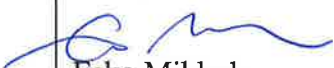






# Yksinkertaistetut vaatimukset P2-paloluokan asuin- ja työpaikka-kerrostalon palo-osaston kantavien rakenteiden suojaukselle ja toiminnallisen palomitoituksen ohjeiden selkeytys

Kirjoittajat: Esko Mikkola, Teemu Karhula, Peter Grönberg ja Joonas Ryyänen

Luottamuksellisuus: Julkinen

<b>Raportin nimi</b> Yksinkertaistetut vaatimukset P2-paloluokan asuin- ja työpaikkakerrostalon palo-osaston kantavien rakenteiden suojaukselle ja toiminnallisen palomitoituksen ohjeiden selkeytys		
<b>Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot</b> Ympäristöministeriö, Jorma Jantunen, PL 35, 00023 VALTIONEUVOSTO Työ- ja elinkeinoministeriö, Reima Sutinen, PL 32, 00023 VALTIONEUVOSTO Sitra, Jarek Kurnitski, PL 160, 00181 Helsinki Metsäteollisuus ry, Mikko Viljakainen, PL 336, 00171 Helsinki	<b>Asiakkaan viite</b> YM16/612/2010  TEM/1192/13.01.01/2010  Sopimus 26.5.2010 Sopimus 6.5.2010	
<b>Projektin nimi</b> Puukerrostalot	<b>Projektin numero/lyhytnimi</b> 71915 / Puukerrostalot	
<b>Raportin laatija(t)</b> Esko Mikkola, Peter Grönberg, Teemu Karhula ja Joonas Ryyänen	<b>Sivujen/liitesivujen lukumäärä</b> 76/8	
<b>Avainsanat</b> Palovaatimukset, kantavat rakenteet, suojaverhous, sprinklaus, toiminnallinen palomitoitus	<b>Raportin numero</b> VTT-R-07556-10	
<b>Tiivistelmä</b> <p>Tutkimuksessa on määritetty kantaville rakenteille ehtoja paloluokan P2 taulukkomitoitusohjeiden laajentamiseksi kahdeksaan kerrokseen asuin- ja työpaikkarakennuksissa. Tarkastelu koskee palokuormaryhmää alle 600 MJ/m<sup>2</sup> ja rakennuksissa voi olla sprinklaus. Vertailutasoina ovat enintään 8-kerroksiset P1-luokan rakennukset ja enintään 4-kerroksiset P2-luokan rakennukset voimassaolevien vaatimusten vähimmäistason mukaan. Tuloksena päädyttiin vaihtoehtoihin tapoihin R60-paloluokan kantavien puurakenteiden suojauksessa: 60 min suojaverhous (3 - 8 kerrosta) tai 30 min suojaverhous ja sprinklaus (5 - 8 kerrosta). Tutkimuksen johtopäätökset pätevät asuin- ja toimistorakennusten palo-osastoille, joiden pinta-ala on korkeintaan 500 m<sup>2</sup>. Kantavien rakenteiden ulkopuolisille osille voidaan suojaverhouksen 60 minuutin vaatimusta pienentää, ei kuitenkaan alle 30 minuutin.</p> <p>Toiminnallisen palomitoituksen ohjeiden ongelmakohtina ovat nousseet esiin suunnittelussa käytettävien lähtötietojen ja menetelmien määrittelyn puute, hyväksymiskriteerien puute, osaamisvaje, suunnittelu- ja rakentamisprosesseihin liittyvien käytäntöjen puute ja paloturvallisuuden hallinta rakennuksen elinkaaren aikana. Näihin aiheisiin liittyen on tehty ehdotuksia selkeämmistä ohjeteksteistä, kriteereistä sekä jatkovalmisteluja vaativista aiheista.</p>		
<b>Luottamuksellisuus</b>	Julkinen	
Espoo 30.9.2010 Laatija	Tarkastaja	Hyväksyjä
 Esko Mikkola Johtava tutkija	 Tuula Hakkarainen Tiimipäällikkö	 Eila Lehmus Teknologiapäällikkö
<b>VTT:n yhteystiedot</b> Johtava tutkija Esko Mikkola, PL 1000, 02044 VTT, esko.mikkola@vtt.fi		
<b>Jakelu (asiakkaat ja VTT)</b> Ympäristöministeriö, työ- ja elinkeinoministeriö, Sitra ja Metsäteollisuus ry Ohjausryhmän jäsenet ja asiantuntijat VTT, Arkisto		
<i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i>		

## Alkusanat

VTT:n toteuttamassa projektissa on määritetty yksinkertaistetut vaatimukset P2-paloluokan asuin- ja työpaikkakerrostalon palo-osaston kantavien rakenteiden suojaukselle ja rajattu tulosten soveltuvuusalue. Projektissa on myös koottu asiantuntijaryhmän avulla toiminnallisen palomitoituksen käytettävyyden parantamiseksi täydentäviä ohjeita ja kriteereitä.

Projektin ohjausryhmään ovat kuuluneet rahoittajina ympäristöministeriö (Jorma Jantunen), työ- ja elinkeinoministeriö (Reima Sutinen), Sitra (Jarek Kurnitski) ja Metsäteollisuus ry (Mikko Viljakainen ja Pekka Nurro) sekä muina jäseninä sisäasiainministeriö (Kirsi Rajaniemi ja Kati Tillander), Rakennustarkastusyhdistys RTY ry (Aimo Nousiainen ja Kirsi Rontu), Finanssialan Keskusliitto (Seppo Pekurinen) ja Kuntaliitto (Hannu Huhtala). Kiitämme kaikkia, jotka ovat osallistuneet tämän projektin tekemiseen, ohjaukseen, asiantuntijoina projektin eri vaiheisiin, rahoitukseen ja sivustatukeen.

Espoo, syyskuussa 2010

Tekijät

## Sisällysluettelo

Alkusanat.....	2
1 Johdanto.....	4
2 Tehtävät, tavoitteet ja rajaukset.....	5
2.1 Yksinkertaistetut vaatimukset P2-paloluokan asuin- ja työpaikkakerrostalon palo-osaston kantavien rakenteiden suojaukselle.....	5
2.2 Toiminnallisen palomitoituksen ohjeiden selkeytys .....	7
3 Yksinkertaistetut vaatimukset P2-luokan puukerrostalon palo-osaston kantavien rakenteiden suojaukselle .....	8
3.1 Lähtötiedot ja perusoletukset .....	8
3.1.1 Palokuormajakauma .....	8
3.1.2 Aukkotekijän jakauma .....	14
3.1.3 Parametrinen lämpötila-aikakäyrä.....	16
3.1.4 Palokäyrien vastaavuus standardipalokäyrän kanssa.....	19
3.1.5 Sprinklauksen vaikutus palokuormaan ja palorasitukseen.....	24
3.1.6 Suojaverhous .....	30
3.2 Tarkasteltavien tapausten laskenta ja tulokset.....	34
3.2.1 Ekvivalentit palonkestoajat – sprinklaamattomat tapaukset .....	34
3.2.2 Palonkestoajat sprinklatuissa tapauksissa.....	39
3.2.3 Tapahtumapuuanalyysi.....	46
3.2.4 Tapahtumapuun antamat ekvivalentin palonkestoajan ylityksen todennäköisyydet.....	48
3.2.5 Tapahtumapuun todennäköisyyksien skaalaaminen todellisilla onnettomuuksilla .....	56
3.3 Turvallisuustasojen vertailu ja yhteenveto.....	61
3.3.1 Tulosten soveltamisalue.....	62
3.3.2 Tulosten luotettavuudesta.....	63
4 Toiminnallisen palomitoituksen ohjeiden selkeytys.....	64
4.1 Toiminnallisen palomitoituksen ongelmakohdat.....	65
4.2 Ohjeet ja kriteerit Suomessa ja muualla.....	66
4.3 Ehdotus ohjeiden ja kriteerien täydentämiseksi .....	71
5 Yhteenveto .....	72
Lähdeviitteet .....	75

Liite A. Tapahtumapuu

Liite B. Ehdotus toiminnallisen palomitoituksen ohjeiden selkeytykseksi

## 1 Johdanto

Vuoden 2009 lopulla ympäristöministeriö asetti puurakentamisen asemaa rakentamismääräyksissä selvittävän työryhmän, jonka tehtävänä on ollut käydä läpi Suomen rakentamismääräykset ja todeta ne asiat, jotka mahdollisesti aiheuttavat aiheutonta haittaa ja siten ylimääräisiä kustannuksia puurakentamisen kannalta. Työryhmä tekee esityksen rakentamismääräysten kehittämiseksi sekä kartoittaa mahdolliset lisäselvitystarpeet.

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.

Hankevalmistelun yhteydessä otettiin esiin myös tarve selkeyttää toiminnallisen palomitoituksen ohjeistusta täydentämällä rakentamismääräyskokoelman osan E1 asiaa koskevia ohjeita ja kriteerejä.

Lähtökohtana tehtävissä ehdotuksissa on, että rakennuksilta ja rakenteilta edellytetty turvallisuus toteutuu yhdenmukaisesti rakennusmateriaalista riippumatta. Näiden ehdotusten teknisten perusteiden tuottamista varten perustettiin tutkimusprojekti, jonka lähtöoletukset ja rajaukset on yksilöity kappaleessa 2.

## 2 Tehtävät, tavoitteet ja rajaukset

Tutkimusprojektin tavoitteeksi asetettiin taustatietojen esittäminen ja perusteltujen ehdotusten tekeminen rakentamismääräyskokoelman osan E1 ohjeiden täydentämiseksi seuraavista aiheista: paloluokan P2 taulukkomitoitusohjeiden laajentaminen koskemaan 5–8-kerroksisia puurakenteisia asuin- ja työpaikkarakennuksia sekä toiminnallisen palomitoituksen ohjeiden selkeyttäminen ja täydentäminen. Seuraavassa näiden tehtävien tavoitteita, rajauksia ja sisältöä kuvataan tarkemmin.

### 2.1 Yksinkertaistetut vaatimukset P2-paloluokan asuin- ja työpaikkakerrostalon palo-osaston kantavien rakenteiden suojaukselle

Tehtävänä on toiminnallisen paloturvallisuusanalyysin menetelmiä hyödyntäen esittää perusteet puurunkoisten (= runkomateriaali vähintään D-s2, d2 -paloluokan mukaista) kerrostalojen (paloluokka P2) paloturvallisuuden vaatimuksille kantavien runkorakenteiden osalta. Tarkasteltavat rakennustyytit ja muut reunaehdot on rajattu seuraavasti:

- Asuin- ja työpaikkarakennukset
- 3–4- sekä 5–8-kerroksiset rakennukset
- Rakennukset ovat joko sprinklattuina tai ilman sprinklausta
- Tarkasteltavana rakennusmääräysten osan E1 mukainen palokuormaryhmä alle 600 MJ/m<sup>2</sup>
- Koko palolle altistunut palokuorma palaa, eikä paloa sammuteta palokunnan toimesta
- Kantavien rakenteiden oletetaan toimivan niin, että rakennus ei yleensä sору palon eikä jäähtymisvaiheen aikana
- Sortumatarkastelut rajoitetaan paikallisen kantokyvyn menetyksen todennäköisyyteen
- Vertailutasot ovat enintään 8-kerroksiset P1-luokan rakennukset ja enintään 4-kerroksiset P2-luokan rakennukset voimassaolevien vaatimusten vähimmäistason mukaan
- Enintään 8-kerroksisessa P1-luokan rakennuksessa tarkastelukohteena ovat R60-vaatimuksen täyttävät rakenteet, jotka ovat vähintään A2-s1, d0 -luokan tarvikkeista tehtyjä.

Tutkimuksen lähestymistapana on keskittyä asuinkerrostalon palo-osaston tarkasteluun hyödyntäen uusimpia palokuormatiheyksien määrityksiä, Eurokoodien laskentamenetelmiä ja arvioiden tulosten epävarmuuksia. Näitä perustarkasteluja laajennetaan toimistorakennuksiin (palo-osaston koko korkeintaan 500 m<sup>2</sup>) ja arvioidaan tulosten soveltuvuutta rakennuksen ulkopuolisiin palotilanteisiin.

Tässä tutkimuksessa sortuminen/kantokyvyn menetyksen mahdollisuus käsitellään kriittisenä palorasituksen olosuhteena, jolle kantava rakenne altistuu. Jos rakenteen tarvikkeet eivät täytä A2-s1, d0 -luokkaa (kuten puu), tämä tarkoittaa sitä, että kantava rakenne on suojattava syttymiseltä ja hiiltymiseltä koko palon ajan. Tässä työssä tutkittavia suojaamisen menetelmiä ovat suojaverhous (minuutiluokkina 10, 30 ja 60 min) ja sprinklaus.

Tutkimuksen tehtävät sisältävät sortumattomuuden (kriittisen palorasituksen olosuhteiden) todennäköisyyksien määrittämiset seuraavissa tapauksissa:

- a) Vertailutaso enintään 8-kerroksisille rakennuksille. Tarkastelukohteena ovat minimissään R60-vaatimuksen täyttävät kantavat rakenteet, jotka ovat vähintään A2-s1, d0 -luokan tarvikkeista tehtyjä. Rakenteiden materiaaleina ovat useimmiten betoni ja teräs, mutta muitakin mahdollisuuksia on.
- b) 5–8-kerroksiset (P2-luokan) puukerrostalot, joita ei sprinklata. Määritetään suojaverhouksen ehdot, joilla sortumattomuuden todennäköisyys on samalla tasolla kuin tapauksessa a).
- c) 5–8-kerroksiset (P2-luokan) puukerrostalot, jotka on sprinklattu. Määritetään suojaverhouksen ehdot, joilla sortumattomuuden todennäköisyys on samalla tasolla kuin tapauksessa a).
- d) Vertailutaso 3–4-kerroksisille P2-luokan puukerrostaloille. Tarkastelukohteena ovat voimassa olevien minimivaatimusten mukaiset kantavat rakenteet sprinklatuissa taloissa. Saatuja tuloksia verrataan tapauksen a) todennäköisyyksiin.
- e) 3–4-kerroksiset P2-luokan puukerrostalot, joita ei sprinklata. Määritetään suojaverhouksen ehdot, joilla sortumattomuuden todennäköisyys on samalla tasolla kuin tapauksessa d).

Käytettyjä menetelmiä ja työn etenemistä voidaan yksinkertaistettuna kuvata seuraavasti hyödyntäen mm. Eurocode 1:n laskentasääntöjä ja ohjeita:

**Lähtötiedot** (palokuormajakaumat, aukkotehijät, sprinklauksen vaikutukset)

→ **Parametriset lämpötila-aikakäyrästöt** + ilmanvaihtotekijät

→ **Ekvivalentit palonkestoaajat**, jotka kuvaavat kantaviin rakenteisiin (vähintään A2-s1, d0 -luokkaisia; suojaamattomia tai suojattuja) tai suojaverhoukseen (kantava puurakenne) kohdistuvaa lämpörasitusta standardipalon rasitukseksi muunnettuna

→ **Kriittisen lämpörasituksen ylittävien tapausten osuudet** vertailutasoilla ja tutkittavissa tapauksissa

→ **Ehdot** suojaverhoukselle ja sprinklaukselle.

Ehdotettavien vaatimusten tulee olla sellaisia, että niitä noudattaen saavutetaan vähintään nykyisten voimassa olevien määräysten minimivaatimusten mukainen turvallisuustaso. Vaatimusten ilmaisussa voidaan käyttää mm. seuraavia termejä ja luokituksia: kantavuus (R), tiiviys (E), eristävyys (I), suojaverhous (K<sub>1</sub> tai K<sub>2</sub>), pintakerrosluokat (esim. D-s2, d2, A2-s1, d0, jne.) ja muita mahdollisia vaatimuksia tarpeen mukaan.

## 2.2 Toiminnallisen palomitoituksen ohjeiden selkeytys

Toiminnallisen palomitoituksen ohjeiden selkeytystä käsittelevä osatehtävä koskee periaatteessa Suomen rakentamismääräyskokoelman (SRMK) osaa E1 kokonaisuudessaan rajoittamatta tarkasteluja esimerkiksi sen mukaan, mihin luokkiin käytettävät rakennustarvikkeet tai rakenteet kuuluvat.

Tavoitteena on toiminnallisen palomitoituksen käyttöön liittyvien tulkintojen oleellinen vähentäminen. Tehtävän toteutukseen kuuluvat seuraavat osat:

- Keskeisten ongelmakohtien listaaminen paloinsinööri-toimistojen avulla
- Muualla käytettyjen ohjeiden ja kriteerien kerääminen taustatiedoksi
- Ehdotuksen laatiminen asiantuntijaryhmässä.



### 3 Yksinkertaistetut vaatimukset P2-luokan puukerrostalon palo-osaston kantavien rakenteiden suojaukselle

Tässä luvussa käsitellään palokuormatiheyksistä ja tilojen aukkotekijöistä lähtien muodostettavien parametrinen palorasitusten muuntaminen standardipalokäyrää vastaaviksi palorasituksiksi. Vertailutasoina käytetään vaatimusten minimitason täyttäviä joko korkeintaan 8-kerroksisia P1-paloluokan rakennuksia tai korkeintaan 4-kerroksisia sprinklattuja P2-paloluokan rakennuksia. Suojaverhousta, ja toisena vaihtoehtona sprinklausta suojaverhouksen täydentäjänä, käytetään estämään kantavien puurakenteiden syttyminen ja hiiltymisen alkaminen.

#### 3.1 Lähtötiedot ja perusoletukset

##### 3.1.1 Palokuormajakauma

Perusoletuksena tehtävissä tarkasteluissa on, että tarkastellaan asuin- (ja työpaikka) rakennuksia ja niiden oletettua palokuormaryhmää alle  $600 \text{ MJ/m}^2$ . Tämä ei tarkoita sitä, etteivätkö palokuormat tässä ryhmässä voisi olla suurempiakin kuin  $600 \text{ MJ/m}^2$ . Asia käsitellään palokuormajakaumina, jotka pohjautuvat todellisuudessa mitattuihin arvoihin. Tämän tutkimuksen johtopäätökset eivät päde palokuormaryhmille  $600 - 1200 \text{ MJ/m}^2$  ja yli  $1200 \text{ MJ/m}^2$ .

Toinen perusoletus on, että sprinklaamattomassa rakennuksessa koko laskennallinen palokuorma voi pahimmassa tapauksessa palaa. Tämän oletuksen takana on se ajatus, että pahimmassa tapauksessa paloa ei yritettäisi millään tavalla sammuttaa, ei omatoimisesti eikä palokunnan toimesta. Laskennallinen palokuorma tarkoittaa tässä kaikkia palo-osastossa olevia palavia materiaaleja, jotka voivat osallistua paloon. Siten esimerkiksi kantavan puurungon osia, jotka on suojattu niin, että ne eivät hiilly koko palon aikana, ei oteta huomioon palokuormana.

Seuraavassa esitetään lyhyesti Suomessa, USA:ssa ja Kanadassa mitattuja asuntojen ja huoneiden palokuormajakaumia, verrataan niitä Eurocode 1:n (EN 1991-1-2:2002) arvoihin sekä esitetään tässä projektissa käytettävä nimellinen palokuormajakauma.

Suomalaisten asuntojen ja huoneiden kuvauksessa käytetään asuntotietokantaa, jonka tiedot on kerätty osana Palokuolemien ehkäisymenetelmien vaikuttavuuden arviointi -projektia (Keski-Rahkonen, O., Karhula, T. & Hostikka S. 2009). Tietokannassa on yhteensä 165 kerrostaloasuntoa ja 864 huonetta, joista ikkunallisia huoneita on 362. Tietokannan asuntojen palokuormatiheydet noudattavat vahvasti Gumbel-jakaumaa ja ikkunalliset huoneet logaritmisista normaalijakaumaa.

Gumbel-jakauman kertymäfunktio:

$$F(x; \mu, \sigma) = e^{-e^{-\frac{x-\mu}{\sigma}}} \quad (1)$$

Logaritmisen normaalijakauman kertymäfunktio:

$$F(x; \mu, \sigma) = \Phi\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right) \quad (2)$$

missä  $\Phi$  on Gaussin virhefunktio.

Tietokannan asuntojen Gumbel-jakaumalle  $\mu = 257 \text{ MJ/m}^2$ ,  $\sigma = 149 \text{ MJ/m}^2$ , ja ikkunallisten huoneiden logaritmiselle normaalijakaumalle  $\mu = 5,58$ ,  $\sigma = 0,856$ .

Holm & Oksanen (Holm, C. & Oksanen, P. 1970) tutkivat jo vuonna 1970 suomalaisten asuntojen palokuormatiheyksiä. Tutkimuksessa 60 % palokuormasta tuli irtaimistosta, mutta tutkimuksessa kaappeja ei laskettu irtaimistoon kuten tässä tutkimuksessa käytetyssä asuntotietokannassa. Myös vuonna 1970 USA:ssa tehdyn tutkimuksen tuloksia (Campbell, J. A. 1981) asuntojen palokuormatiheyksistä käytetään vertailuarvoina tässä tutkimuksessa.

