin vaatimusten soveltaminen

Suojaverhouksen ja/tai osastoivien rakenteiden soveltamisesta kantavien puurakenteiden suojaamiseen sprinklatuissa ja ei-sprinklatuissa asuin- ja työpaikkakerrostaloissa esitetään seuraavaa:

Sisäpuolinen palo

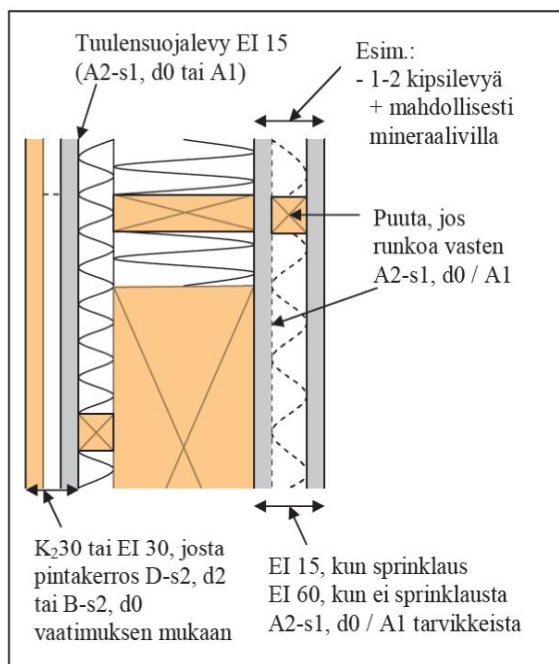
- Sprinklatut 5-8 -kerroksiset rakennukset: K₂30 -suojaverhouksen vaihtoehtona voidaan käyttää EI 15 -osastointivaatimukset täyttävää suojausta, joka on tehty vähintään A2-s1, d0 -luokan tarvikkeista. Tällöin seinien ja kattojen pintojen vaatimuksena on A2-s1, d0. Jos pinnoissa käytetään D-s2, d2 -verhoilua, voidaan suojaus toteuttaa EI 30 -rakenteena seuraavasti: EI 15 (A2-s1, d0) vasten suojattavaa rakennetta + puulevy (EI 15). Tämä perustuu siihen, että puuverhoilun antama lisä suojausaikaan riittää korvaamaan palokuorman kasvamisesta aiheutuvan ylimääräisen suojaustarpeen.
- Ei-sprinklatut 3-8 -kerroksiset rakennukset: K₂60 -suojaverhous (vähintään luokan A2-s1, d0 tarvikkeista) tai vastaava suojaus EI 60 -rakenteilla.

Ulkopuolinen palo

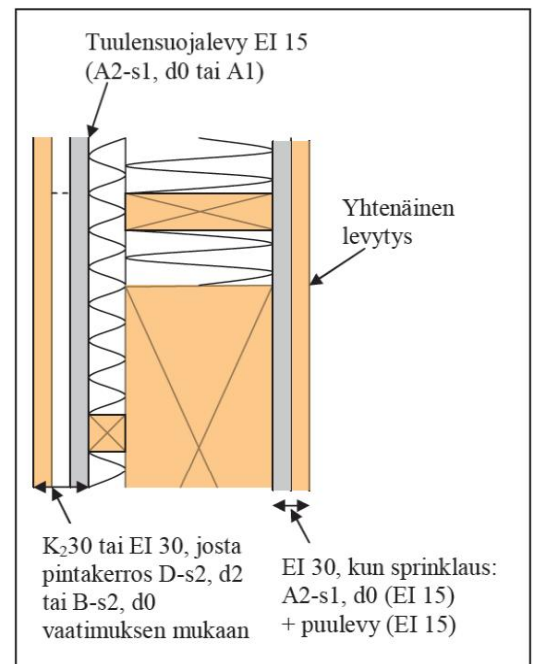
- Sprinklatut 5-8 -kerroksiset rakennukset: suojaustarve vähintään 15 minuuttia. Suojaus voidaan toteuttaa osastoivalla rakenteella tai suojaverhouksen ja muun suojauksen yhdistelmällä: esimerkiksi EI 15 (A2-s1, d0) tai K₂10 (A2-s1, d0) + julkisivuverhous (D-s2, d2/B-s2, d0).
- Ei-sprinklatut 3-8 -kerroksiset rakennukset: suojaustarve 30 minuuttia. Suojaus voidaan toteuttaa joko suojaverhouksella tai osastoivalla rakenteella. Kantavaa rakennetta vasten olevan vähintään luokan A2-s1, d0 tarvikkeesta tehdyn kerroksen tulee suojata vähintään 15 minuuttia. Kokonaissuojausaikaan voidaan laskea julkisivuverhoilu (D-s2, d2/B-s2, d0).