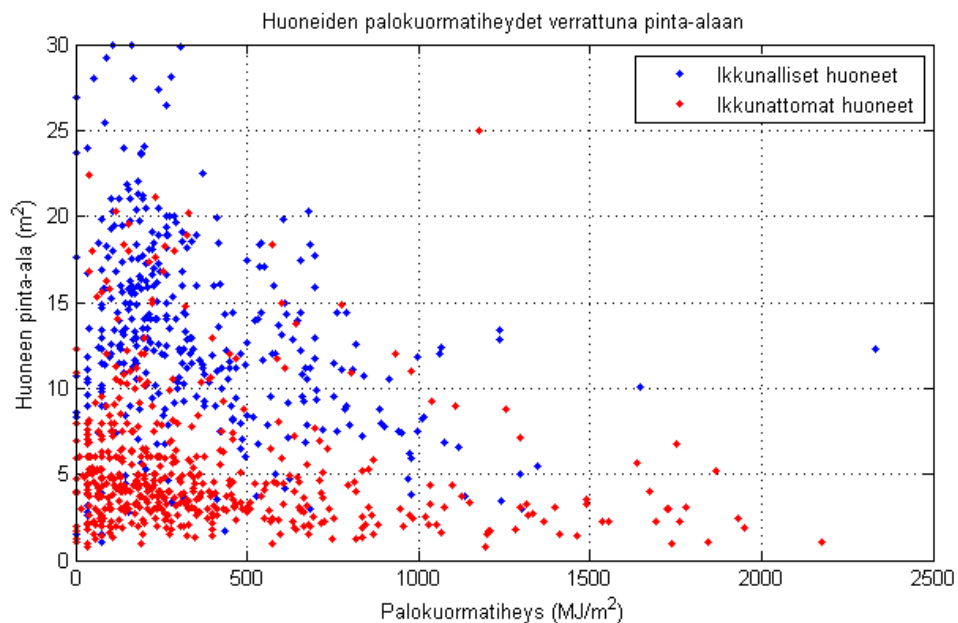
Uudempana vertailukohtana on Kanadassa vuonna 2004 tehty tutkimus (Bwalya, A., Sultan, M. ) asuntojen palokuormatiheyksistä. Tutkimus tehtiin yksinkertaisena kyselynä (tyyliin "kuinka monta sohvaa?") ja se koostui lähinnä omakoti- ja paritaloista sisältäen vain 6 kerrostaloa. Lisäksi siinä otettiin vain irtaimisto huomioon ja vertailtiin vain olohuonetyyppisiä huoneita. Tutkimuksessa käytettiin myös huomattavan korkeita arvoja joidenkin merkittävimpien huonekalujen palokuormille verrattaessa asuntotietokannan keskiarvoihin (taulukko 1).

*Taulukko 1. Palokuormaltaan merkittävimpien huonekalujen vertailu.*

	<b>Kanada 2004</b>	<b>Asuntotietokanta 2010</b>	<b>Ero</b>
<b>Sohva</b>	3000 MJ	700 MJ	-77 %
<b>Nojatuoli</b>	1750 MJ	356 MJ	-80 %
<b>Pöytä</b>	1170 MJ	280 MJ	-76 %

Vertailukohtana olevissa tutkimuksissa tutkittiin kokonaisten asuntojen palokuormatiheyksiä, mutta tässä tutkimuksessa tilannetta tarkennetaan keskittymällä yksittäisessä huoneessa tapahtuvaan paloon. Tämä siitä syystä, että kuhunkin huoneeseen liittyy palokuorman lisäksi aukkotekijät ja vaipan pintojen termiset ominaisuudet.

Asuntotietokannassa suuren palokuormatiheyden huoneista merkittävä osa on hyvin pieniä ( $< 4 \text{ m}^2$ ) ikkunattomia huoneita, esim. vaatehuoneita (kuva 1). Näissä pienissä ikkunattomissa huoneissa palaminen ei suurelta osin tapahdu itse huoneessa vaan siihen liittyvässä viereisessä huoneessa (jossa todennäköisimmin on ulos johtava ikkuna tai ovi). Seuraavassa tarkastellaan ikkunallisten huoneiden tilannetta, koska niissä voidaan olettaa olevan riittävä hapensaanti avoimen tai rikkoutuvan ikkunan kautta johtaen tilanteeseen, jossa kaikki palokuorma palaa loppuun. Palokuorman, joka tulee esim. pienestä ikkunattomasta vaatehuoneesta, voidaan olettaa sisältyvän esitettävään palokuormatiheyden nimellisjakaumaan (nimellispalokuormat ovat suurempia kuin mitatut arvot), kun tilannetta katsotaan koko huoneiston (palo-osaston) kannalta.



Kuva 1. Asuntotietokannan ikkunallisten ja ikkunattomien huoneiden palokuormatiheydet verrattuna pinta-alaan.

Asuntotietokannassa tietojen syöttäjät itse arvioivat asuntojensa palokuormat syöttämällä yksitellen asunnon huonekalut, laitteet, kaapit ym. ja arvioiden niiden painon sekä materiaalin. Siten mahdolliset virheet huonekalujen massan arvioinnissa vääristävät palokuormatiheyksiä jonkin verran. Taulukossa 2 on esitetty muutamien yleisimpien huonekalujen painojen keskiarvot, jotka eroavat merkittävästi *Design Fires for Fire Safety Engineering, VTT Working Papers 139* -julkaisussa (Hietaniemi J & Mikkola E. 2010) esitetyistä arvoista. Tosin esim. sohvien ja pöytien painojen eroavuuksien vaikutus kokonaispalokuormiin voisi olla vain noin viiden prosentin luokkaa.

Taulukko 2. Yleisimpien huonekalujen painojen keskiarvojen vertailu.

	Asuntotietokanta 2010 (paino / osuus irtaimiston palokuormasta)	Vertailuarvo VTT Working Papers 139
<b>Sohva</b>	32 kg / 5,7 %	48-65 kg
<b>Pöytä</b>	18 kg / 4,3 %	24 kg
<b>Kirjahylly</b>	48 kg / 2,9 %	30 kg
<b>Televisio</b>	10 kg / 2,4 %	5 kg
<b>Nojatuoli</b>	15 kg / 1,0 %	41 kg

Verrattaessa palokuormatutkimusten tuloksia Eurocode 1:n arvoihin on huomattava, että Eurocode 1:n lähdetiedoissa palokuormatiheydet oli ilmoitettu suhteessa vaipan pinta-alaan ja muunnettu palokuormatiheydeksi suhteessa lattiapinta-alaan kertomalla palokuormatiheydet luvulla  $5,2 (3,2 \times 4,3 \times 2,9 \text{ m}^3 \text{ huone})$ . Asuntotietokannan huoneiden keskiarvo kertoimelle on 5,13.

Taulukossa 3 on esitetty asuntojen palokuorman nimellisjakauma yhdessä eri mittaustulosten ja Eurocode 1 -arvojen kanssa. Kuvissa 2 ja 3 on esitetty jakaumien kertymä- ja tiheysfunktiot. Nimellisjakauman oletuksena on, että 80 %:n fraktiili on sama kuin rakentamismääräyskokoelman osan E1 asuntojen palokuormaryhmän yläraja  $600 \text{ MJ/m}^2$ . Jakauman muina lähtökohtina (painotuksena) ovat asuntotietokannan asuntojen ja ikkunallisten huoneiden palokuormatiheyksien jakaumat (kuva 4). Lisäksi on huomioitu mahdollisuus, että asuntotietokanta hieman aliarvioi palokuormatiheyksiä ja että ne voivat kasvaa jonkin verran tulevaisuudessa. Nimellisjakauma noudattaa logaritmista normaalijakaumaa ja sen parametrit ovat  $\mu = 5,91$ ,  $\sigma = 0,580$ .

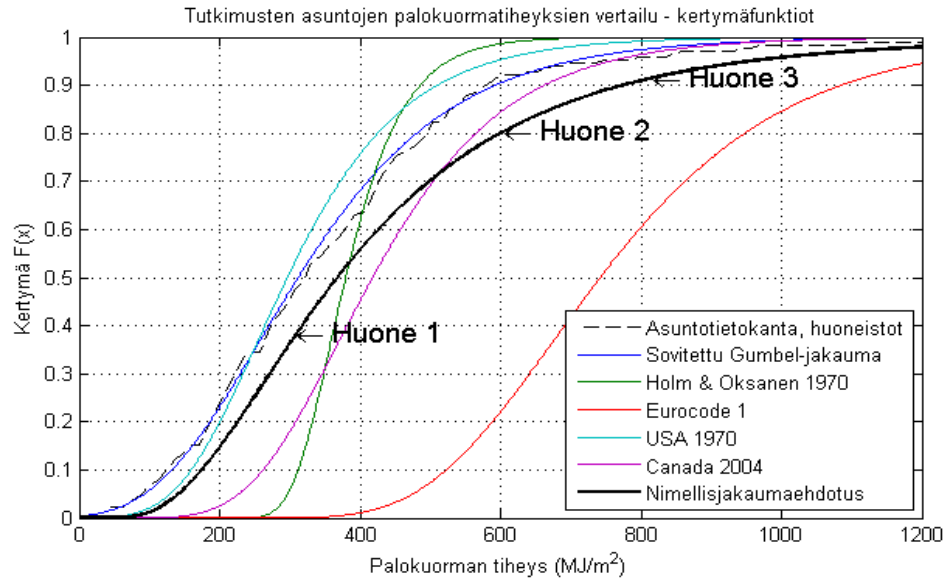
Tässä tutkimuksessa ei ole analysoitu työpaikkatilojen (toimistojen) tämänhetkisiä palokuormatiheyksiä (tietojen puuttuessa). Alkuoletusten mukaan näidenkin tilojen suhteen tutkitaan vain palokuormaryhmää alle  $600 \text{ MJ/m}^2$  (E1:n palokuormaryhmittelyn mukaan). Eurocode 1:n antamat arvot toimistoille (80 %:n fraktiili  $511 \text{ MJ/m}^2$ ) ovat oleellisesti pienempiä kuin asunnoille ( $948 \text{ MJ/m}^2$ ). Sen sijaan runsas kymmenen vuotta sitten kerätty suomalainen aineisto kertoo toimistotilojen palokuormatiheyksien olleen huomattavan korkeita: keskiarvo noin  $1000 \text{ MJ/m}^2$  ja 80 %:n fraktiili  $1270 \text{ MJ/m}^2$  (Korpela 1999).

 Taulukko 3. Asuntojen palokuormatiheyden jakaumien vertailu ( $\text{MJ/m}^2$ ).

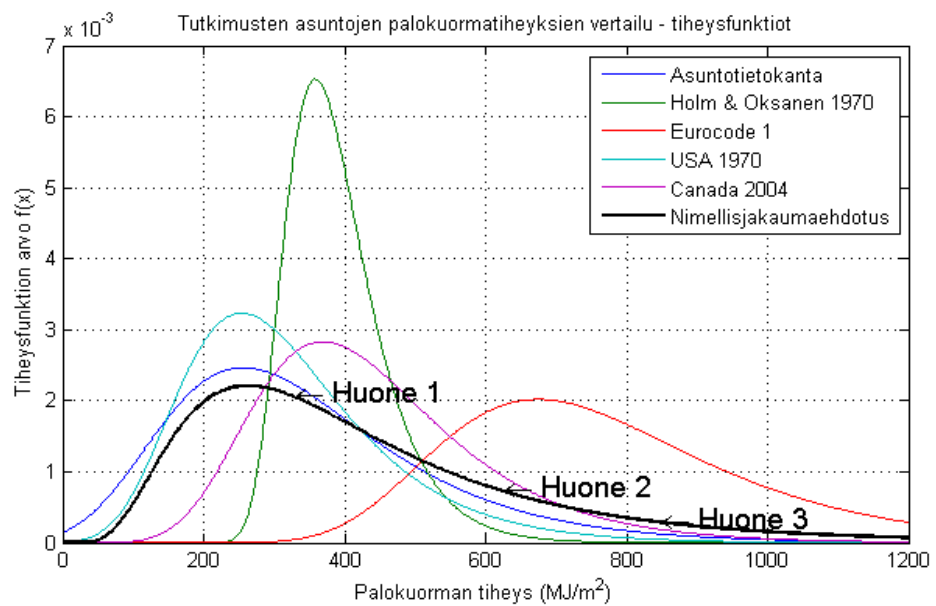
	Keskiarvo	80 % fraktiili
<b>Nimellisjakauma</b>	435	600
<b>Asuntotietokanta 2010 asunnot</b>	348	486
<b>Asuntotietokanta 2010 huoneet</b>	366	579
<b>Kanada 2004</b>	445	565
<b>USA 1970</b>	391	445
<b>Holm &amp; Oksanen 1970</b>	320	425
<b>Eurocode 1</b>	780	948
<b>Eurocode 1 - toimistot</b>	420	511
<b>Toimistot - Korpela 1999</b>	1000	1270

Kuviin 2 ja 3 on merkitty kolme esimerkkihuonetta havainnollistamaan eri palokuormatiheyksien huoneita. Samat huoneet on myös merkitty seuraavien kappaleiden aukkotekijän ja ekvivalentin palonkestoajan jakaumiin (kuvat 5 ja 16). Huoneet ovat pääpiirteiltään seuraavanlaiset:

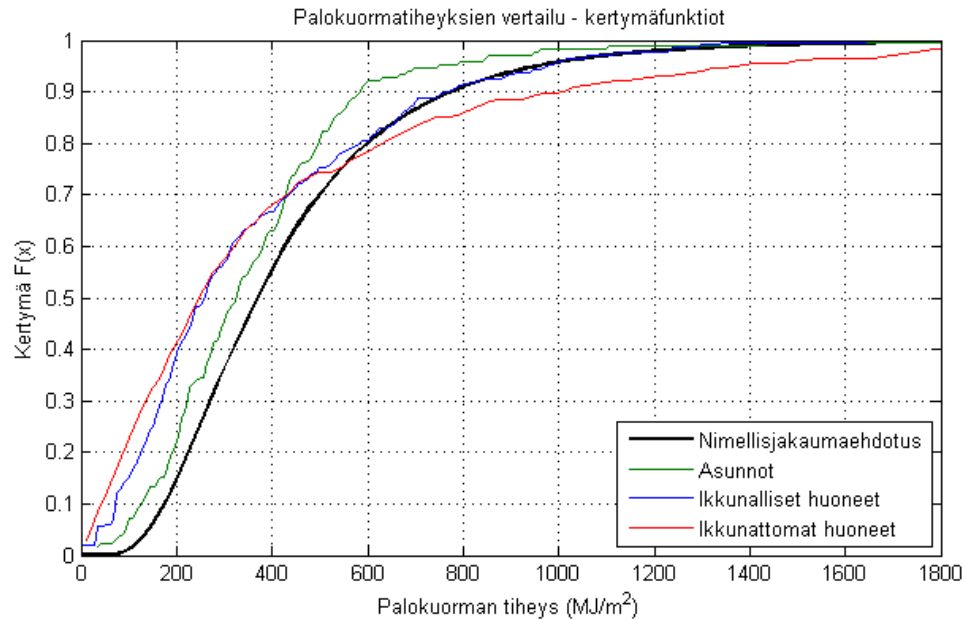
- **Huone 1:** palokuorman tiheys  $310 \text{ MJ/m}^2$ , aukkotekijä  $0,031 \sqrt{m}$ , ilmanvaihtotekijä (ks. 3.1.2) 1,30, ekvivalentti palonkesto aika (ks. 3.1.4) 23 min
  - Olohuone,  $3,8 \text{ m} \times 5,1 \text{ m} = 19,4 \text{ m}^2$ , korkeus 2,6 m
  - 2 ikkunaa, keskimääräinen korkeus 1,2 m, pinta-ala yhteensä  $2,4 \text{ m}^2$
  - Muovimatto, lipasto, vuodevaatteet, sänky, sohva, tuoli, televisio, tietokone, sekalaisia papereita 70 kg
    - Paperit, vuodevaatteet ja sohva muodostavat 64 % palokuormasta
- **Huone 2:**  $607 \text{ MJ/m}^2$ ,  $0,054 \sqrt{m}$ , 0,989, 34 min:
  - Olohuone,  $3,8 \text{ m} \times 5,3 \text{ m} = 20,1 \text{ m}^2$ , korkeus 2,6 m
  - 2 ikkunaa, keskimääräinen korkeus 1,4 m, pinta-ala yhteensä  $4,0 \text{ m}^2$
  - Muovimatto, 2 kirjahyllyä yhteensä 580 kg, sänky, sohva, pöytä, nojatuoli, laatikosto, televisio
    - Painavat kirjahyllyt muodostavat 72 % palokuormasta
- **Huone 3:**  $818 \text{ MJ/m}^2$ ,  $0,076 \sqrt{m}$ , 0,728, 33 min:
  - Makuuhuone,  $3,0 \text{ m} \times 4,2 \text{ m} = 12,6 \text{ m}^2$ , korkeus 2,6 m
  - 2 ikkunaa, keskimääräinen korkeus 1,5 m, pinta-ala yhteensä  $3,9 \text{ m}^2$
  - Parkettilattia, sänky 75 kg, lipasto, kaappi 200 kg, vaatteet 120 kg, vuodevaatteet, pöytä, televisio
    - Kaappi, vaatteet ja sänky muodostavat 67 % palokuormasta



Kuva 2. Asuntojen palokuormatiheyksien jakaumien kertymäfunktiot eri tutkimuksissa verrattuna tämän tutkimuksen nimellisjakaumaan.



Kuva 3. Asuntojen palokuormatiheyksien jakaumien tiheysfunktiot eri tutkimuksissa verrattuna tämän tutkimuksen nimellisjakaumaan.



Kuva 4. Asuntotietokannan asuntojen ja yksittäisten huoneiden palokuormatiheyksien jakaumien vertailu.

### 3.1.2 Aukkotekijän jakauma

Tässä kappaleessa käydään lyhyesti läpi Eurocode 1:ssä määriteltyyn parametriseen lämpötila-aikakäyrään ja ekvivalentin palonkestoajan ilmanvaihtotekijään liittyvä aukkotekijä ja esitetään Asuntotietokanta 2010:n tilastoon perustuen nimellinen aukkotekijän jakauma.

Aukkotekijä on määritelty Eurocode 1:ssä seuraavasti

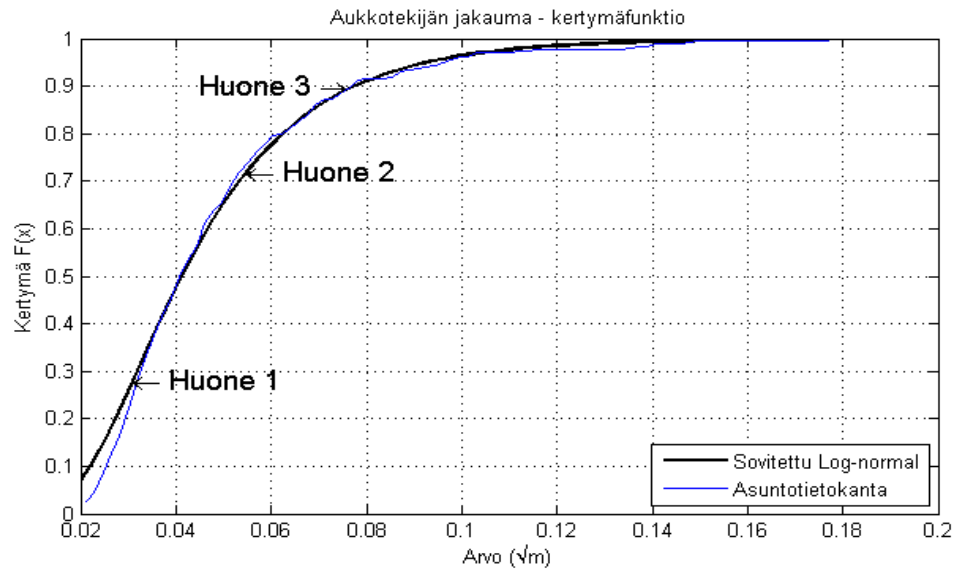
$$O = \frac{A_v \sqrt{h_{eq}}}{A_t} \quad (3)$$

missä:

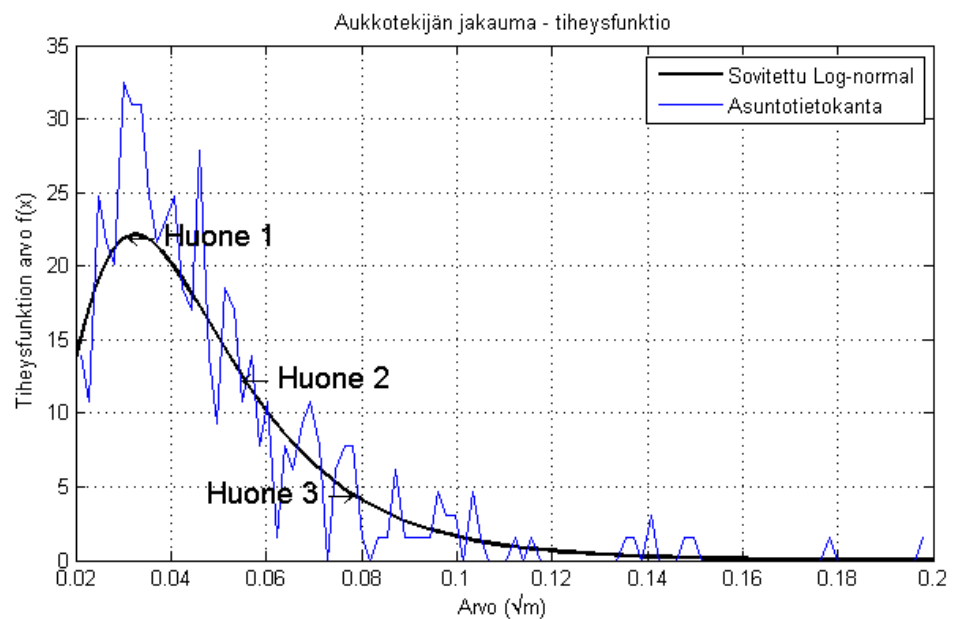
- $O$  on aukkotekijä rajoin  $0,02 \leq O \leq 0,2 (\sqrt{m})$
- $A_v$  on kaikissa seinissä olevien pystyaukkojen kokonaisala
- $h_{eq}$  on ikkunoiden korkeuksien (ikkunan pinta-alalla) painotettu keskiarvo
- $A_t$  on vaipan kokonaispinta-ala (seinät, katto ja lattia, aukot mukaan lukien)

Jakaumaa määriteltäessä aukkotekijä laskettiin kaikille asuntotietokannan kerrostalohuoneille laskemalla kullekin huoneelle  $A_v$ ,  $h_{eq}$  ja  $A_t$ , joista edelleen laskettiin huoneen aukkotekijä. Laskentaa yksinkertaistettiin olettamalla huoneiden kaikki muut aukot kuin ulospäin osoittavat ikkunat (ovet, aukot huoneiden välillä, yms.) suljetuiksi. Koska aukkotekijä muodostuu pääosin usean normaalijakautuneen muuttujan tulo- ja jakolaskuista, sen jakauma noudattaa likimäärin logaritmisista normaalijakaumaa. Kuvissa 5 ja 6 on esitetty aukkotekijän

jakaamaan sovitetun logaritmisen normaalijakauman kertymä- ja tiheysfunktiot. Sovitetun jakauman parametrit ovat  $\mu = -3,187$ ,  $\sigma = 0,492$ . Kuviin merkityt esimerkkihuoneet ovat samat kuin edellisessä kappaleessa, jossa niistä on kerrottu tarkemmin. Aukkotekijän keskiarvot ja 80 %:n fraktiilit on esitetty taulukossa 4.



Kuva 5. Aukkotekijän jakauman kertymäfunktio.



Kuva 6. Aukkotekijän jakauman tiheysfunktio.



Taulukko 4. Aukkotekijän ( $\sqrt{m}$ ) sovitettu jakauma verrattuna Asuntotietokannan jakaumaan.

	Sovitettu jakauma	Asuntotietokanta 2010
<b>Keskiarvo</b>	0,0466	0,0485
<b>80 % fraktiili</b>	0,0625	0,0632

### 3.1.3 Parametrinen lämpötila-aikakäyrä

Edellisten kappaleiden nimellisiin palokuormatiheyden ja aukkotekijän jakaumiin perustuen tässä kappaleessa käsitellään Eurocode 1:n liitteen A mukaisesti määritettyjä parametrisia lämpötila-aikakäyriä.

Aukkotekijän ja palokuormatiheyden lisäksi parametrinen lämpötila-aikakäyrä riippuu tilaa ympäröivästä rakenteesta eli koko vaipan lämmönabsorptiokyvystä ( $b = \sqrt{\rho c \lambda}$ , missä  $\rho$  on tiheys,  $c$  on ominaislämpökapasiteetti ja  $\lambda$  on lämmönjohtavuus). Vaipan oletetaan tässä yksinkertaisuuden vuoksi koostuvan yhdestä materiaalista kerrallaan. Kuvassa 7 on esitetty parametriset lämpötila-aikakäyrät kun ympäröivän rakenteen materiaalina on puu, kipsilevy tai betoni. Jokaisesta materiaalista on piirretty yhteensä 9 eri käyrää käyttäen kolmea eri aukkotekijää ja palokuormatiheyttä, jotka on otettu aiemmin esitellyistä nimellisjakaumista ja esitetty taulukoissa 5 ja 6. Taulukossa 7 on esitetty käytettyjen materiaalien ja vertailuksi kahden materiaaliyhdistelmän termiset suuret (lämmönabsorptiokyvyt). Kuten taulukosta voi nähdä, kaikkien kevyiden materiaalien ja materiaaliyhdistelmien termiset suuret ovat reilusti alle  $720 \text{ J/m}^2\text{s}$ , mistä johtuen kaikilla kyseisillä materiaaleilla ekvivalentin palonkestoajan kaavan vaipan termisten ominaisuuksien muuntokertoimeksi ( $k_b$ ) tulee 0,07.

Taulukko 5. Kuvan 7 käyrissä käytetyt aukkotekijät.

Vaihtoehto	Aukkotekijä	Nimellisjakauman fraktiili
<b>1</b>	0,0365	40 %
<b>2</b>	0,0413	50 %
<b>3</b>	0,0468	60 %

Taulukko 6. Kuvan 7 käyrissä käytetyt palokuormatiheydet.

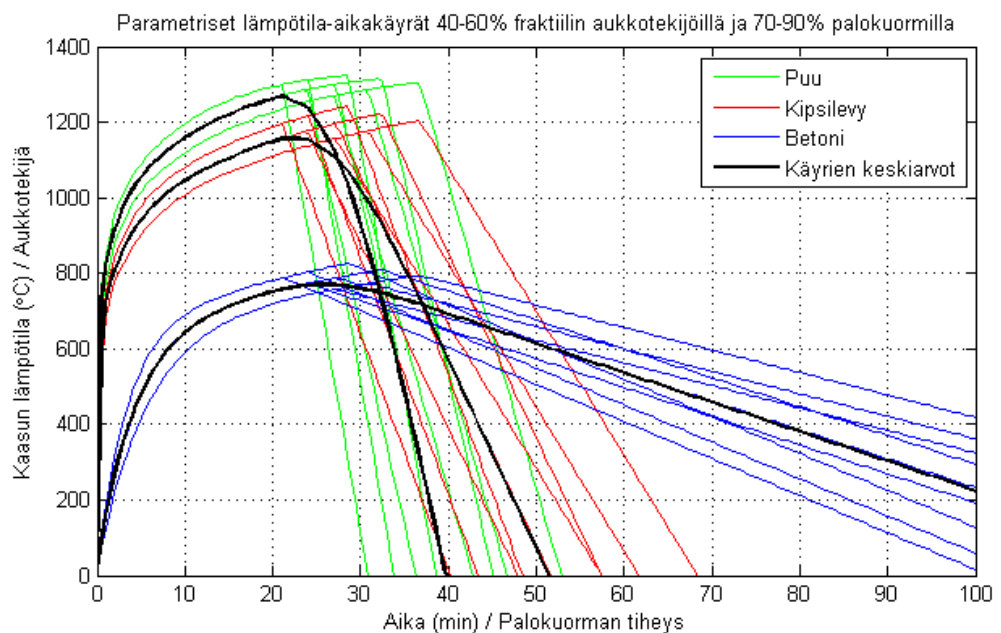
Vaihtoehto	Palokuormatiheys ( $\text{MJ/m}^2$ )	Nimellisjakauman fraktiili
<b>1</b>	528	70 %
<b>2</b>	600	80 %
<b>3</b>	716	90 %

Taulukko 7. Kuvan 7 käyrissä käytettyjen materiaalien ja vertailuna kahden materiaaliyhdistelmän termiset suureet (vaipan lämmönabsorptiokyvyt).

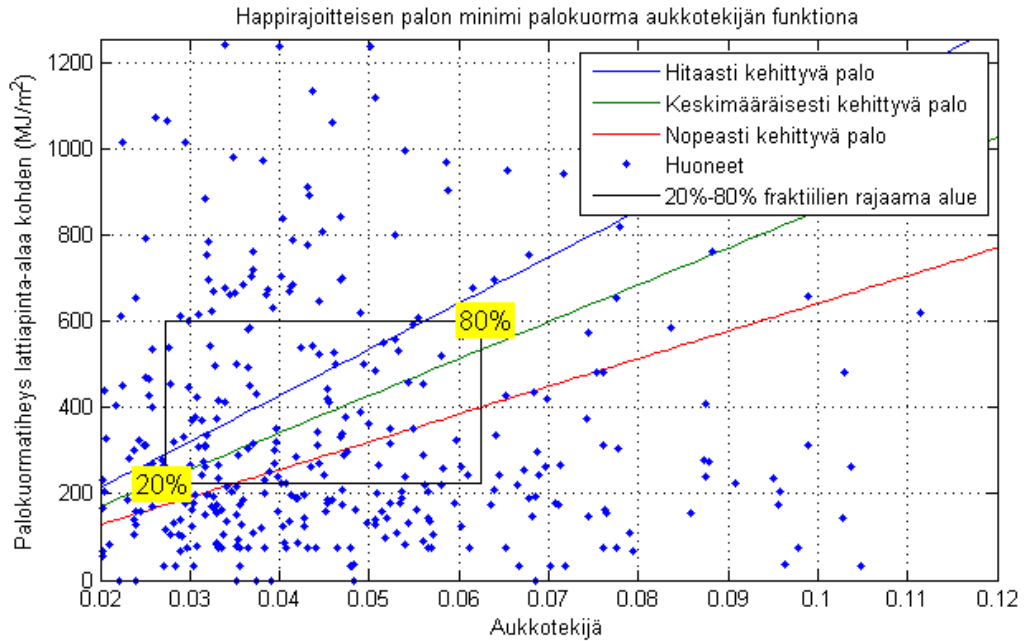
1. kerroksen materiaali	2. kerroksen materiaali	Lämmönabsorptiokyky, $b$ (J/m <sup>2</sup> s)
Puu	-	240
Kipsilevy	-	350
Betoni	-	1400
Puu	Kipsilevy	240 - 350
Kipsilevy 12 mm	Mineraalivilla 50 mm	260

Parametrisissa käyrissä palokuorman tiheys vaikuttaa jäähtymisvaiheen alkamisajankohtaan: mitä enemmän palokuormaa, sitä myöhemmin jäähtymisvaihe alkaa. Aukkotekijä taas vaikuttaa lämpötilaan: mitä suurempi aukkotekijä, sitä korkeampi on kuumenemisvaiheen lämpötila.

Kaikissa kuvan 7 käyrissä palo rajoittava tekijä on hapen saanti. Kuten kuvasta 8 voi nähdä, ainoat parametriset käyrät, joilla rajoittavana tekijänä on palokuorman määrä, ovat korkean aukkotekijän ja alhaisen palokuormatiheyden käyrät.



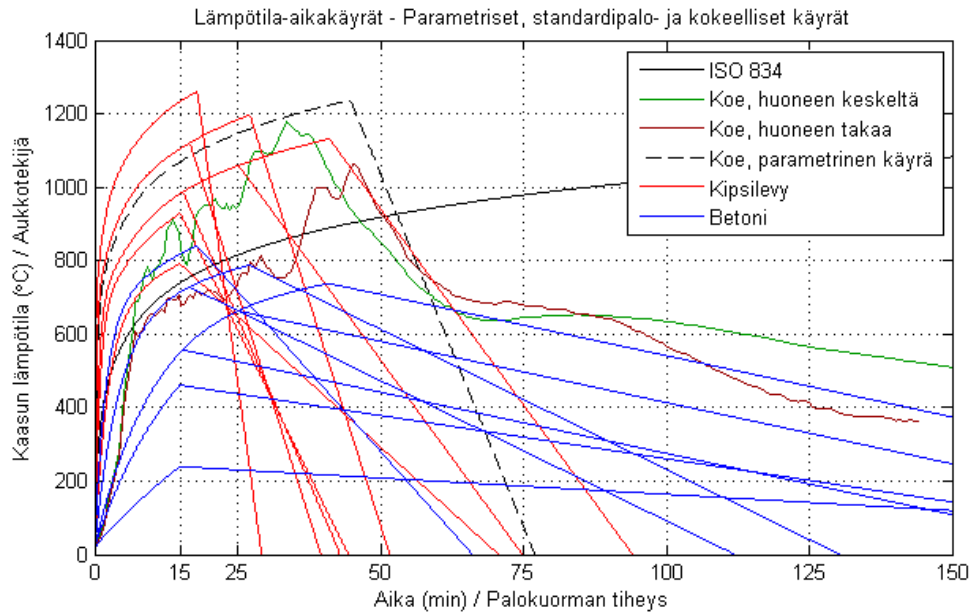
Kuva 7. Parametriset lämpötila-aikakäyrät puu, kipsilevy ja betonihuoneille 40-60 % fraktiilin aukkotekijöillä ja 70-90 % fraktiilin palokuormilla.



Kuva 8. Happirajoitteisen palon minimipalokuorma aukkotekijän funktiona. Tarkasteltavien tulipalojen voidaan olettaa kehittyvän nopeasti.

Kuvasta 7 voi nähdä, että puu- ja kipsilevyvaipan käyrät ovat hyvin lähellä toisiaan. Lisäksi oikeassa puupintaisen huoneen tulipalossa lämpötila jäisi merkittävästi alemmaksi, koska suurella alueella tapahtuva pyrolyysikaasujen voimakas tuotto rajoittaa hapen pääsyä palavaan huoneeseen ja merkittävä osa palamisesta voi tapahtua vain tilan ulkopuolella. Kipsilevyvaipan tilanteen voidaan olettaa kattavan myös puupintojen (palosuojattujenkin) tilanteen termisessä mielessä, joten puupintoja ei jatkossa erikseen tarkastella. Puu- ja kipsilevypinnoista merkittävästi poikkeava on betonipintainen huone. Toisaalta tämä on kohtuullisen harvinainen ääriarvo, koska yleensä aivan kaikki pinnat eivät kuitenkaan ole betonia tai vastaavaa.

Kuvassa 9 on esitetty kipsilevyn ja betonin parametriset lämpötila-aikakäyrät taulukoiden 8 ja 9 parametreilla (suuremmat vaihteluvälit kuin kuvan 7 tapauksessa). Kuvassa on myös esitetty vertailukohtana mittauksia täyden mittakaavan kokeesta (Hakkarainen, T. 2002), kokeen parametrinen käyrä ja standardipalokäyrä. Kokeessa puuta suojausi kaksi kipsilevyä (13 mm + 15 mm), joista puuta vasten oleva oli F-laatu. Kokeen tilan aukkotekijä oli 0,042, palokuorma 920 MJ/m<sup>2</sup> ja terminen suure 404 J/m<sup>2</sup>s. Koetulokäyrässä on näkyvissä parametrisia käyriä hitaampi hiipuminen, mikä johtui siitä, että kipsilevyjen suojaus ei ollut riittävä estämään puurakenteen hiiltymistä/palamista. Huoneen katossa hiiltymisen alkoi noin 40 minuutin kuluttua kokeen aloituksesta lisäen siten palokuorman kokonaismäärää.



Kuva 9. Kipsilevy- ja betonivaipaisen huoneen parametriset lämpötila-aikakäyrät 20, 50 ja 80 % fraktiilin aukkotekijöillä ja palokuormilla. Vertailuna polttokokeen (puurakenne suojattuna kahdella kipsilevyllä) mittaustulokset, kokeen parametrinen lämpötila-aikakäyrä ja standardipalo-käyrä. Palojen on oletettu kehittyvän nopeasti, jolloin hiipuminen alkaa aikaisintaan 15 minuuttia palon syttymisestä.

Taulukko 8. Kuvan 9 käyrissä käytetyt aukkotekijät.

Vaihtoehto	Aukkotekijä	Nimellisjakauman fraktiili
1	0,0273	20 %
2	0,0413	50 %
3	0,0625	80 %

Taulukko 9. Kuvan 9 käyrissä käytetyt palokuormatiheydet.

Vaihtoehto	Palokuormatiheys (MJ/m <sup>2</sup> )	Nimellisjakauman fraktiili
1	296	20 %
2	425	50 %
3	600	80 %

### 3.1.4 Palokäyrien vastaavuus standardipalokäyrän kanssa

Seuraavassa käsitellään kaksi eri tapaa arvioida parametrisista tai luonnollisista palokäyristä standardipalokäyrää vastaava kriittisen palorasituksen aika.

### 3.1.4.1 Eurocode 1:n mukainen ekvivalentti palonkesto-aika

Ekvivalentti palonkesto-aika,  $t_{e,d}$  saadaan neljän tekijän tulosta (EN 1991-1-2:2002, Eurocode 1):

$$t_{e,d} = (q_{f,d} \cdot k_b \cdot w_f) k_c \quad (4)$$

missä:

- $q_{f,d}$  on palokuorman mitoitusarvo, eli palokuorman tiheys suhteessa lattiapinta-alaan; tähän käytetään ehdotettua nimellisjakaumaa (= ominaisarvojakaumaa) kerrottuna palokuorman palavalla suhteellisella osuudella  $m = 0,8$  (tämä kerroin on Eurocode 1:n oletusarvo silloin, kun palokuorma on pääasiassa selluloosapohjaista; mm. esimerkkihuoneiden tapauksessa tämä ehto selvästi toteutuu, koska niissä 60-75 % palokuormasta on selluloosapohjaisia materiaaleja); herkkyyssanalyyseissä käytetään  $m$ :lle arvoa 0,87 (oletuksella, että 65 % palokuormasta on selluloosapohjaista ja loppu palaa täydellisesti)
- $w_f$  on ilmanvaihtotekijä, jolle johdetaan jakauma tietokannasta
- $k_b$  on vaipan termisistä ominaisuuksista riippuva muuntokerroin, jolle käytetään tässä arvoa 0,07, mikä vastaa puun ja kipsilevyn muuntokerrointa (vaipan lämmönabsorptiokyky  $< 720 \text{ J/m}^2\text{s}$ ) (menetelmä on tämän parametrin suhteen varsin epäherkkä; koko menetelmän epävarmuus/ero vertailussa tarkempaan laskentaan käsitellään jäljempänä)
- $k_c$  on rakenteen poikkileikkauksen materiaalista riippuva korjauskerroin, jolle käytetään arvoa 1.

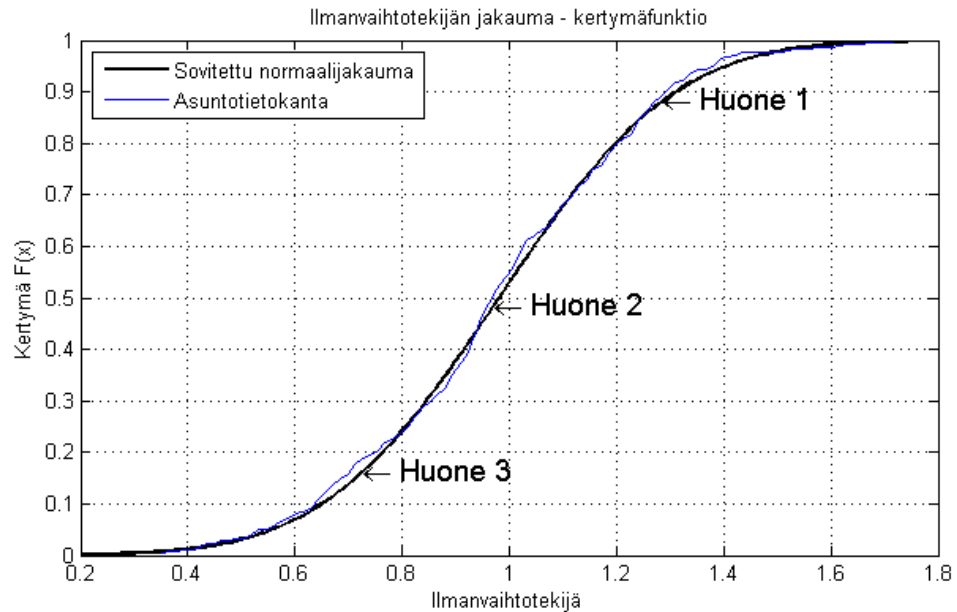
Ekvivalentin palonkestoajan periaatteena on, että standardipalon mukaiseksi minuuttimääräiseksi palorasitukseksi muunnettu parametrinen palorasitus sisältää koko parametrisen käyrän rasituksen, siis myös jäähtymisvaiheen.

Ilmanvaihtotekijälle on esitetty Eurocode 1:ssä kaksi kaavaa, joista käytetään alle  $100 \text{ m}^2$ :n kattoaukottomille palotiloille kaavaa:

$$w_f = \frac{1}{\sqrt{O}} \frac{A_f}{A_t} \quad (5)$$

missä  $O$  on tilan aukkotekijä,  $A_f$  lattian ja  $A_t$  vaipan pinta-ala.

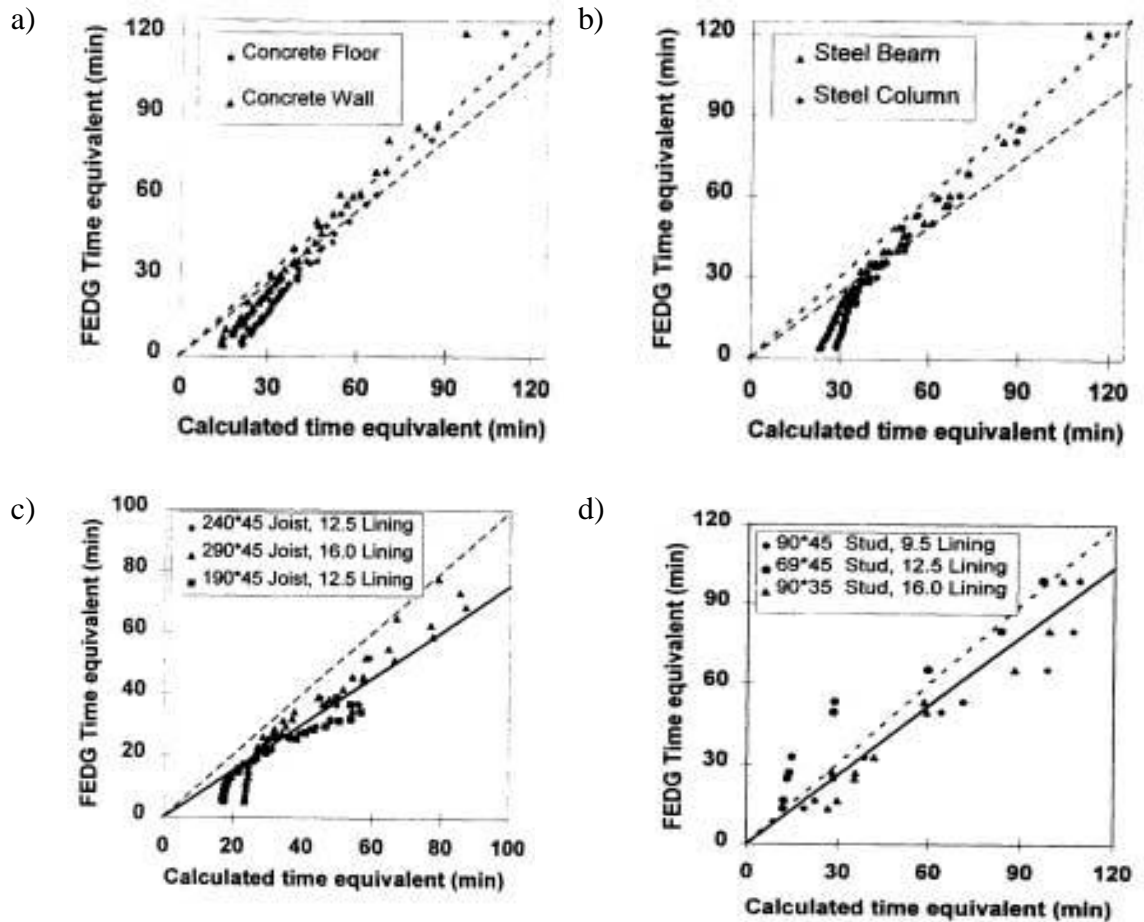
Ilmanvaihtotekijää ei voida suoraan laskea käyttäen aiempaa aukkotekijän jakaumaa, sillä huoneiden lattiapinta-ala ja vaipan pinta-ala korreloivat vahvasti aukkotekijän kanssa. Tästä syystä ilmanvaihtotekijä lasketaan asuntotietokannan kullekin huoneelle erikseen ja niiden jakaumaan sovitetaan nimellinen ilmanvaihtotekijän jakauma. Kuvassa 10 on esitetty asuntotietokannasta laskettu huoneiden ilmanvaihtotekijän jakauma ja siihen sovitettu normaalijakauma, jonka parametrit ovat  $\mu = 0,981$ ,  $\sigma = 0,258$ .