Portaat

- Portaiden, porrassyöksyjen ja -tasanteiden (R30) suojaus voidaan toteuttaa sprinklatuissa rakennuksissa joko K₂10 -suojaverhouksena tai EI 15 -rakenteena ja sprinklaamattomissa rakennuksissa K₂30 -suojaverhouksena tai EI 30 -rakenteena, jos huoneistojen porraskäytävään johtavat ovet eivät ole itsestään sulkeutuvia. Suojauksen tulee olla tehty vähintään luokan B-s1, d0 tarvikkeista. Askelmien ja tasanteiden yläpinnat voivat olla D_{FL}-s1 -luokkaa.



Sprinklattu ja sprinklaamaton - ei puuverhoilua sisälläpinnoilla



Sprinklattu - puuverhoilu sisälläpinnoilla

Julkisivut

Ulkoseinissä käytettävien rakennustarvikkeiden savuntuotto-ominaisuuksien merkitys turvallisuudelle on pienempi kuin sisätiloissa, koska ulkotilassa savu pääsee vapaasti leviämään eikä siten yleensä merkittävästi vaikeuta rakennuksesta poistumista tai vaaranna pelastus- ja sammutustöitä. Ulkoseinien ulkopintojen ja tuuletusraon ulkopintojen savuntuoton luokkavaatimukseksi ehdotetaan pääsääntöisesti s2 enintään 8-kerroksisissa rakennuksissa. Jos jokin rakennustyyppi tai käyttötapa todetaan julkisivun savuntuoton suhteen poikkeuksellisen kriittiseksi, voi luokkavaatimus tällaisessa kohteessa olla s1.

Puujuulkisivun vaikutuksen palon leviämiseen yläpuolella oleviin palo-osastoihin on todettu olevan pieni verrattuna muihin palotilanteeseen liittyviin tekijöihin, joten puun käyttöä julkisivuissa voidaan laajentaa seuraavin ehdoin: Pintakerrosluokan D-s2, d0 rakennustarvikkeiden käyttö ulkoseinissä verhoiluna on mahdollista 4 kerrokseen asti sprinklaamattomissa ja 8 kerrokseen asti sprinklatuissa paloluokkien P1 ja P2 asuin- ja työpaikkarakennuksissa. Sallittuja voivat olla myös sprinklaamattomat 5-kerroksiset rakennukset siten, että ensimmäisessä kerroksessa käytetään ulkoseinissä vähintään luokan B-s2, d0 rakennustarvikkeita ja kerroksissa 2–5 luokan D-s2, d0 rakennustarvikkeita. Paloturvallisuuden varmistamiseksi on kuitenkin huomioitava rakennuksen etäisyys naapurirakennuksiin, palavien kohteiden rajoittaminen ulkoseinän välittömässä läheisyydessä (roska- tai autokatokset, avoin pysäköinti) sekä palon leviämiskäsit parvekkeiden kautta, ullakolle tai yläpohjaan (hallinta rakenteellisin keinoin).

Sortumattomuus - sortumisen hyväksymisrajat

Sortumattomuuden vaatimuksen mukaisuus voidaan osoittaa kokeellisesti, laskennallisesti, yhdistämällä koe- ja laskennalliset tulokset tai käyttämällä hyväksyttävää taulukkomitoitusta. Peruseriaatteena on se, että kantavan rakenteen palonkestävyys (perustuen rakenteen materiaaliominaisuuksiin ja/tai rakenteen suojaukseen) on riittävä kestämään oletetun/mitoitettavan palon (esim. R60) rasitukset sortumatta. Tilastollisesti nämä mitoitettavan palon rajat kuitenkin rajallisessa määrin ylitetään, jolloin voi seurauksena olla paikallinen sortuma. Tästä mahdollisesti seuraavan jatkuvan sortuman todennäköisyyden tulee olla hyvin pieni verrattuna paikalliseen sortumaan, jotta vältytään suurilta tuhoilta.

Ehdotetuilla suojausvaihtoehdoilla (kantavien rakenteiden suojaus on oletettu toteutetun joko rakenteellisella 60 minuutin suojauksella tai tätä vastaavalla sprinklauksen ja rakenteellisen suojauksen yhdistelmällä) asuinpuukerrostalossa (kerrosala korkeintaan 3000 m²) voi tapahtua paikallinen sortuma suuruusluokaltaan noin 10 000 vuoden välein. Saman kerrosalan toimistorakennuksessa sortuman toistumisväli on 1,5 - 2 -kertainen asuinrakennukseen verrattuna, eli siis 15 000 - 20 000 vuotta. Nämä arviot ovat selvästi turvallisella puolella olevia, koska oletettiin kantavan puurakenteen hiiltymisen alkamisen johtavan väistämättä sortumaan.

Palon alkuvaiheessa (0 - noin 30 min) kantavilla rakenteilla ei ole mitään osuutta henkilöturvallisuuteen eikä omaisuuden turvaan.