Kuva 10. Asuntotietokannan huoneiden ilmanvaihtotekijöiden jakauman kertymäfunktio ja siihen sovitettu normaalijakauma.

Ekvivalentin palonkestoajan käyttöä ja merkitystä rakenteiden palomitoituksessa on arvioitu kehittyneitä rakenteellista laskentatekniikkaa (FEM) käyttäen (Thomas, Buchanan & Fleischmann 1997). Kuvassa 11 on esitetty kokooma erityyppisille rakenneosille. Paloturvallisuuden kannalta nämä tulokset merkitsevät sitä, että liitteen Eurocode 1:n ekvivalentin palonkestoajan laskentamalli aliarvioi huonepalon ankaruutta etenkin lyhyiden palonkestoajojen tapauksessa eli lyhyissä ja kuumissa tulipaloissa. Ilmiö havaitaan teräsrakenneosille, kipsilevyllä suojatuille puupalkkilattioille ja betonirakenneosille.

Edellä esitetystä seuraa, että käytettäessä tämän tutkimuksen vertailuperiaatetta kriittisen palorasituksen todennäköisyyden määrittämisessä, voidaan ekvivalenttia menetelmää soveltaa vasta yli 30 minuutin ja parhaiten 60 minuutin ekvivalenttien palokestoajojen osalta. Nämä palokestoajat ovat niitä, joista tässä tutkimuksessa varsinaisesti ollaan kiinnostuneita. Vertailut FEM-menetelmällä laskettuihin arvoihin viittaavat myös siihen, että ekvivalenttimenetelmä saattaa aliarvioida tutkittujen teräsrakenteiden palonkestoajoja noin 15 %:lla (betonilla selvästi vähemmän) ja puurakenteiden enimmillään noin 40 %:lla 60 minuutin palonkestoajojen tuntumassa. Tutkittujen puurakenteiden osalta on kuitenkin muistettava, että niissä oli vain yksi levykerros suojana, eikä tilanne siten täysin vastaa tämän tutkimuksen tilannetta. Nämä aliarvioinnit otetaan huomioon herkkyytarkastelussa: olettaen, että sekä puurakenteita että vähintään A2-s1, d0 - luokan tarvikkeista tehtyjä rakenteita voidaan suojata kipsilevyllä, käytetään molemmille tapauksille suurimmillaan 40 %:n epävarmuutta käytetyn ekvivalentin palonkestoajan menetelmän suhteen.



Kuva 11. Ekvivalentin palonkestoajan (pysty akseli) vertailu FEM-menetelmää käyttäen laskettuihin tuloksiin (Thomas, Buchanan & Fleischmann 1997) eri rakennesosille: a) betonilattia ja -seinä, b) teräspalkki ja -pilari, c) erilaisia puupalkkilattioita ja d) kevytrakenteisia puurankaseiniä.

Saatavia tuloksia voidaan kuitenkin käyttää luotettavasti eri tapauksien vertailuun, koska osuudet, jotka ylittävät 60 min ekvivalentin palonkestoajan (= kriittisen palorasituksen) ovat tässä haettuja tuloksia, eivät rakenteiden mitoitusarvot.

Sprinklatuissa tapauksissa tarkastellaan alle 60 minuutin palonkestoajoja, ja ekvivalenttimenetelmän soveltamiseen liittyy epävarmuuksia sprinklauksen vaikutusten huomioinnin suhteen. Tosin sprinklauksen tapauksessa ei voida olettaa palojen olevan kuumia, jolloin seurauksena on lämpötilojen yliarviointi, koska parametrinen palon olettamaa lieskahdusta ei kontrolloidussa tilanteessa tapahdu. Tästä syystä sprinklauksen tapauksessa sovelletaan myös kohdassa 3.1.4.3 kuvattua T-ekvivalenttia menetelmää kumulatiivisen säteilyenergian laskemiseen.

### 3.1.4.2 Esimerkkejä tapauskohtaisesta laskennasta

Varsinaiset lähtötietojen jakaumiin perustuvat tulokset esitetään kappaleessa 3.2. Tässä näytetään aukkotekijän, ilmanvaihtotekijän ja ekvivalentin palonkestoajan laskeminen yhdelle esimerkkihuoneelle (kappaleen 3.1.1 huone 3) ja yhdelle huoneistolle. Tarvittavat huoneen lähtötiedot ovat:

- Palokuormatiheys,  $q_{f,k} = 818 \text{ MJ/m}^2$
- Lattian pinta-ala,  $A_f = 12,6 \text{ m}^2$
- Vaipan ala,  $A_t = 62,6 \text{ m}^2$
- Ikkunoiden korkeuksien painotettu keskiarvo,  $h_{eq} = 1,5 \text{ m}$
- Ikkunoiden pinta-ala,  $A_v = 3,9 \text{ m}^2$

Sijoittamalla lukuarvot kaavoihin (3), (5) ja (4) saadaan:

$$O = \frac{A_v \sqrt{h_{eq}}}{A_t} = \frac{3,9 \sqrt{1,5}}{62,6} \approx 0,0763$$

$$w_f = \frac{1}{\sqrt{O}} \frac{A_f}{A_t} = \frac{1}{\sqrt{0,0763}} \frac{12,6}{62,6} \approx 0,728$$

$$t_{e,d} = (m \cdot q_{f,k} \cdot k_b \cdot w_f) k_c = (0,8 \times 818 \times 0,07 \times 0,728) \times 1 \approx 33 \text{ min}$$

Toisena tapauksena on  $70 \text{ m}^2$ :n huoneisto ( $7 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 2,6 \text{ m}$ ), jossa ikkunat ovat 10 % lattiapinta-alasta ja palokuorma  $600 \text{ MJ/m}^2$ . Tarvittavat lähtötiedot ja laskelmat ovat seuraavat:

- Palokuormatiheys,  $q_{f,k} = 600 \text{ MJ/m}^2$
- Lattian pinta-ala,  $A_f = 70 \text{ m}^2$
- Vaipan ala,  $A_t = 228 \text{ m}^2$
- Ikkunoiden korkeuksien painotettu keskiarvo,  $h_{eq} = 1,2 \text{ m}$
- Ikkunoiden pinta-ala,  $A_v = 7 \text{ m}^2$

$$O = \frac{A_v \sqrt{h_{eq}}}{A_t} = \frac{7,0 \sqrt{1,2}}{228} \approx 0,0336$$

$$w_f = \frac{1}{\sqrt{O}} \frac{A_f}{A_t} = \frac{1}{\sqrt{0,0336}} \frac{70}{228} \approx 1,67$$

$$t_{e,d} = (m \cdot q_{f,k} \cdot k_b \cdot w_f) k_c = (0,8 \times 600 \times 0,07 \times 1,67) \times 1 \approx 56 \text{ min.}$$

Oletuksena tässä tapauksessa oli, että joko koko asunto koostuu yhdestä avoimesta tilasta (= palo-osasto) tai että asunnon ei-kantavat väliseinät ovat niin kevytrakenteiset ja palavat, että ne tuhoutuvat heti palon alussa (ei kovin todennäköinen tilanne). Tällä oletuksella on kuitenkin saatu määritettyä ääriarvo tilanteelle.



### 3.1.4.3 T-ekvivalentti menetelmä

T-ekvivalentti menetelmä (Barnett, C. R. 2007) perustuu tulipalon kumulatiivisen säteilyenergian (cumulative radiation energy, CRE) laskemiseen ja sen vertaamiseen standardipalokäyrän vastaavaan kumulatiiviseen säteilyenergiaan. CRE lasketaan seuraavasti:

$$CRE = \varepsilon \sigma \int_0^t T^4 dt \quad (6)$$

Malli perustuu siihen yksinkertaistettuun oletukseen, että säteily on täysin kehittyneessä huonepalossa hallitseva lämmönsiirron muoto.

CRE lasketaan integroimalla ajanhetkeen, jolloin lämpötila laskee hiipumisvaiheen jälkeen huoneenlämpötilaan. Tämän jälkeen standardipalokäyrän CRE-käyrästä haetaan ajanhetki, jolloin se saa saman arvon ja tätä käytetään ekvivalenttina aikana. Tässä tutkimuksessa mallia käytetään vertailevana menetelmänä sprinklattujen tapausten yhteydessä. Palokuorman määrään perustuvien parametrinen käyrien käyttö näissä tapauksissa ei välttämättä ole todellisuutta riittävän hyvin kuvaava, koska lämpötilat nousevat mallissa korkealle.

### 3.1.5 Sprinklauksen vaikutus palokuormaan ja palorasitukseen

#### 3.1.5.1 Sprinklausta koskevia sääntöjä: vaatimukset asuinrakennuksille

CEA 4001:2007 – 06(fi) (CEA 4001:2007) määrittelee vähimmäisvaatimukset ja antaa suosituksia rakennuksissa ja teollisuuskohteissa käytettävien kiinteiden sprinklerilaitteistojen suunnittelua, asentamista ja kunnossapitoa varten. Sääntöjen liiteosa O koskee asuintilojen suojauksen erityisvaatimuksia sovellusalanaan henkilöturvallisuutta parantavat sammutuslaitteistot asuntona käytetyissä rakennuksissa (joissa korkeusero ylimmän ja alimman sprinklerin välillä on enintään 45 m).

Liite O määrittelee sprinklerityypiksi joko standardin EN 12259-1 (EN 12259-1:1999) mukaisesti hyväksytyt tai erikseen asuntokäyttöön hyväksytyt sprinklerit, joiden lämpöherkkyys on nopea. Ensiksi mainitussa tapauksessa sovelletaan säännön luvun 11 mukaisia vaatimuksia sprinkleriluokalle LH. Luvut 11 ja 12 sisältävät LH-luokan lisäksi OH-luokan sprinklereiden sijoitusta, tiheyttä ja vesivuota koskevat vaatimukset (taulukko 10).

*Taulukko 10. CEA 4001:2007 – 06(fi):n LH- ja OH-luokkien vaatimuksia.*

Spr-luokka	Suurin suojausala m <sup>2</sup>	Vesivuo mm/min	Enimmäisetäisyydet
LH	21,0	2,25 (k=57)	4,6
OH	12,0	5,00 (k=80)	4,0

Jos kyseessä on asuinkäyttöön hyväksytyt sprinklerit, joiden hyväksymisvaatimuksissa ei ole etäisyyksiä eritelty (asuintilojen suojaukseen ilman vesivuolle asetettuja vaatimuksia hyväksytyt sprinklerit), sovelletaan suurimmalle suojausalalle arvoa 13 m<sup>2</sup> ja keskinäiselle enimmäis- ja vähimmäisetäisyydelle arvoja 3,7 m ja 2,4 m (vrt. taulukon luokka LH). Liite O määrittelee järjestelmän toiminta-aikavaatimukset, jotka ovat 30 min 2–8-kerroksisille rakennuksille ja 60 min yli 8-kerroksisille rakennuksille. Pohjoismainen INSTA standardi (INSTA 900-1: 2009) luokittelee asuntosprinklerilaitteistot kolmeen tyyppiin (taulukko 11).

*Taulukko 11. INSTA 900-1:n mukaiset rakennusten määrittelyt.*

<b>Asuntosprinklerilaitteiston tyyppi</b>	<b>Kohde</b>
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Omakotitalot ja paritalot</li> <li>- Rivitalot, joissa on korkeintaan kolme maanpinnan yläpuolella olevaa kerrosta ullakko mukaan luettuna ja yksi kellarikerros</li> <li>- Asuintalot, joissa on korkeintaan neljä asuin- ja majoitustilaa korkeintaan kolmessa kerroksessa sekä yksi kellarikerros</li> </ul>
2	- Asuinkäyttöön tarkoitettut rakennukset, joissa on korkeintaan kahdeksan kerrosta ja yksi kellarikerros, lukuun ottamatta hoitolaitoksia, jotka on tarkoitettu sellaisten henkilöiden pysyviksi asuinpaikoiksi, jotka tarvitsevat apua rakennuksesta poistumiseen
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hoitolaitokset tai niiden osat, jotka on tarkoitettu sellaisten henkilöiden pysyviksi asuinpaikoiksi, jotka tarvitsevat apua rakennuksesta poistumiseen</li> <li>- Vähintään yhdeksänkerroksiset asuinkäyttöön tarkoitettut rakennukset</li> </ul>

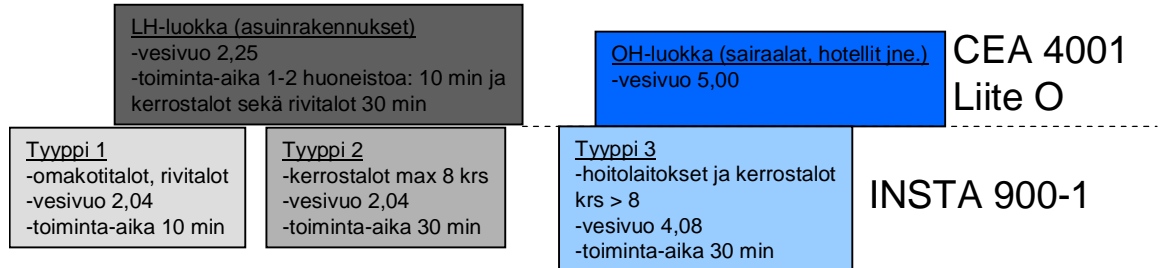
Taulukkoon 12 on koottu INSTA 900-1:n mukaiset rakennustyyppikohtaiset vaatimukset sprinklerijärjestelmän vesivuolle ja toiminta-ajalle.

*Taulukko 12. Rakennustyyppikohtaiset vaatimukset sprinklerijärjestelmän vesivuolle ja toiminta-ajalle (INSTA 900-1).*

<b>Rakennustyyppi</b>	<b>Vesivuo mm/min</b>	<b>Toiminta-aika min</b>
1	2,04	10
2	2,04	30
3	4,08	30

Sääntöjen mukaan sprinklereiden sijoittelussa noudatetaan valmistajan ohjeita (hyväksyntävaatimuksia), mutta yhden suuttimen suurin suojausala ei saa ylittää  $37 \text{ m}^2$ .

Kuva 12 pyrkii selventämään edellä kuvattujen säännösten välisiä vastaavuussuhteita.



Kuva 12. CEA 4001 Liite O ja INSTA 900-1 sääntöjen vertailua.

### 3.1.5.2 Sprinklauksen vaikutuksen arvioiminen

Sprinklerijärjestelmän tehtävä tulipalon sattuessa on aktivoituttuaan joko sammuttaa alkanut palo tai rajata sitä hidastamalla palon kehitystä ja rajoittamalla palotehoa sekä jäädyttämällä palotilan kaasuja ja savua.

Palo kehittyy sytyttyään aluksi paikallisena palona. Sprinklereiden sijoittelu ja alkupalon paikka aktivoitumisajanhetkeä määritettäessä voidaan huomioida tarkastelemalla sprinklerin ”lämpöilmäsimen” lämpötilan  $T_d$  muutosta

$$\frac{dT_d}{dt} = \frac{1}{\tau} (T_g - T_d), \text{ missä } \tau = \frac{RTI}{\sqrt{u}}, \text{ RTI on sprinklerin vasteaikaindeksi (kuvastaa}$$

lämpöherkkyyttä) ja  $u$  on kuumien kaasujen virtausnopeus suuttimen kohdalla. Kaasun lämpötilan  $T_g$  ja kaasun virtausnopeuden  $u$  riippuvuutta palon ajalliseen tehoon ja suhteelliseen sijaintiin voidaan tässä kuvata Alpertin yhtälöillä, joissa  $T_\infty$  viittaa ympäristön lämpötilaan,  $\dot{Q}$  on palotehon konvektiivinen osa kilowatteina ja  $r$  on etäisyys palon keskiakselista. Huonekorkeus  $H$  määrää, kumpaa kaavaa kulloinkin käytetään.

$$T_g - T_\infty = \frac{16,9\dot{Q}^{2/3}}{H^{5/3}}, r < 0,18H$$

$$T_g - T_\infty = \frac{5,38(\dot{Q}/r)^{2/3}}{H}, r \geq 0,18H \quad (7)$$

$$u = 0,96(\dot{Q}/H)^{1/3}, r < 0,15H$$

$$u = \frac{0,195\dot{Q}^{1/3}H^{1/2}}{r^{5/6}}, r \geq 0,15H \quad (8)$$

Ilmaisimen lämpötila voidaan ratkaista esimerkiksi iteratiivisesti Eulerin menetelmällä seuraavasti:

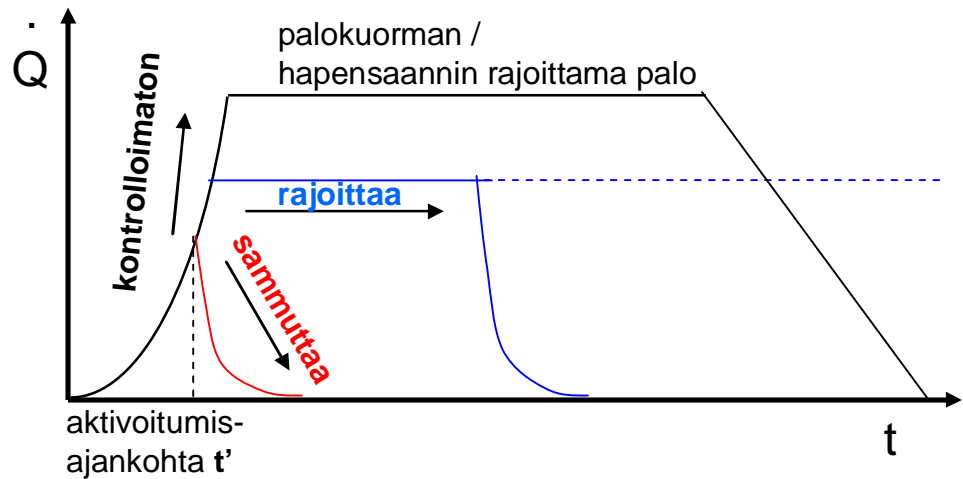
$$T_d(t_k + t_{k+1}) = T_d(t_k) + \frac{\sqrt{u(t_k)}}{RTI} (T_g(t_k) - T_d(t_k))(t_{k+1} - t_k) \quad (9)$$

$T_d$ :n saavuttaessa sprinklerin laukeamislämpötilan, on vastaava ajanhetki  $t$  ns. aktivoitumisajankohta.

Useimmat asuinrakennusten sprinklaukseen tarkoitetut järjestelmät on suunniteltu rajoittamaan paloa, tarkemmin sanottuna palotehoa. Monissa tapauksissa nämä järjestelmät kykenevät myös sammuttamaan alkaneen palon. Tärkeä merkitys on järjestelmän aktivoitumisnopeudella. Asuntosprinklauksessa tulee käyttää lämpöherkkyydeltään nopeita sprinklereitä (RTI-arvo 50 tai alle) laukeamislämpötilan ollessa tyypillisimmillään 57 – 68 °C. Perinteisiin sprinklereihin nähden suojausvaikutukseltaan ekvivalenttien vaihtoehtoisten sammutusjärjestelmien tapauksessa voi olla perusteltua käyttää matalampia laukeamislämpötiloja (57 °C) ja pyrkiä herkempiin suuttimiin (RTI-arvo 20) jos esimerkiksi pisarakoon jakaumasta johtuen veden tunkeutumiskyky liekkialueen läpi pyrolysoituvalla pinnalla on heikompi tai järjestelmän kasteluvaikutus on vähäisempi. Näissä järjestelmissä vesivuo on tyypillisesti huomattavasti alhaisempi ja toimintapaine korkeampi kuin tavallisilla sprinklerijärjestelmillä. Siksi onkin tärkeää, että järjestelmien sovelluskohtainen sammutusteho on todettu asianmukaisesti, jotta voidaan varmistua, että saavutettu vaikutus vastaa vähintään perinteisiltä järjestelmiltä vaadittua suoritustasoa.

Tarkasteltaessa paloa hetkellä, jolloin sammutusjärjestelmä aktivoituu, voidaan tarkastelu jakaa karkeasti kolmeen ryhmään:

- kontrolloimaton palo, jossa palon lämmönluovutusnopeus jatkaa kasvuaan vapaalle palolle tyypilliseen tapaan, missä paloa rajoittavat lähinnä palokuorman kokonaismäärä tai hapen saanti. Tapauksissa, joissa sammutusjärjestelmä on oikein mitoitettu em. säännösten perusteella eikä paloteho ole ylittänyt 5 MW ensimmäisen sprinklerin lauetessa, ei yleensä pidetä tarpeellisena tarkastella tätä vaihtoehtoa. Tämä skenaario voidaan katsoa kuuluvan ei-sprinklattuun kategoriaan, jota kuvataan alkuperäisellä parametrisellä palolla.
- kontrolloitu palo, jossa järjestelmä kastelemalla ja jäähdyttämällä rajoittaa palotehon kasvua. Tätä tarkastellaan usein siten, että palotehon kasvua rajoitetaan tiettyyn arvoon (suhteessa aktivoitumishetkeä vastaavaan palotehon saavuttamaan arvoon) ja tarkastelujen kannalta palotehoa pidetään tuon arvon saavuttamisen jälkeen vakiona (mahdollinen hiipuminen kuvastaa palokuorman ehtymistä).
- sammutettu palo, jossa järjestelmän aktivoitua käytetään sopivaa mallia kuvaamaan palotehon hiipumista; tässä hiipuminen johtuu pääasiassa osallistuvan palokuorman rajauksesta ja jäähdytyksestä / kastelusta.



Kuva 13. Sprinklauksen vaikutusten kategorisointi.

Ensimmäistä vaihtoehtoa voi tarkastella kuten tapausta, jossa sammutusjärjestelmää ei olisi. Kyseessä ovat silloin ne tapaukset, joissa oletetaan, että sammutusjärjestelmä ei toimi tai jos aktivoitumisaika-tarkastelut antavat olettaa, että paloteho ehtii saavuttaa 5 MW tason.

Toinen tapaus, kontrolloitu palo, on sikäli merkittävä, että tämä on suurimmalle osalle sammutusjärjestelmistä suunniteltu tehokkuustaso, vaikkakin joissakin tapauksissa palo voi myös sammua. Oletus on, että järjestelmä rajoittaa paloa siten, että palo ei saavuta täysin kehittyneen palon vaihetta ja kykenee rajoittamaan saavutettavan maksimipalotehon tässä paikallisen tai rajallisesti levinneen palon vaiheessa. Konservatiivinen oletus palon mallintamisen kannalta on, että paloteho kasvaa vielä sammutusjärjestelmän aktivoitua saavuttaen kaksinkertaisen arvon siihen nähden, mikä paloteho oli järjestelmän aktivoituessa ja että palo jatkuu tällä lämmönluovutusnopeudella tarkastelujen loppuun asti. Tässä työssä paloa tarkastellaan myös jäähtymisen ajalta, joten palolle täytyy määrittää myös hiipumisvaihe.

Sprinklauksen vaikutusmekanismina tässä työssä tarkastellaan järjestelmän aikaansaamaa paloon osallistuvan palokuorman rajoitusta. Tämä seuraa kastelu- ja jäähdytysvaikutuksesta seuraavasta palon rajoittumisesta. Konservatiivisena lähtökohdiana oletettiin, että järjestelmän aktivoitumisajankohdan määräämä saavutettu paloteho kerrottuna tekijällä kaksi on sprinklatun tapauksen palon maksimipaloteho. Palotehon saavutettua tämän arvon sen oletettiin olevan vakio hiipumisvaiheen alkuun asti.

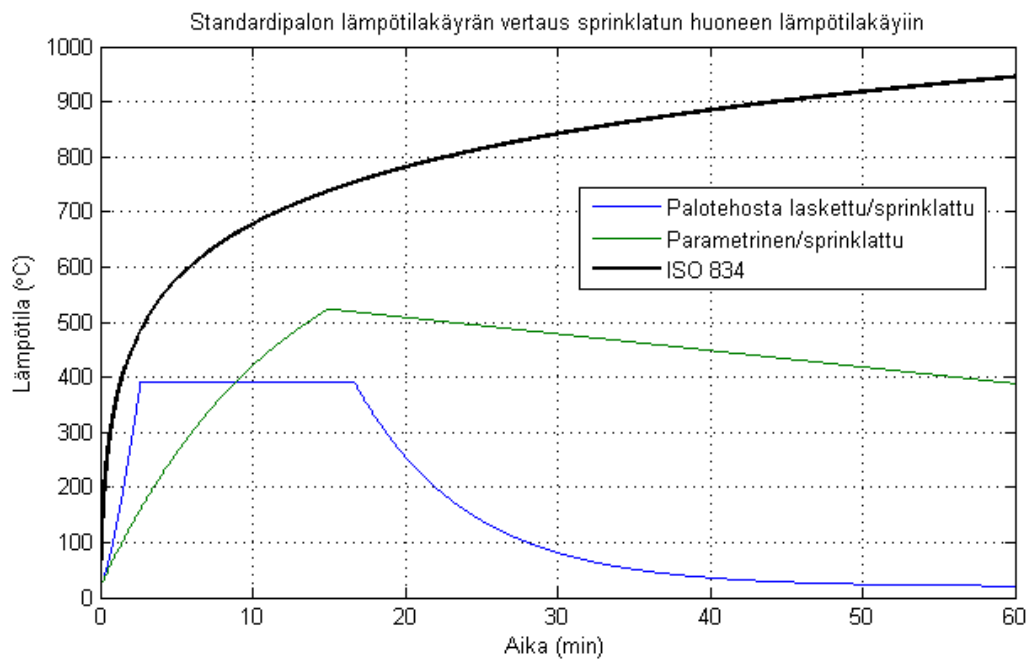
Käyttämällä arviota palokuorman luovuttamalle paloteholle ilmaistuna lattiapinta-alaa kohden (*Eurocoden* taulukon E.5 arvo asuinhuoneille  $RHR_f = 250 \text{ kW/m}^2$ ), arvioitiin palon levinneisyys tilassa hetkellä, jolloin maksimipaloteho oli saavutettu, käyttämällä saavutettua palotehoa täten vastaavaa pinta-alaa. Tämä pinta-ala kerrottuna huoneen palokuorman tiheydellä katsottiin olevan

tapauskohtainen paloon osallistuva redusoitu palokuorman määrä. Hiipumisen oletettiin noudattavan eksponentiaalisesti alenevaa, vesivuosta riippuvaa muotoa.

Tällä redusoidulla palokuormalla määriteltiin huonekohtainen parametrinen palo, jota käytettiin palonkestävyystarkasteluissa. Tämä lähestymistapa on varsin konservatiivinen, koska todellisuudessa palo ei kontrolloidussa tapauksessa lieskahda, vaan palo on paikallinen. Tyypillisessä sprinklereiden kontrolloimassa palossa saattaa esiintyä hetkellisesti korkeita paikallisia lämpötiloja, mutta muuten palotilan lämpötilat ovat varsin alhaisia.

Kuvassa 14 on esimerkin avulla havainnollistettu sprinklauksen vaikutuksen laskentaa. Palon kehittymisvaiheessa palotehoa kuvataan seuraavasti:

$\dot{Q} = 10^6 \left(\frac{t}{t_\alpha}\right)^2$ , missä  $t_\alpha$  on palonkehittymisnopeutta kuvastava suure (aika, jossa paloteho saavuttaa arvon 1 MW).



Kuva 14. Sprinklatun huoneen ja standardipalon käyrien vertailu. Esimerkki sprinklatun tilanteen palotehokäyrästä lasketusta lämpötilakäyrästä ja redusoidusta palokuormasta lasketusta parametrisestä lämpötilakäyrästä. (Koetuskäyriä on esitetty kuvassa 24.)

Kehitysvaihetta rajoittaa tasaisen palamisen vaihe, jossa paloteho on vakio. Tämä maksimipaloteho  $\dot{Q}_{\max}$  riippuu tilasta, sen aukoista ja palokuormasta (ja sprinklereiden rajoittavasta vaikutuksesta). Palon hiipumisvaiheen voidaan olettaa noudattavan muotoa:

$\dot{Q} = \dot{Q}_{\max} \exp(-(t - t_d)/t_\tau)$ , missä  $t_d$  on hiipumisen alkamisajankohta ja  $t_\tau$  palon hiipumisnopeutta kuvastava suure. Tässä työssä käytettiin Evansin (Evans 1993) kaavaa sprinklauksen ja palokuorman määräämälle hiipumiselle.

$$t_\tau = \frac{1}{k} = \frac{1}{0,33(\dot{m}'' )^{1,85}}, \text{ missä } \dot{m}'' \text{ on vesivuo.}$$

Hiipuminen sovitetaan alkamaan siten, että koko palotehokäyrän aikaintegraali vastaa palamiseen osallistuneen palokuorman energiaa.

Kun tätä palotehon kehitysvaiheen esitystä käytetään ratkaistaessa sprinklerin aktivoitumisaikaa  $t_{act}$ , saadaan sprinklatulle tapaukselle  $\dot{Q}_{\max} = 2\dot{Q}(t_{act})$ . Tämä paloteho yhdessä  $RHR_f$ :n arvon kanssa määrittää palon levinneisyyden pinta-alan. Pinta-ala ja huoneen palokuormatiheys taas määräävät redusoidun palokuorman.

Kuvan 14 sininen käyrä on saatu, kun palon kehitysvaiheelle on käytetty aiempaa kehitysvaiheen esitystä siihen ajanhetkeen asti, kun paloteho on saavuttanut arvon  $2\dot{Q}(t_{act})$ . Tästä eteenpäin paloteho pysyy vakiona ajanhetkeen  $t_d$ , joka määräytyy siten, että palotehon aikaintegraali syttymishetkestä hetkeen  $t_d$  (kehitysvaihe ja tasainen vaihe) yhdessä hiipumiskäyrän alle jäävän pinta-alan kanssa vastaa paloon osallistuvaa palokuorman energiaa.

Vihreä käyrä kuvassa 14 on parametrinen lämpötilakäyrä, joka on laskettu redusoidulle palokuormalle ja tarkastellulle huonetilalle samalla tavoin kuin ei-sprinklatuissa tapauksissa. Ekvivalentit palorasitukset ja palonkestävyysajat perustuvat tämän tyyppisiin lämpötilakäyriin.

### 3.1.6 Suojaverhous

#### 3.1.6.1 Suojaverhouksen määrittelyt

Luokitusstandardin EN 13501-2 mukaan suojaverhouksella tarkoitetaan pystysuorien rakennusosien (esim. seinien, väliseinien ja ulkoseinien) ulointa osaa tai vaakasuorien rakennusosien (esim. välipohjien, yläpohjien ja sisäkattojen) alinta osaa.

Luokitusparametreilla  $K_1$  tai  $K_2$  merkitty suojaverhous suojaa takanaan olevia materiaaleja palolta luokituksen mukaisen ajan (10, 30 tai 60 minuuttia).

#### Suojaverhous, jonka luokitus on $K_1$

Testauksessa käytetään yhtä seuraavista alustoista:

- lastulevy (jonka tiheys on  $(680 \pm 50)$  kg/m<sup>3</sup> ja paksuus  $(19 \pm 2)$  mm
- pienitiheksinen materiaali (jonka tiheys on alle 300 kg/m<sup>3</sup> ja paksuus vähintään 50 mm)

- muu määritelty alusta.

Lastulevyalustalla saadut koetulokset soveltuvat suojaverhoukselle, jota käytetään alustoilla, joiden tiheys on vähintään 300 kg/m<sup>3</sup>. Luokituskriteereihin sisältyy lämpötilannousua sekä palanutta, hiiltynyttä, sulanutta ja kutistunutta materiaalia koskevia rajoituksia.

#### Suojaverhous, jonka luokitus on K<sub>2</sub>

Testauksessa käytetään yhtä seuraavista alustoista:

- lastulevy (jonka tiheys on (680 ± 50) kg/m<sup>3</sup> ja paksuus (19 ± 2) mm)
- muu määritelty alusta.

Lastulevyalustalla saadut koetulokset soveltuvat kaikilla alustoilla käytetylle suojaverhoukselle (riippumatta alustan tyypistä ja tiheydestä).

Luokituskriteereihin sisältyy lämpötilannousua sekä palanutta ja hiiltynyttä materiaalia koskevia rajoituksia.

#### Koemenetelmä

Suojaverhousten palonkestävyyttä koskevan koemenetelmän tulee olla standardin EN 14135 mukainen.

#### Palonkestävyysvaatimukset

Suojaverhouksen, jonka luokitus on K<sub>1</sub>, katsotaan suojaavan palolta takanaan olevan materiaalin, mikäli verhous tai sen osia ei putoa alas standardin EN 14135 mukaisessa testissä määritellyn ajan (10 min) kuluessa ja mikäli myös kaikki seuraavat vaatimukset täyttyvät.

a) Suojaverhous, jonka takana ei ole onteloita

- kokeen aikana suojaverhouksen tulen vastakkaiselta pinnalta mitattu keskimääräinen lämpötilannousu ei saa olla yli 250 °C alkulämpötilaa korkeampi eikä suurin lämpötilan nousu saa missään kohdassa olla yli 270 °C alkulämpötilaa korkeampi
- kokeen jälkeen missään kohdassa alustaa ei saa olla palanutta, hiiltynyttä, sulanutta tai kutistunutta materiaalia.

b) Suojaverhous, jonka takana on yksi tai useampi ontelo

- keskimääräinen lämpötilan nousu alustan alapinnalta sekä suojaverhouksen tulen vastakkaiselta pinnalta mitattuna ei saa olla yli 250 °C alkulämpötilaa korkeampi eikä suurin lämpötilan nousu näiden pintojen missään kohdassa saa olla yli 270 °C alkulämpötilaa korkeampi
- kokeen jälkeen missään kohdassa alustaa tai suojaverhouksen tulen vastakkaista puolta ei saa olla palanutta, hiiltynyttä, sulanutta tai kutistunutta materiaalia.

Suojaverhouksen, jonka luokitus on K<sub>2</sub>, katsotaan suojaavan palolta takanaan olevan materiaalin, mikäli standardin EN 14135 mukaisessa testissä määritellyn ajan (10, 30 tai 60 minuuttia) kuluessa verhous tai sen osia ei putoa alas ja mikäli myös kaikki seuraavat vaatimukset täyttyvät:



- a) Suojaverhous, jonka takana ei ole onteloita
- kokeen aikana suojaverhouksen tulen vastakkaiselta pinnalta mitattu keskimääräinen lämpötilannousu ei saa olla yli 250 °C alkulämpötilaa korkeampi eikä suurin lämpötilan nousu saa missään kohdassa olla yli 270 °C alkulämpötilaa korkeampi
  - kokeen jälkeen missään kohdassa alustaa ei saa olla palanutta tai hiiltynyttä materiaalia.
- b) Suojaverhous, jonka takana on yksi tai useampi ontelo
- keskimääräinen lämpötilan nousu alustan alapinnalta sekä suojaverhouksen tulen vastakkaiselta pinnalta mitattuna ei saa olla yli 250 °C alkulämpötilaa korkeampi eikä suurin lämpötilan nousu näiden pintojen missään kohdassa saa olla yli 270 °C alkulämpötilaa korkeampi
  - kokeen jälkeen missään kohdassa alustaa tai suojaverhouksen tulen vastakkaista puolta ei saa olla palanutta tai hiiltynyttä materiaalia.

### Luokitus

Seuraavia luokkia käytetään (esim. suojaverhousluokka K<sub>2</sub> 60):

K <sub>1</sub>	10		
K <sub>2</sub>	10	30	60

10, 30 ja 60 ovat luokitusajoja (minuutteina), joiden kuluessa suojaverhous on vielä annettujen kriteerien mukainen.

#### 3.1.6.2 Esimerkkejä suojaverhouksista

Eurooppalaisen FireInTimber-projektin raportissa (Fire safety in timber buildings 2010) esitetään mm. seuraavia esimerkkejä suojaverhouksista ja niiden luokituksista.

Tyyppi	Kuvaus	Luokitus EN 13501-2
Kipsilevyt	Yksi levykerros $\geq 10$ mm, puskusaumat	K <sub>2</sub> 10
	Kaksi 12,5 mm:n levykerrosta (tyyppi F / EN 520), puskusaumat eri kohdilla eri kerroksissa Yksi 18 mm:n levykerros, puskusaumat	K <sub>2</sub> 30
	Kaksi 18 mm:n levykerrosta (tyyppi F / EN 520), puskusaumat eri kohdilla eri kerroksissa	K <sub>2</sub> 60
Kevytbetonilevy	Yksi 25 mm:n levykerros, puskusaumat	K <sub>2</sub> 30
Kevyt silikaattilevy	Yksi 25 mm:n levykerros, puskusaumat	K <sub>2</sub> 30
Yhdistelmä	Yksi kipsilevykerros 15 mm ja yksi kalsium-silikaattilevykerros 15 mm, puskusaumat eri kohdilla eri kerroksissa	K <sub>2</sub> 60

#### 3.1.6.3 Suojaverhouksen toimivuus ja toteutus

##### Suojaverhouksen toimivuus korkeissa lämpötiloissa

Kuvassa 9 on esitetty huonepalokokeen lämpötilamittausten tuloksia, tilanteen parametrinen käyrä ja mm. standardipalokäyrä. Parametrinen käyrän lämpötilat

(samoin kuin mitatut) ovat alkuosassa selvästi korkeampia kuin standardipalokäyrän. Tähän liittyy kysymys siitä, voiko näistä korkeista lämpötiloista aiheutua se, että suojaverhous ei toimi parametrisessa korkeiden lämpötilojen altistuksessa vastaavasti kuin standardipalon altistuksessa, jossa suojaverhosten luokitustestaus tapahtuu.

Kyseisen kokeen ekvivalentti palonkesto-aika on noin 55 minuuttia ja suojaavina kerroksina oli 13 mm:n normaali kipsilevy (GN) + 15 mm:n palokipsilevy (GF). Kyseisen kipsilevy-yhdistelmän voidaan olettaa kokeellisiin tutkimustuloksiin (Just, Schmid, & König 2010) perustuen standardipalossa suojaavan puuta hiiltymisen alkamiselta noin 45 - 50 minuuttia standardipalon olosuhteissa (kun molemmat kipsilevykerrokset pysyvät ehjinä).

Kuvasta 9 voidaan arvioida, että kyseisen kokeen parametrisella käyrällä ja myös mitatuilla lämpötilakäyrällä (huoneen keskellä) standardipalon 45 minuutin rasiosta vastaava lämpökuorma saavutetaan alle 45 minuutissa. Siten kokeessa havaitun ensimmäisen hiiltymisen alkamisen noin 40 minuutin kohdalla voidaan todeta osoittavan tämän tyyppisten suojaverhosten toimivuuden myös alkuvaiheen standardipalokäyrää korkeammissa lämpötiloissa. Lisäksi täytyy ottaa huomioon se, että tässä kyseisessä kokeessa palolle ensimmäisenä altistunut kipsilevy oli normaalia tyyppiä (GN) ja siitä alkoi pudota paloja jo 27 minuutin kuluttua kokeen alkamisesta siten heikentäen suojauskykyä. Tämä ratkaisu ei siis olisi täyttänyt standardin asettamaa suojaverhouksen ehtoa, että verhous tai sen osia ei saa pudota alas. Tämä standardin vaatimus onkin oleellisen tärkeä suojaverhouksen toimivuuden kannalta.

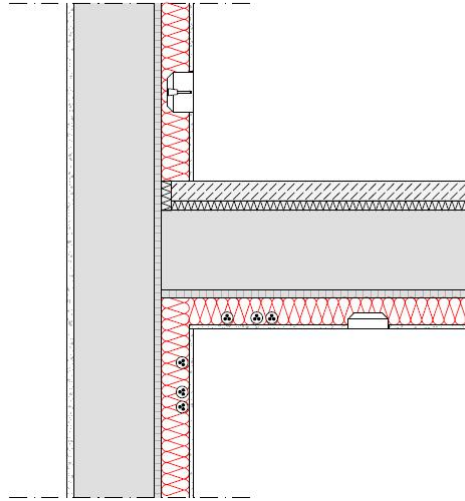
Suojaverhouksen toimivuuden osoittaminen luokitustestauksessa tarkoin määritellyllä tavalla (esim. suojaverhouksen eri kerrosten saumat eri kohdilla, kiinnitystapa/tiheys jne.) edellyttää myös, että käytännön asennustyö tehdään luokituksen ehtojen mukaisella tavalla.

#### Kantavien rakenteiden suojaverhous ja asennukset

Läpivientien ja asennusten toteutuksessa on varmistettava, että kantavien rakenteiden suojaverhouksen toimivuus ei vaarannu. Seinä- ja välipohjarakenteiden detaljeja koskevia kriittisiä kohteita ovat ainakin

- kanavat (ilmanvaihto jne.)
- putket (vesi, viemäri)
- sähköasennukset ja kaapeloinnit
- kaikki läpiviennit.

Detaljien oikeassa toteutuksessa on tarkoituksena estää palon leviäminen kantaviin rakenteisiin erilaisten onteloiden, piilotilojen, asennuksien sisältämien palavien komponenttien jne. kautta. Kuvassa 15 esitetään esimerkki kipsilevyn ja mineraalivillaeristeen käytöstä asennusten yhteydessä suojaamaan kantavia rakenteita. Periaatteena on, että kantavaa rakennetta suojaaa suojaverhous, jonka päälle asennukset tehdään. Tyhjiä onteloita suojaverhouksen ja suojattavan rakenteen välissä ei saa esiintyä.



*Kuva 15. Esimerkki kipsilevyn ja mineraalivillan käytöstä suojaamaan kantavia rakenteita sähköasennusten tapauksessa (Fire safety in timber buildings 2010).*

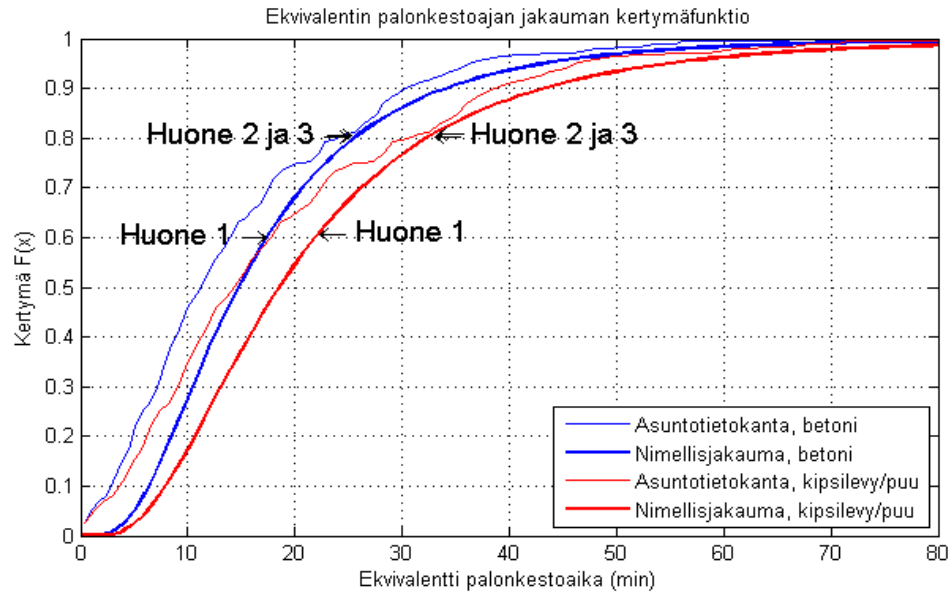
## 3.2 Tarkasteltavien tapausten laskenta ja tulokset

### 3.2.1 Ekvivalentit palonkestoajat – sprinklaamattomat tapaukset

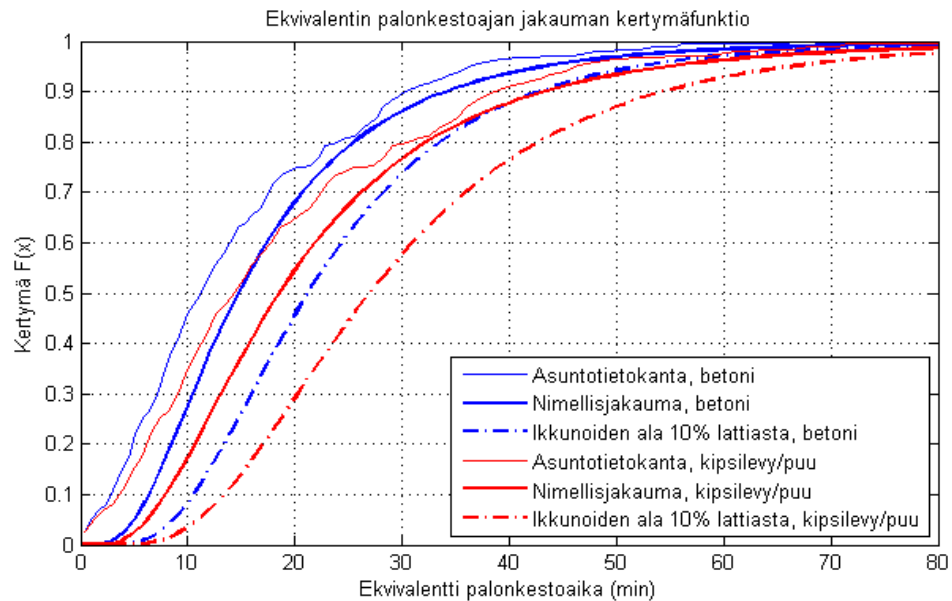
Tässä luvussa esitetään Eurocode 1:n mukaiseen ekvivalentin palonkestoajan määrittämiseen perustuvat palorasitukset standardipalon rasituksina valituille palokuormajakaumille.