Suunnilleen ajanjaksolla 30 - 60 minuuttia kantavien rakenteiden vaikutus henkilöturvallisuudelle ja omaisuusvahingoille alkaa kasvaa hitaasti nollasta päätyen siihen, että jakson lopussa syttymää kohti sortuman olosuhteiden todennäköisyys on kasvanut arvoon noin 4×10^{-3} .

- Yli kaksikerroksisten asuinrakennusten varsinaisten sortumien todennäköisyyden tilastoitua rakennuspaloa kohti voidaan arvioida olevan suuruusluokaltaan 10^{-3} Suomen nykyisten rakentamismääräysten vaatimustason mukaan toteutettuna.

Jatkuvan sortuman todennäköisyyden tulee olla 10^{-3} - 10^{-4} kertaa paikallisen sortuman todennäköisyys, jotta suuronnettomuuksien (kymmenen tai useampia uhreja) hyväksyttävän riskin tasoja ei ylitetä.

Hyväksymisrajoiksi asuin- ja työpaikkarakennuksille (3 - 8 kerrosta) esitetään seuraavia:

- Paikallisen sortuman todennäköisyys syttymää kohti: 10^{-3}
- Jatkuvan sortuman todennäköisyys syttymää kohti: 10^{-6} - 10^{-7} siten, että rakennuksen kerrosluvun kasvaessa neljästä kerroksesta kahdeksaan kerrokseen hyväksymisraja pienenee.

Lähdeviitteet

1. Mikkola, E., Karhula, T., Grönberg, P. ja Ryyänen, J. Yksinkertaistetut vaatimukset P2-paloluokan asuin- ja työpaikkakerrostalon palo-osaston kantavien rakenteiden suojaukselle ja toiminnallisen palomitoituksen ohjeiden selkeytys. Tutkimusraportti VTT-R-07556-10.
2. MASSIVTRÄ project. Research report 3.7.2001. VTT.
3. Hakkarainen, T. Post-Flashover Fires in Light and Heavy Timber Construction Compartments. Journal of Fire Sciences, Vol. 20 (2002).
4. Sultan, M.A. Comparisons of temperature and heat flux in furnaces controlled by different type of temperature sensors. Journal of ASTM International, 7, (1), pp. 44-62, January 01, 2010, DOI: 10.1520/JAI102334.
5. Hietaniemi, J. Mitoituspalot. Paloturvallisuussuunnittelijan oppimisympäristö. <http://www.vtt.fi/proj/fise/?lang=fi>.
6. Mikkola, E. Puun hiiltyminen. VTT Tutkimuksia 689, 1990.
7. E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten paloturvallisuus. Määräykset ja ohjeet 2002. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. 40 s.
8. Thureson, P., Sundström, B., Mikkola, E., Bluhme, D., Steen Hansen, A. & Karlsson, B. The use of fire classification in the Nordic countries – Proposals for harmonisation. Borås: SP Technical Research Institute of Sweden, 2008. 73 s. (SP Report 2008:29.)
9. Korhonen, T. & Hietaniemi, J. Puujulkisivujen paloturvallisuus lähiö-kerrostaloissa. Espoo: VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, 2004. 58 s. + liitt. 36 s. (VTT Tiedotteita 2253.)

10. Korhonen, T., Hostikka, S., Keski-Rahkonen, O. & Hietaniemi, J. 2005. Tulipalojen henkilöriskin siedettävän tason arviointi. Palontorjuntatekniikka. Palotutkimuksen päivät 2005.
11. Korhonen, Timo; Hostikka, Simo; Keski-Rahkonen, Olavi. A proposal for the goals and new techniques of modelling pedestrian evacuation in fires. Proceedings of the 8th International Symposium on Fire Safety Science. Beijing, China, 18 - 23 Sept. 2005. Gottuk, D. & Lattimer, B. (eds.). International Association of Fire Safety Science (2005), 557 - 569.
12. RIL 233-2007. Maanalaisten tilojen paloturvallisuussuunnittelu – Perusteet ja soveltamisohjeet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL. 111 s. (RIL 233-2007.) ISBN 978-951-758-471-5.
13. RIL 221-2003. Paloturvallisuussuunnittelu - Oletettuun palonkehitykseen perustuva suunnittelu ja ratkaisuesimerkit. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL. 138 s. (RIL 221-2003.) ISBN 951-758-433-3.
14. VROM (Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer). Dutch National Environmental Plan. The Hague. 1988.
15. BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft). Handbuch I zur Störfallverordnung StFV. Richtlinien für Betriebe mit Stoffen, Erzeugnissen und Sonderabfällen. Bern. 1991.
16. PD 7974-7:2003. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Probabilistic risk assessment. BSI. British Standards 2003.