Kuvassa 16 on esitetty suoraan asuntotietokannan huoneille laskettujen ekvivalenttien palonkestoajojen jakaumat sekä nimellisjakaumien avulla lasketut jakaumat. Jakaumat on laskettu käyttäen tilaa ympäröivänä vaippana erikseen betonia ja kipsilevy(puu)vaippaa. Kuvaan on merkitty kappaleessa 3.1.1 mainitut esimerkkihuoneet.

Mahdollisena pahimpana tapauksena tarkastellaan tilanne, jossa huoneiden ikkunoiden pinta-ala asetetaan 10 %:iin lattiapinta-alasta, mikä on määräysten mukainen minimi. Tällöin ekvivalentit palonkestoajat kasvavat kuvan 17 mukaisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että samalla palokuormalla tilan rakenteisiin kohdistuu ankarampi palorasitus kuin suurempien ikkuna-aukkojen tapauksessa.



Kuva 16. Asuntotietokannan huoneiden ja nimellisjakaumien avulla lasketut ekvivalentin palonkestoajan jakaumat betoni- ja kipsilevy-/puuvaipalla.



Kuva 17. Asuntotietokannan, nimellisjakauman ja nimellisjakauman, jossa ikkunoiden pinta-ala on asetettu 10 %:iin lattiapinta-alasta, huoneiden ekvivalentin palonkestoajan jakaumat.

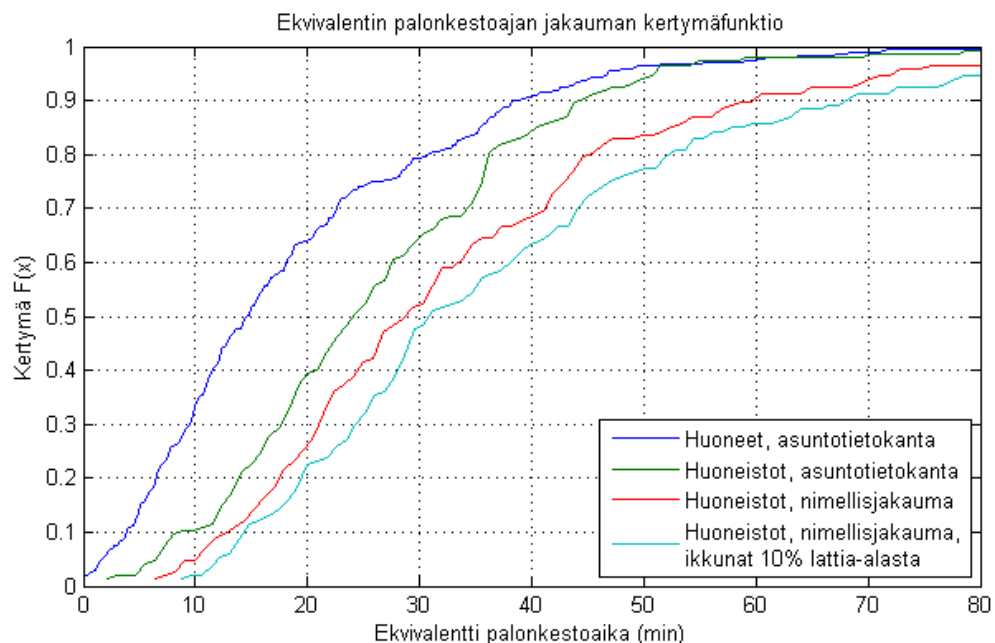
Taulukossa 13 on esitetty asuntotietokannan, nimellisjakauman ja nimellisjakauman, jossa huoneiden ikkunoiden pinta-ala on asetettu 10 %:iin lattiapinta-alasta, palokuormiin ja tilatietoihin perustuen huoneiden osuudet, joissa 10, 30 ja 60 minuutin ekvivalentit palonkestoajat ylittyvät. Otetaan esimerkiksi taulukon tapaus, jossa ikkunoiden pinta-ala on 10 % lattiapinta-alasta ja tilan vaipan materiaali on kipsilevyä (tai vastaavaa), jolloin todennäköisyydeksi sille,

että 60 minuutin ekvivalentti palonkestoaja ylittyy, on saatu 7,26 %. Tilastollisesti siis 92,74 % tapauksista on sellaisia, jotka eivät johda paikalliselle sortumalle kriittisiin palorasituksen olosuhteisiin (vrt. kuvan 17 alin pistekatkoviiva 60 min kohdalla).

Taulukko 13. 10, 30 ja 60 min ekvivalenttien palonkestoajojen ylittävien huoneiden osuudet (ei sprinklausta).

Palonkestoaja, vaipan materiaali	Asuntotietokanta	Nimellisjakauma	Nimellisjakauma, ikkunoiden ala 10 % lattia-alasta
10 min, kipsilevy	65,1 %	86,1 %	94,1 %
30 min, kipsilevy	20,4 %	25,6 %	43,2 %
60 min, kipsilevy	2,30 %	2,68 %	7,26 %
60 min, betoni	0,55 %	0,55 %	3,22 %

Asuntotietokannan huoneistojen ekvivalentit palonkestoajat on esitetty kuvassa 18. Taulukossa 14 on esitetty asuntotietokannan, nimellisjakauman ja nimellisjakauman, jossa huoneiden ikkunoiden pinta-ala on asetettu 10 %:iin lattiapinta-alasta, palokuormiin ja tilatietoihin perustuen huoneistojen osuudet, joissa 10, 30 ja 60 minuutin ekvivalentit palonkestoajat ylittyvät.



Kuva 18. Huoneistojen ekvivalenttien palonkestoajojen jakaumat perustuen asuntotietokantaan, nimellisjakaumaan ja nimellisjakaumaan, jossa ikkunat 10 % lattia-pinta-alasta. Vertailuna esitetään lisäksi asuntotietokantaan perustuva huoneiden jakauma. Vaipan materiaalina on kipsilevy tai vastaava.

Taulukon 13 tulosten perusteella nähdään, että yksittäisille huoneille (myös pienille palo-osastoille) betonivaippaisen tai vastaavan P1-luokan kerrostalon pahin mahdollinen sortumiselle kriittisen palorasituksen todennäköisyys on suuruudeltaan 0,6 - 3,2 % (oletettuna, että syttymä johtaa väistämättä kaikissa tilanteissa pahimpaan lopputulokseen; ei sammutusyrityksiä eikä palon oleteta voivat tukahtua itsestään). Vastaavaa todennäköisyys kipsilevyvaippaiselle (sisäpinnat) teräsrunkoiselle rakennukselle on haarukassa 2,3 - 7,3 %. Vastaavasti huoneistoille (palo-osastoille) tämä vaihteluväli on 2,0 - 14 % taulukon 14 mukaan.

*Taulukko 14. 10, 30 ja 60 min ekvivalenttien palonkestoajojen ylittävien huoneistojen osuudet (ei sprinklausta).*

<b>Palonkestoaja, vaipan materiaali</b>	<b>Asuntotietokanta</b>	<b>Nimellisjakauma</b>	<b>Nimellisjakauma, ikkunoiden ala 10 % lattia-alasta</b>
<b>10 min, kipsilevy</b>	86,9 %	95,0 %	98,0 %
<b>30 min, kipsilevy</b>	35,3 %	47,9 %	52,0 %
<b>60 min, kipsilevy</b>	2,04 %	9,60 %	14,3 %
<b>60 min, betoni</b>	1,36 %	3,40 %	7,25 %

Herkkyysanalyysinä laskettiin vielä seuraavat tapaukset:

- Palokuorman palavalle suhteelliselle osuudelle  $m$  käytettiin arvoa 0,87 (oletuksella, että 65 % palokuormasta on selluloosapohjaista ja loppu palaa täydellisesti) Eurocode 1:n oletusarvon  $m = 0,8$  sijasta
- Ekvivalentin palonkestoajan menetelmän epätarkkuuden huomioimiseksi kerrottiin laskennasta saatavat ajat tekijällä 1,15 sekä ääritapauksena tekijällä 1,4 (ks. kuva 11 ja siihen liittyvä epävarmuustarkastelu).

Tulokset on esitetty taulukoissa 15 ja 16, joista nähdään, että sortumaan johtavien olosuhteiden todennäköisyys kasvaa noin tekijällä 2 - 3. Tulosten luotettavuutta arvioitaessa voidaan verrata näitä tuloksia mm. todellisuudessa tapahtuviin onnettomuuksiin.

*Taulukko 15. Herkkyysanalyysin tuloksia (huoneisto); ekvivalentit palonkestoajat kerrottu tekijällä  $0,87/0,8 \times 1,15 = 1,25$  verrattuna perustapaukseen.*

<b>Palonkestoaja, vaipan materiaali</b>	<b>Asuntotietokanta</b>	<b>Nimellisjakauma</b>	<b>Nimellisjakauma, ikkunoiden ala 10 % lattia-alasta</b>
<b>60 min, kipsilevy</b>	7,48 %	17,0 %	24,2 %
<b>60 min, betoni</b>	2,04 %	8,84 %	14,3 %

*Taulukko 16. Herkkyysanalyysin tuloksia (huoneisto); ekvivalentit palonkestoajat kerrottu tekijällä  $0,87/0,8 \times 1,4 = 1,52$  verrattuna perustapaukseen.*

<b>Palonkesto aika, vaipan materiaali</b>	<b>Asuntotietokanta</b>	<b>Nimellisjakauma</b>	<b>Nimellisjakauma, ikkunoiden ala 10% lattia-alasta</b>
<b>60 min, kipsilevy</b>	16,5 %	31,8 %	37,4 %
<b>60 min, betoni</b>	5,88 %	16,3 %	22,5 %

Kun kantavien puurakenteiden (joilla ilman suojausta R60-luokitus) hiiltymisen estämiseen käytetään suojaverhousta, jonka materiaali on kipsilevyä tai vastaavaa (vähintään A2-s1, d0) ja ekvivalentti palonkesto aika on vähintään 60 minuuttia, voidaan olettaa puurakenteen sortumisen todennäköisyyden olevan samalla tasolla kuin kipsilevyllä (tai vastaavalla) suojatun teräsrakenteen (tai vastaavan, joka täyttää A2-s1, d0 vaatimuksen), joka on mitoitettu R60:een (esim. 2 - 14 % taulukon 15 mukaan). Tämä perustuu siihen, että 60 minuutin suojaverhous (K60) estää suojaverhouksen takana olevan puun syttymisen ja hiiltymisen niissä tapauksissa, joissa ekvivalenttinen palonkesto aika (joka kattaa koko parametrin palon rasiuksen) on korkeintaan tunti. Lisäksi puurakenteelle (ilman suojaverhousta) mitoitettu palonkestävyys R60 estää nopean sortumisen suojaverhouksen vaikutuksen päätyttyä myös kaikissa niissä tapauksissa, joissa ekvivalentti palonkesto aika ylittää tunnin. Oleellista on myös se, että käytetään vähintään A2-s1, d0 luokan suojaverhousta, joka ei itse osallistu paloon.

#### Toimistorakennukset

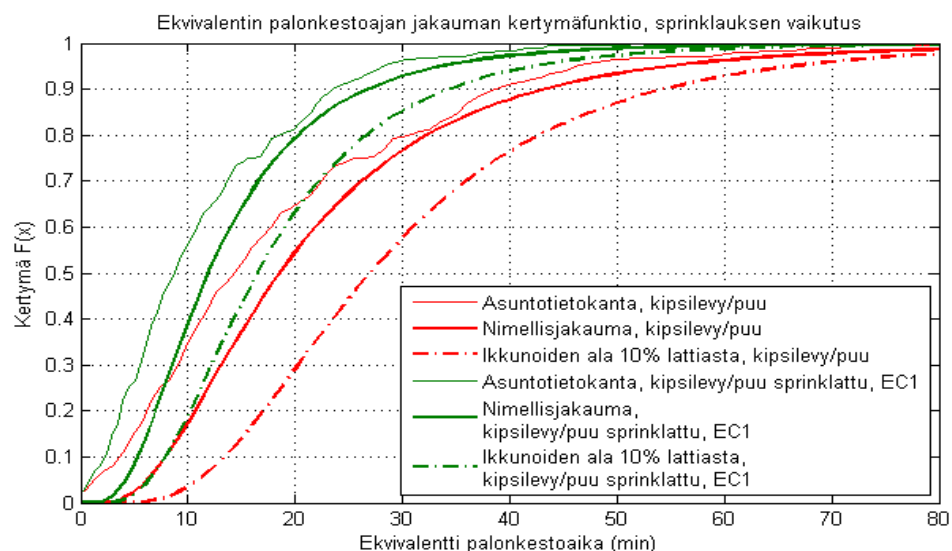
Korpelan toimistorakennusten palokuormien tiheyksien määrittämisessä (Korpela 1999) perinteisten yksittäisten toimistohuoneiden pinta-alat keskittyivät kokoluokkaan 10 - 20 m<sup>2</sup>. Edellä olevat tulokset soveltuvat näille suoraan palokuormaryhmässä alle 600 MJ/m<sup>2</sup>, kun huoneet ovat joko (lähes) omia palo-osastoja tai niistä koostuvan palo-osaston koko on korkeintaan 100 m<sup>2</sup>. Tätä suuremmat tilat käsitellään seuraavassa avokonttoreina, joiden pinta-ala on 100 - 500 m<sup>2</sup> (yläraja seuraa käytettyjen menetelmien pätevyysalueesta). Taulukossa 17 on esitetty nimellisjakauman (ikkunoiden pinta-ala on asetettu 10 %:iin lattiapinta-alasta) palokuormiin perustuen avokonttorien osuudet, joissa 10, 30 ja 60 minuutin ekvivalentit palonkestoajat ylittyvät ja verrattu niitä asuinrakennusten huoneistojen (palo-osastojen) vastaaviin arvoihin. Vertailun mukaan avokonttoreiden huoneistoja suuremmissa tiloissa palorasitus on jonkin verran ankarampi: ekvivalentin palonkestoajan ylittävä osuus kasvaa 60 min/kipsilevyvaippa -tapauksessa 14,3 %:sta 19,7 %:iin.

Taulukko 17. 10, 30 ja 60 min ekvivalenttien palonkestoajojen ylittävien avokonttorien osuudet verrattuna asuinrakennusten huoneistojen vastaaviin arvoihin (ei sprinklausta).

Palonkestoaja, vaipan materiaali	Nimellisjakauma, ikkunoiden ala 10 % lattia-alasta	
	Avokonttorit 100 - 500 m <sup>2</sup>	Asuinrakennusten huoneistot
10 min, kipsilevy	98,0 %	98,0 %
30 min, kipsilevy	64,7 %	52,0 %
60 min, kipsilevy	19,7 %	14,3 %
60 min, betoni	10,2 %	7,25 %

### 3.2.2 Palonkestoajat sprinklatuissa tapauksissa

Eurocode 1:n todellisuutta kovin yksinkertaistetusti kuvaava menetelmä määrittelee sprinklerin vähentävän palokuormaa 39 %:lla (huom. tätä menetelmää ei myöskään ole otettu käyttöön). Kuvassa 19 on esitetty sprinklerin vaikutus Eurocode 1:n mukaan edellä laskettuihin ekvivalentteihin palonkestoaikoihin.

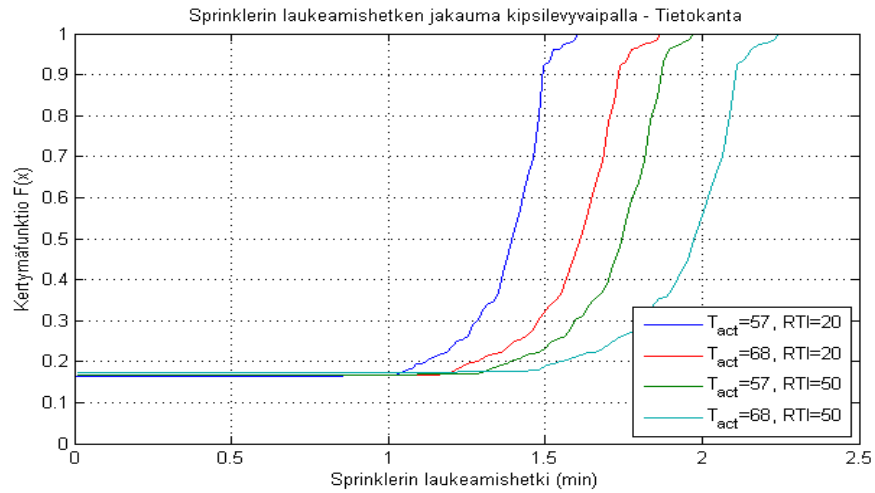


Kuva 19. Kipsilevyvaipan palonkestoajan jakaumat verrattuna vastaaviin jakaumiin, jos huoneissa olisi sprinklaus (Eurocode 1:n mukaisesti palokuormasta oletetaan palavan 61 %).

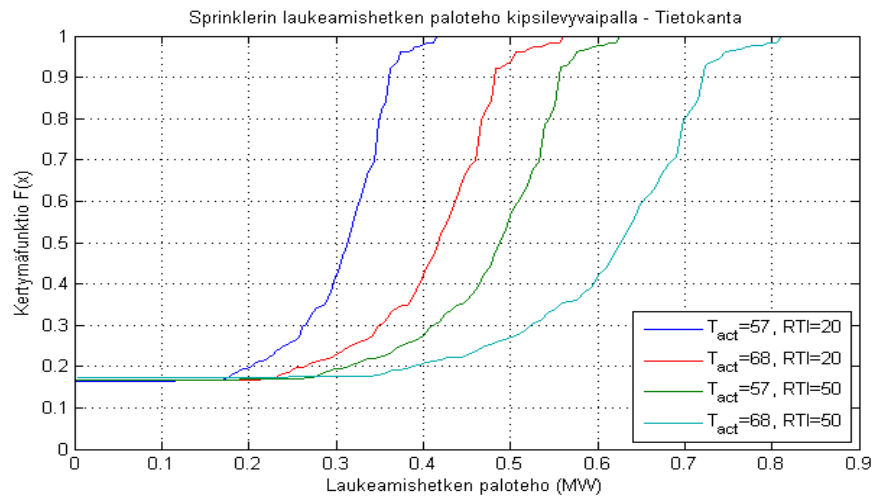
Sprinklereiden vaikutusten tarkemmaksi arvioimiseksi käsitellään seuraavassa tilannetta ottaen huomioon sprinklereiden eri ominaisuuksia. Huoneiden sprinklausta tarkastellaan neljällä eri sprinklerillä, joissa käytetään laukeamislämpötiloja ( $T_{act}$ ) 57 ja 68 °C ja vasteaikaindeksejä (RTI) 50 ja 20 m<sup>1/2</sup>s<sup>1/2</sup>. Vesivuoksi ( $w$ ) on asetettu OH-luokan mukainen 5 mm/min.

Kuvassa 20 on esitetty neljän sprinklerin laukeamishetken vertailut, kuvassa 21 palotehot sprinklerien laukeamishetkellä, kuvassa 22 maksimilämpötilojen vertailut ja kuvassa 23 palaneen palokuorman palokuormatiheyden vertailut.

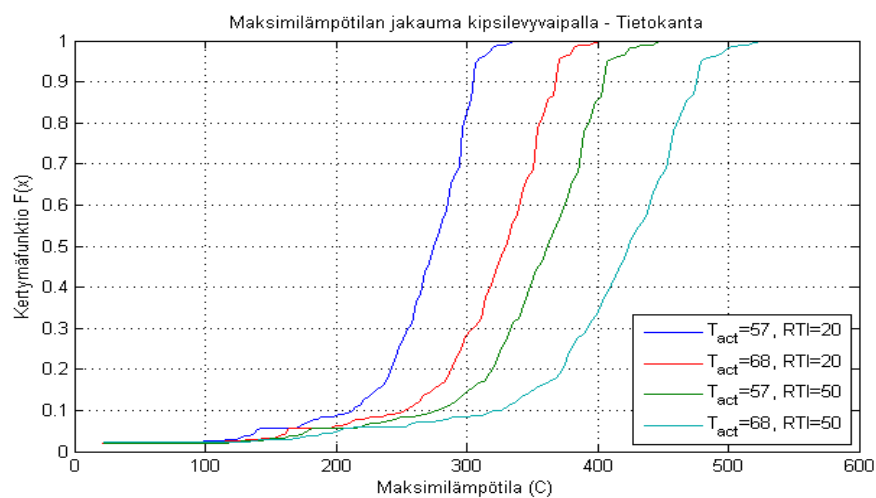




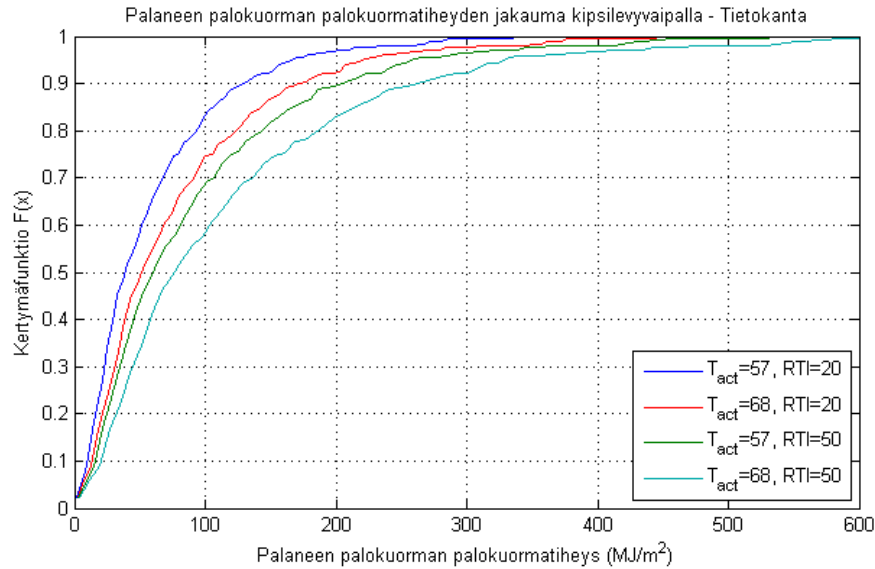
Kuva 20. Sprinklerien laukeamishetken vertailut.



Kuva 21. Palotehot sprinklerien laukeamishetkellä.



Kuva 22. Maksimilämpötilojen vertailut.

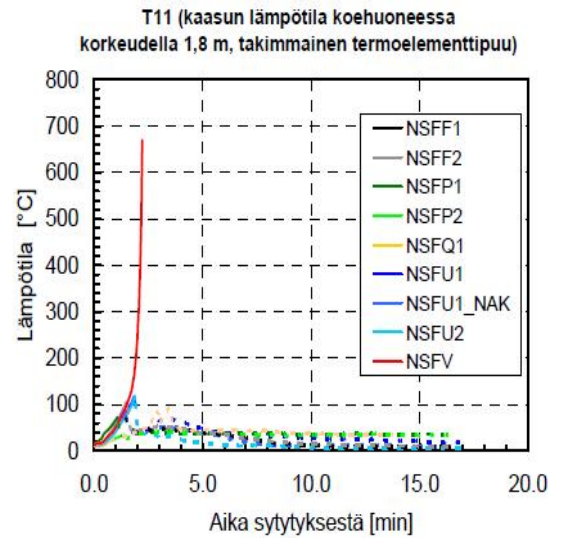
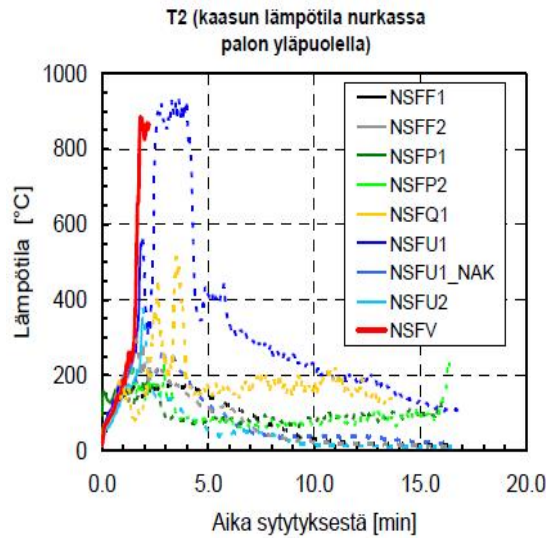


Kuva 23. Palaneen palokuorman palokuormatiheyden vertailut.

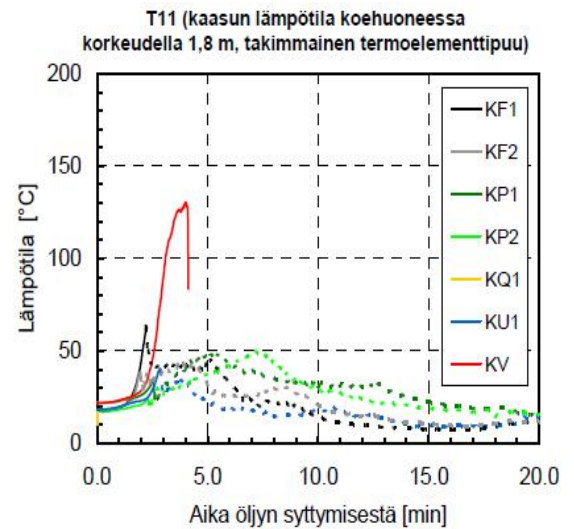
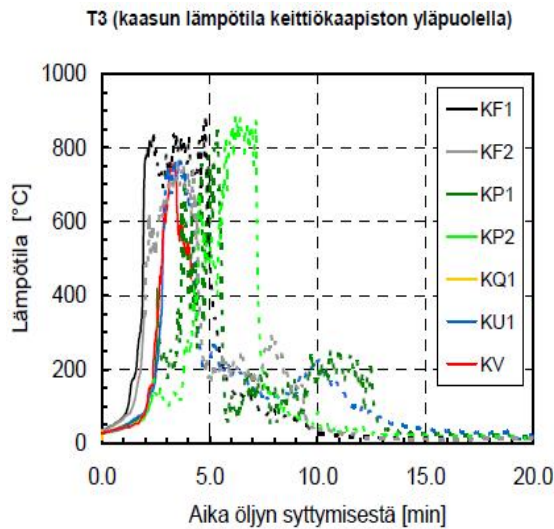
Mallinnettuja lämpötiloja voidaan verrata kuvan 24 asuntosprinklereitä vertaileiden nurkkapalo- ja keittiöpalokokeiden mittaustuloksiin (Vaari, Tillander, Rinne & Paloposki 2010). Tuloksista nähdään, että lämpötilat voivat käydä lyhytaikaisesti (1-2 min) jopa 800 °C:ssa paikallisesti palavan kohteen yläpuolella, mutta keskeimmällä huonetta lämpötilat jäivät aina alle 150 °C:n, useimmiten alle 50 °C:n.

Siinä tapauksessa, että sprinklaus toimii, on käytännössä todettu useimmiten palon rajoittuvan siihen huoneeseen, jossa se on alkanut. Siten lasketut tapaukset perustuvat huoneiden jakautumien käyttöön. Asuntotietokannan huoneille lasketut palonkestoaikojen jakaumat eri sprinklereillä kolmella eri tapauksella (palokuormat asuntotietokannan jakaumasta, nimellisjakaumasta ja nimellisjakaumasta siten, että ikkunoiden pinta-alat on asetettu 10 %:iin lattiapinta-alasta) on esitetty kuvissa 25, 26 ja 27. Kuviin on myös merkitty Eurocode 1:n mukaisen sprinklatun tapauksen palonkestoaajan jakaumat asuntotietokannan huoneille.

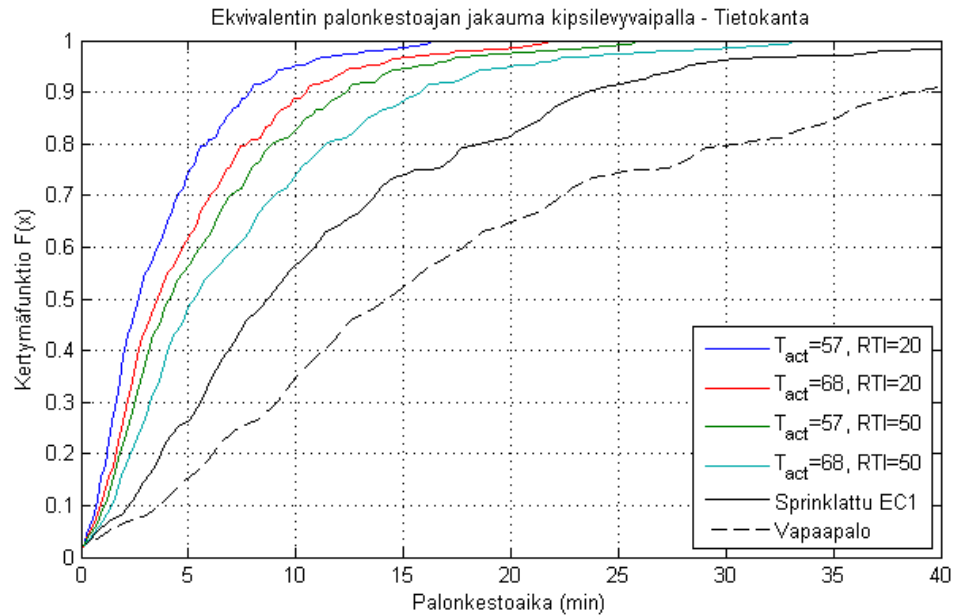
## a) Nurkkapalokoe



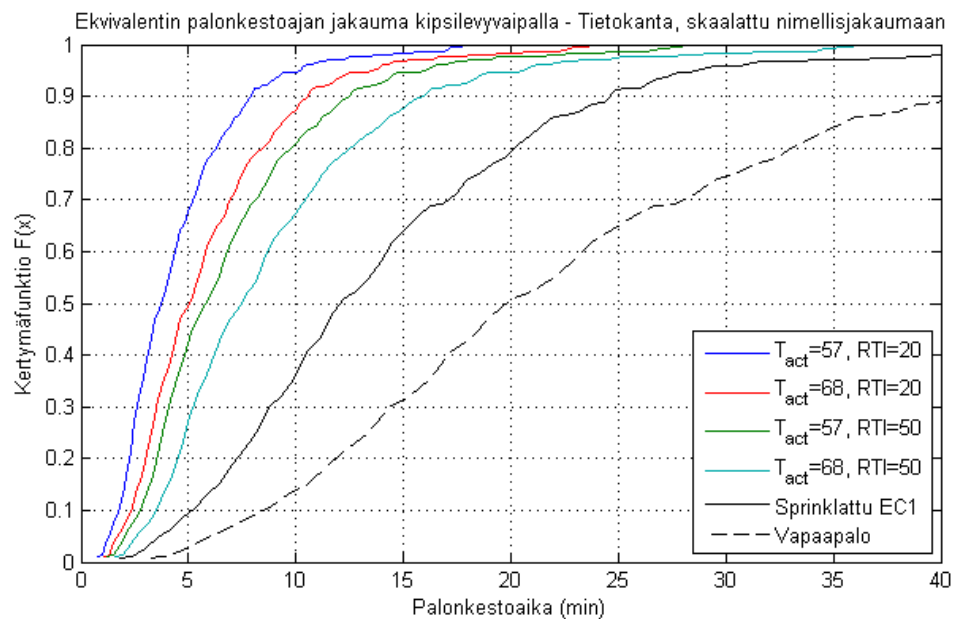
## b) Keittiöpalokoe



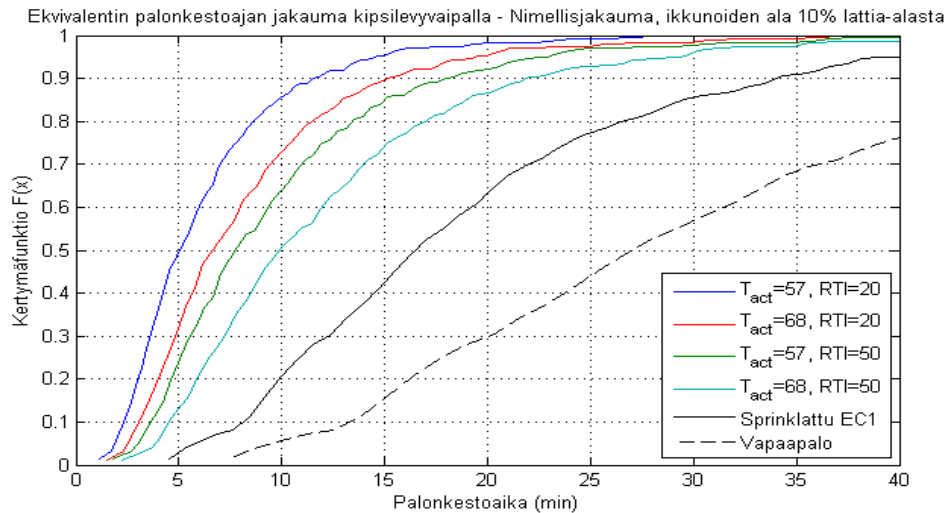
Kuva 24. Nurkkapalokokeiden (a) ja keittiöpalokokeiden (b) tuloksia eri asuntosprinklerijärjestelmillä. Koodit NSFV (a) ja KV (b) viittaavat vapaan palon kokeeseen (Vaari, Tillander, Rinne & Paloposki 2010).



Kuva 25. Asuntotietokannan huoneiden pahimman tapauksen palonkestoajojen jakaumat neljällä eri sammutusjärjestelmällä.



Kuva 26. Asuntotietokannan huoneiden pahimman tapauksen palonkestoajojen jakaumat neljällä eri sammutusjärjestelmällä. Kaikkien huoneiden palokuormatiheydet on skaalattu palokuormatiheyden nimellisjakauman mukaisiksi.



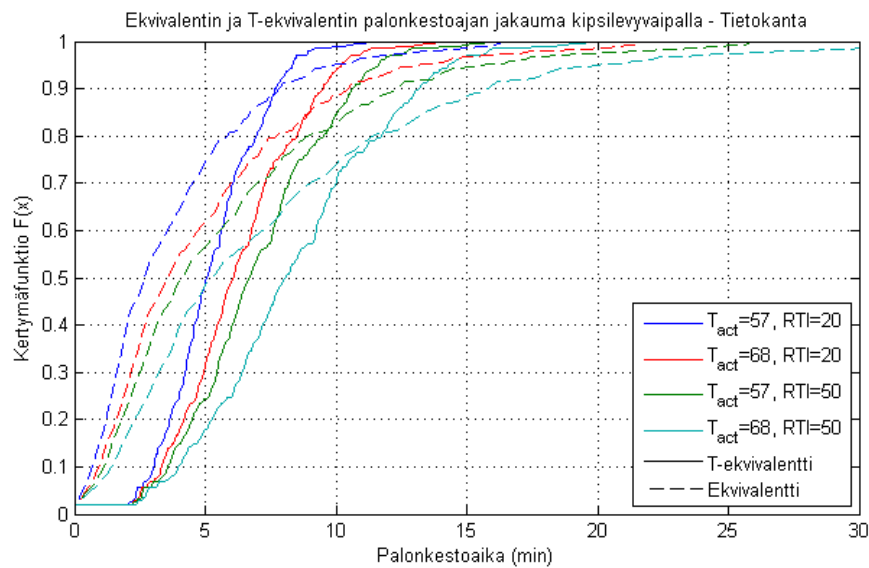
Kuva 27. Asuntotietokannan huoneiden pahimman tapauksen palonkestoajojen jakaumat neljällä eri sammutusjärjestelmällä. Kaikkien huoneiden ikkunoiden pinta-alat on asetettu 10 %:iin lattiapinta-alasta.

Taulukossa 18 on esitetty yhteenveto kuvien 25-27 jakaumien mukaisesta 10, 30 ja 60 min ekvivalentin palonkestoajan (Eurocode 1) ylittävien huoneiden osuuksista erityyppisillä sprinklereillä verrattuna Eurocode 1:n yksinkertaiseen palokuorman vähennysmenetelmään ja vapaan palon tapaukseen.

Taulukko 18. Kuvien 25-27 jakaumien mukaiset 10, 30 ja 60 min ekvivalentin palonkestoajan (Eurocode 1) ylittävien huoneiden osuudet neljällä eri sammutusjärjestelmällä ja vapaan palon tapauksessa. Kipsilevyvaippa.

Palonkesto aika	10 min	30 min	60 min
<b>Suora tietokannan jakauma</b>			
Vapaapalo	65,1 %	20,4 %	2,30 %
Sprinklattu EC1	43,4 %	3,81 %	0,00 %
$T_{act} = 68, RTI = 50$	25,9 %	1,42 %	0,00 %
$T_{act} = 57, RTI = 50$	17,2 %	0,00 %	0,00 %
$T_{act} = 68, RTI = 20$	11,3 %	0,00 %	0,00 %
$T_{act} = 57, RTI = 20$	4,77 %	0,00 %	0,00 %
<b>Nimellisjakaumaan skaalattu</b>			
Vapaapalo	86,1 %	25,6 %	2,68 %
Sprinklattu EC1	63,7 %	4,14 %	0,00 %
$T_{act} = 68, RTI = 50$	32,4 %	1,66 %	0,00 %
$T_{act} = 57, RTI = 50$	19,1 %	0,28 %	0,00 %
$T_{act} = 68, RTI = 20$	12,5 %	0,00 %	0,00 %
$T_{act} = 57, RTI = 20$	5,23 %	0,00 %	0,00 %
<b>Nimellisjakaumaan skaalattu, ikkunoiden ala 10 % lattia-alasta</b>			
Vapaapalo	94,1 %	43,2 %	7,26 %
Sprinklattu EC1	79,2 %	14,3 %	0,83 %
$T_{act} = 68, RTI = 50$	49,2 %	4,06 %	0,00 %
$T_{act} = 57, RTI = 50$	35,9 %	2,21 %	0,00 %
$T_{act} = 68, RTI = 20$	26,9 %	1,58 %	0,00 %
$T_{act} = 57, RTI = 20$	14,2 %	0,00 %	0,00 %

Kuvassa 28 on esitetty asuntotietokannan huoneiden Eurocode 1:n ekvivalentin palonkestoajan ja T-ekvivalentin palonkestoajan jakaumat edellä mainituilla neljällä sprinklerityypillä. T-ekvivalentin menetelmän mukaan lasketut tulokset on esitetty taulukossa 19 palokuormatiheyden nimellisjakaumaan skaalattujen ja ikkunoiden pinta-ala 10 %:iin lattiapinta-alasta asetettujen huoneiden tapauksessa. Tulosten mukaan tutkituilla sprinklerityypeillä 30 minuutin suojaverhouksen todetaan pystyvän estämään takana olevan puurakenteen hiiltymisen 100 %:n todennäköisyydellä T-ekvivalentin menetelmän mukaan ja keskimäärin 98 %:n todennäköisyydellä sovellettaessa Eurocode 1:n ekvivalenttia menetelmää (joka olettaa sprinklatussakin tapauksessa lämpötilojen nousevan korkealle ja johtavan siten ekvivalenttien palonkestoajojen yliarviointiin).



Kuva 28. Asuntotietokannan huoneiden Eurocode 1:n ekvivalentin palonkestoajan ja T-ekvivalentin palonkestoajan jakaumien vertailu sprinklatun tilan tapauksessa.

Taulukko 19. Palokuormatiheyden nimellisjakaumaan skaalattujen ja ikkunoiden pinta-ala 10 %:iin lattiapinta-alasta asetettujen huoneiden T-ekvivalenttien palonkestoajojen jakaumien mukaiset 10 ja 30 min ylittävien huoneiden osuudet neljällä eri sammutusjärjestelmällä. Kipsilevyvaippa.

Palonkesto aika	10 min	30 min
$T_{act} = 68, RTI = 50$	46,0 %	0,00 %
$T_{act} = 57, RTI = 50$	16,0 %	0,00 %
$T_{act} = 68, RTI = 20$	6,91 %	0,00 %
$T_{act} = 57, RTI = 20$	1,11 %	0,00 %

### Toimistorakennukset

Perinteisellä huonejaolla toteutettujen toimistotilojen osalta voidaan olettaa, että automaattinen sammutuslaitteisto rajaa palon kuten edellä kuvatuissa asuntopaloissa. Avokonttoreiden (pinta-ala korkeintaan 500 m<sup>2</sup>) oletuksena voidaan pitää samaa palon rajaamisen oletusta, jolloin edellä esitetyt sprinklauksen vaikutukset pätevät näillekin tapauksille. Molemmille tapauksille palokuormaryhmän oletuksena on alle 600 MJ/m<sup>2</sup>.

### 3.2.3 Tapahtumapuuanalyysi

Tapahtumapuuanalyysillä selvitetään automaattisella vesisammutuslaitteistolla suojattujen tarkastelukohteiden (c, d) päätymistä tulipalossa tilaan, jossa paikallinen sortuma tulee mahdolliseksi. Tapahtumapuun avulla arvioidaan paikalliseen sortumaan johtavien tapahtumaketjujen todennäköisyys.

Tapahtumapuussa jokainen yksittäinen reitti palon syttymisestä tapahtumaketjun lopulliseen todennäköisyyteen on yksiselitteinen ja toiset tapahtumaketjut poissulkeva. Tapahtumapuun eri haarojen todennäköisyydet ovat toisistaan riippumattomia eli alkusammutuksen todennäköisyys ei riipu mallissa siitä, miten tulipalo on aikaisemmassa vaiheessa havaittu eikä automaattisen vesisammutuslaitteiston toimintavarmuus riipu alkusammutustoimista.

Tapahtumapuuanalyysissä palon syttymisen todennäköisyys asetetaan varmaksi tapahtumaksi. Tapahtumaketju etenee vasemmalta oikealle siten, että kussakin tapahtumapuun haarassa kyseisen tapahtuman onnistuminen vie ylöspäin johtavalle haaralle ja epäonnistuminen vie alas. Jokaisessa tapahtumapuun haarassa on vain kaksi vaihtoehtoa, jotka ovat toisensa poissulkevia eli todennäköisyyksien summa jokaisessa haarassa on 1. Onnistumisen todennäköisyys on merkitty tapahtumapuuhun kirjainsymbolilla (A-H). Tapahtumapuu kokonaisuudessaan esitetään liitteessä A.

#### 3.2.3.1 Tapahtumapuun haarautumien todennäköisyydet

Kaikki esitetyt tapahtumapuun haarautumisen todennäköisyydet on arvioitu tulipalon syttymisen ja sortuma-ajan välisenä aikana. Tulipalo huomataan aistinvaraisesti todennäköisyydellä 1, jos aikadimensiota ei oteta käyttöön. Kaikki tulipalot siis havaitaan jossakin vaiheessa, mutta viivästyneellä havainnolla ei enää ole vaikutusta rakennuksen sortumaan. Jos tulipalo havaitaan ekvivalentin palonkestoajan kuluessa, paikallisen sortuman mahdollisuus pienenee, koska tulipalon havaitseminen voi johtaa toimiin sortuman estämiseksi.

- Palovaroitin havaitsee palon ja antaa hälytyksen; A  
Palovaroittimen tulipalon havaitsemisen todennäköisyys ei vaikuta lopullisiin sortuman todennäköisyyksiin millään tavalla. Haarautumien A ja B todennäköisyydet on tapahtumapuussa kytketty toisiinsa. Palovaroittimen hälytys on turha, jos ihminen ei ole sitä havaitsemassa. Palovaroittimen oletetaan olevan huoneistokohtainen ja se aiheuttaa

toimiessaan äänisignaalin kohteessa. Palovaroittimen toimintavarmuus on asetettu arvoon 0,98.

- Tulipalo havaitaan aistinvaraisesti; B  
Aistinvarainen tulipalon havaitseminen tarkoittaa tapahtumapuussa todennäköisyyttä havaita tulipalo ennen paikallisen sortuman tapahtumista. Kerrostalon huoneistopalon havaitsemisen todennäköisyys ensimmäisen tunnin aikana on vaikeasti määriteltävissä, sillä varmuutta palon alkamishetkestä ei ole. Palovaroittimen äänisignaalin havaitseminen otetaan huomioon tapahtumapuussa, mutta palovaroittimen toiminnan todennäköisyys ei vaikuta lopullisiin sortuman todennäköisyyksiin. Palovaroittimen toimintavarmuus vaikuttaa vain aistinvaraisen tulipalon havainnon varmuuteen, mutta todennäköisyyttä aistinvaraisen tulipalon havainnointiin, joka johtuu palohälyttimestä, ei pystytä eriyttämään muista aistinvaraisista tulipalon havainnoista. Tapahtumapuussa käytetään aistinvaraiselle tulipalon havaitsemiselle todennäköisyyttä 0,75 ja 1,0. Aistinvarainen palon havaitseminen johtaa aina alkusammutuksen yritykseen.
- Alkusammutustoimet onnistuvat kohteessa; C  
Lähteessä (Korhonen, T. & Hietaniemi, J. 2004) on käytetty pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilastoa, jonka avulla oli selvitetty vuosina 1996–2001 kerrostaloissa syttyneille paloille arvio alkusammutuksen onnistumisesta. Lähteessä arvioidaan, että alkusammutus sammutti palon 14 %:ssa tapauksista ja 8 %:ssa tapauksista alkusammutus rajoitti palon kehitystä. Paloriskin arvioinnin tilastopohjaiset tiedot (Tillander, K., Oksanen, T., Kokki, E. 2009) tutkimuksessa käytettiin samaa tietolähdettä, mutta uudemmilla tiedoilla. Alkusammutus sammutti asuinrakennuspalon 15 %:ssa tapauksista. Alkusammutustoimien onnistumiselle tapahtumapuussa käytetään arvoja 0,1 ja 0,20.
- Automaattinen vesisammutuslaitteisto toimii; D  
Tapahtumapuun haara automaattiselle vesisammutuslaitteistolle sisältää toimintavarmuuden todennäköisyyden lisäksi arvion sammutustehokkuudesta. Yhdysvalloissa kansallinen paloturvallisuusjärjestö (NFPA) kerää tietoja automaattisten vesisammutusjärjestelmien toiminnasta tulipaloissa. Tilastoista tehdyn yhteenvedon mukaan asuinrakennuksissa automaattisten vesisammutuslaitteistojen toimintavarmuudeksi on saatu 97 % (Hall, John R. 2006). 3 % asuntoihin asennetuista automaattisista vesisammutuslaitteistoista ei ole toiminut tulipaloissa, jotka ovat olleet kooltaan periaatteessa riittävän suuria laukaisemaan järjestelmän. Yhteenvedossa on arvioitu myös, että automaattisella vesisammutuslaitteistolla on ollut asuinrakennuksen tulipaloon myönteinen vaikutus 93 %:ssa tapauksista. Automaattisen vesisammutuslaitteiston toimintavarmuudelle käytetään tapahtumapuussa arvoja 0,90 ja 0,97.



- Palo tukahtuu eikä saavuta parametrinen lämpötilakäyrän mukaista kehitystä; E  
 Lähteen (Korhonen, T. & Hietaniemi, J. 2004) avulla voidaan arvioida asuinkerrostaloissa syttyneiden tulipalojen tukahtumalla rajoittuneiden palojen osuutta. Asuinkerrostalojen sisällä syttyneistä paloista 74 % rajoittui syttymishuoneeseen tai sen osaan hetkellä, jolloin pelastuslaitos saapui kohteeseen. 26 % paloista on ollut tätä laajempia. Osa paloista olisi saattanut jatkaa leviämistään ilman pelastuslaitoksen puuttumista tapahtumiin. Ylärajaksi haarautumisen todennäköisyydelle otetaan 0,74, eli kaikki pelastuslaitoksen havaitsemat palot rajoittuvat syttymishuoneeseen eivätkä leviä eteenpäin vaikka pelastuslaitos ei niihin puuttuisikaan. Alarajana käytetään arvoa 0,3, eli paloista 30 % tukahtuu syttymishuoneeseen eivätkä huoneen aukot aukea palon aikana. Tapahtumapuussa käytetään palon tukahtumiselle arvoja 0,3 ja 0,74.
- Pelastuslaitos sammuttaa palon; F  
Tässä projektissa on perusoletukseksi määritelty se, että pelastuslaitos ei vaikuta palon etenemiseen tarkasteltaessa sortumaan johtavien palorasitusten todennäköisyyttä. Todennäköisyys asetetaan nollassi.
- Ekvivalentti palonkestoaja ylitetään / hiiltymisen alkaa suojaverhouksen takana; G  
 Haarautumassa ekvivalentin palonkestoajan ylittymisen todennäköisyys eri tarkastelukohteille (a-e) otetaan esim. taulukossa 13 esitetyistä nimellisjakauman arvoista (esim. ekvivalentin palonkestoajan ylitys 60 minuutin kipsilevy-pinnoilla on 0,0268).
- Hiiltymisen alkaa sprinklauksesta huolimatta; H  
 Käytetään haarautumassa onnistumisen todennäköisyytenä arvoja 0 ja 0,01 (K30 tapaukset). Paremmiin todellisiin lämpötilaolosuhteisiin huomioon otettavan T-ekvivalentin menetelmän mukaan todennäköisyys pahimmassakin tapauksessa on 0,0. Ylärajana käytetään kuitenkin 1 %:n todennäköisyyttä, mikä on suuruusluokaltaan käytetyn kahden konservatiivisen menetelmän tulosten keskiarvo.

Tapahtumapuussa on otettu huomioon kaikki oleelliset tulipalon etenemiseen vaikuttavat seikat. Näistä suurin osa on kuitenkin kaikille tarkastelutapauksille oleellisesti samoja. Esimerkiksi palon havaitseminen ja tukahtuminen eivät riipu rakennuksen runkomateriaalista tai kerrostalon kerroslukumäärästä.

### 3.2.4 Tapahtumapuun antamat ekvivalentin palonkestoajan ylityksen todennäköisyydet

Tapahtumapuun antamia todennäköisyyksiä ei pystytä vertaamaan suoraan todellisuuteen. Todellisten tulipalojen kohdalla on erittäin harvinaista, että pelastuslaitos ei puutu tapahtumien kulkuun.

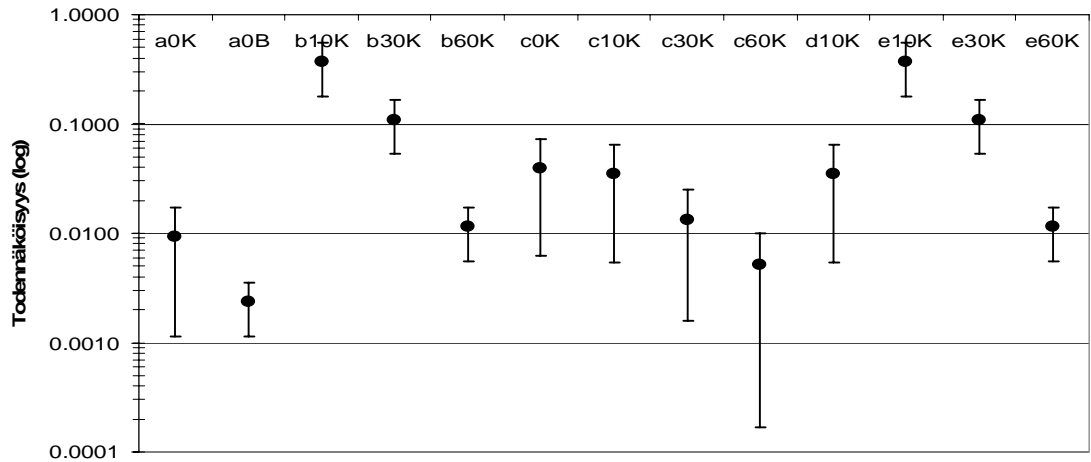
Kuvassa 29 esitetään tapahtumapuun avulla lasketut ekvivalentin palonkestoajan ylitysten (jotka voivat johtaa paikalliseen sortumaan) todennäköisyydet kun

pelastuslaitos ei puutu tapahtumien kulkuun ja kun palokuormana käytetään nimellisjakaumaa. Kuvassa 30 esitetään vastaavat arvot, kun ikkunoiden pinta-ala on 10 % huoneen tai huoneiston (palo-osaston) lattiapinta-alasta. Tapahtumapuussa haarautumien todennäköisyyksiä on vaihdeltu edellä esitetyissä puitteissa siten, että kaikki eri kombinaatiot on laskettu. Kombinaatioista kuvassa esitetään minimi- ja maksimiarvot sekä keskiarvo. Kuvissa esitettyjen vaihteluvälien suurimmat arvot on koottu taulukkoon 20 kuvaamaan oletettua kriittisintä tilannetta.

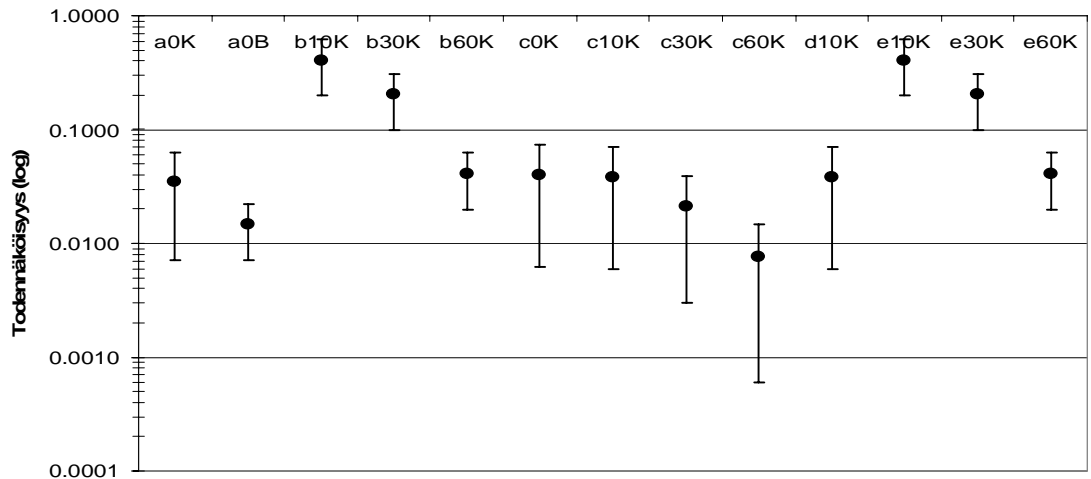
Kerrostaloasuntojen ikkunoiden pinta-alan rajaaminen arvoon 10 % lattiapinta-alasta, kuten kuvan 30 tapauksessa on tehty, nostaa ekvivalentin palonkestoajan ylitysten todennäköisyyttä tarkasteltavissa tapauksissa. Aukkojen jakauman rajaaminen keinotekoisesti kaventaa myös tapahtumapuun avulla laskettavia ekvivalentin palonkestoajan ylitysten todennäköisyyksien vaihteluvälejä.

Ekvivalentin palonkestoajan ylitysten todennäköisyys avokonttoreille, joiden yhtenäisen avoimen tilan (palo-osaston) pinta-ala on 100 - 500 m<sup>2</sup> ja ikkunoiden pinta-ala on 10 % lattiapinta-alasta, on esitetty kuvassa 31.

**Ekvivalentin palonkestoajan ylityksen todennäköisyys /  
nimellisjakauma / huone  
(pelastuslaitos ei puutu tapahtumiin)**



**Ekvivalentin palonkestoajan ylityksen todennäköisyys /  
nimellisjakauma / koko huoneisto  
(pelastuslaitos ei puutu tapahtumiin)**



**Koodiavain**

(a0K) tarkastelukohde

a = max 8 krs, P1, betoni-/teräsrunko, ei sprinklausta (referenssi)

b = 5-8 krs, P2, puurunko, ei sprinklausta

c = 5-8 krs, P2, puurunko, sprinklaus

d = 3-4 krs, P2, puurunko, sprinklaus (referenssi)

e = 3-4 krs, P2, puurunko, ei sprinklausta

(a0K) suojaverhous

Suojaverhouksen minuuttiluokka

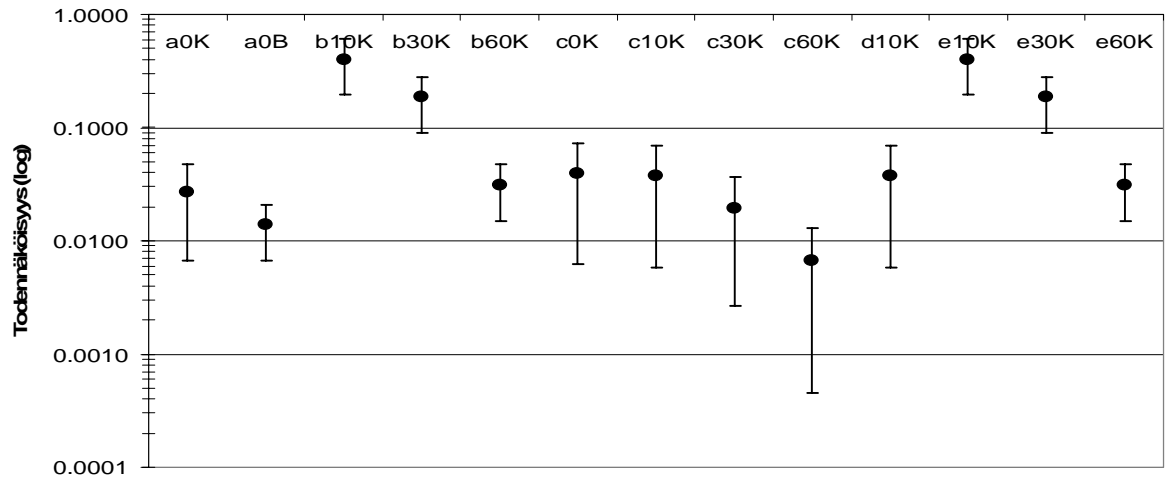
(a0K) verhoilumateriaali

K = Kipsilevy

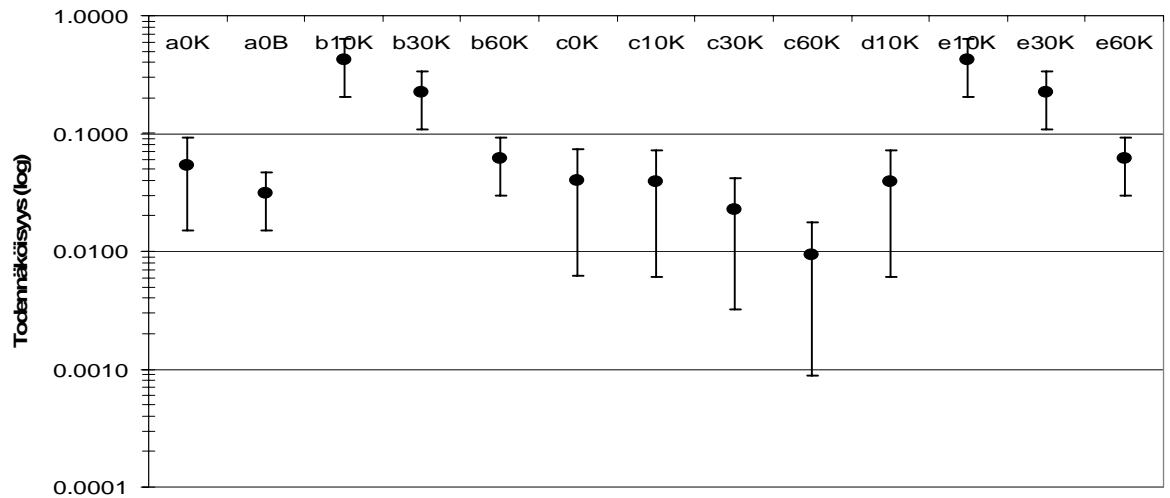
B = Betoni

*Kuva 29. Ekvivalentin palonkestoajan ylitysten todennäköisyys käytettäessä nimellisjakaumaa kun pelastuslaitos ei puutu tapahtumiin. Kuvassa esitetään tapahtumapuun avulla laskettu vaihteluväli sekä vaihteluvälin keskiarvo huoneille ja huoneistoille.*

**Ekvivalentin palonkestoajan ylityksen todennäköisyys /  
ikkunoita 10% lattia-alasta / huone  
(pelastuslaitos ei puutu tapahtumiin)**



**Ekvivalentin palonkestoajan ylityksen todennäköisyys /  
ikkunoita 10% lattia-alasta / koko huoneisto  
(pelastuslaitos ei puutu tapahtumiin)**



**Koodiavain**

(a0K) tarkastelukohde

a = max 8 krs, P1, betoni-/teräsrunko, ei sprinklausta (referenssi)

b = 5-8 krs, P2, puurunko, ei sprinklausta

c = 5-8 krs, P2, puurunko, sprinklaus

d = 3-4 krs, P2, puurunko, sprinklaus (referenssi)

e = 3-4 krs, P2, puurunko, ei sprinklausta

(a0K) suojaverhous

Suojaverhouksen minuuttiluokka

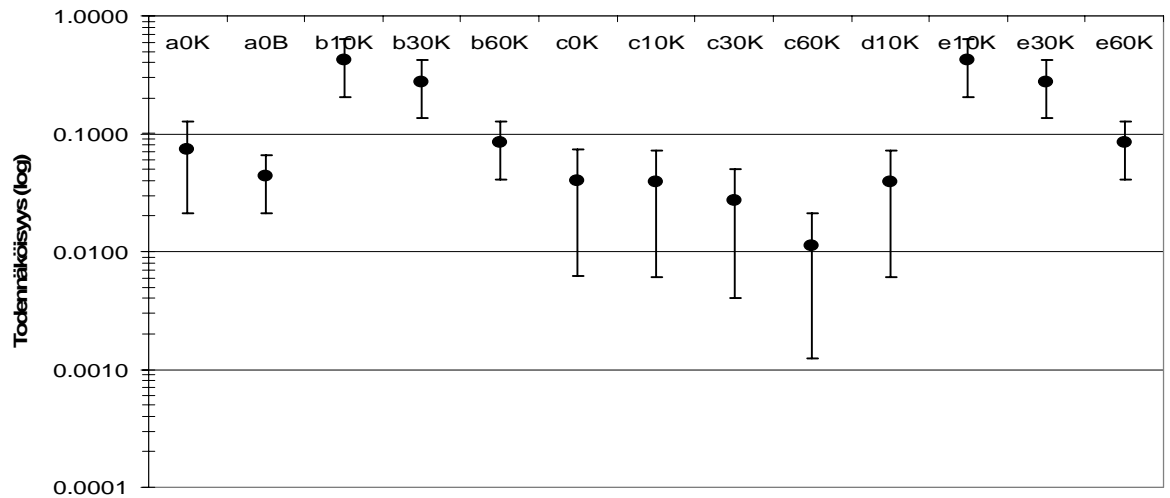
(a0K) verhoilumateriaali

K = Kipsilevy

B = Betoni

*Kuva 30. Ekvivalentin palonkestoajan ylitysten todennäköisyys kun ikkunan pinta-ala on 10 % lattiapinta-alasta ja kun pelastuslaitos ei puutu tapahtumiin (huoneet ja huoneistot).*

**Ekvivalentin palonkestoajan ylityksen todennäköisyys /  
ikkunoita 10% lattia-alasta / avokonttori alaltaan 100-500 m<sup>2</sup>  
(pelastuslaitos ei puutu tapahtumiin)**



**Koodiavain**

(a0K) tarkastelukohde

a = max 8 krs, P1, betoni-/teräsrunko, ei sprinklausta (referenssi)

b = 5-8 krs, P2, puurunko, ei sprinklausta

c = 5-8 krs, P2, puurunko, sprinklaus

d = 3-4 krs, P2, puurunko, sprinklaus (referenssi)

e = 3-4 krs, P2, puurunko, ei sprinklausta

(a0K) suojaverhous

Suojaverhouksen minuuttiluokka

(a0K) verhoilumateriaali

K = Kipsilevy

B = Betoni

*Kuva 31. Ekvivalentin palonkestoajan ylitysten todennäköisyys avokonttoreille, joiden yhtenäisen avoimen tilan (palo-osaston) pinta-ala on 100 - 500 m<sup>2</sup>, ikkunoiden pinta-ala on 10 % lattiapinta-alasta ja pelastuslaitos ei puutu tapahtumiin.*

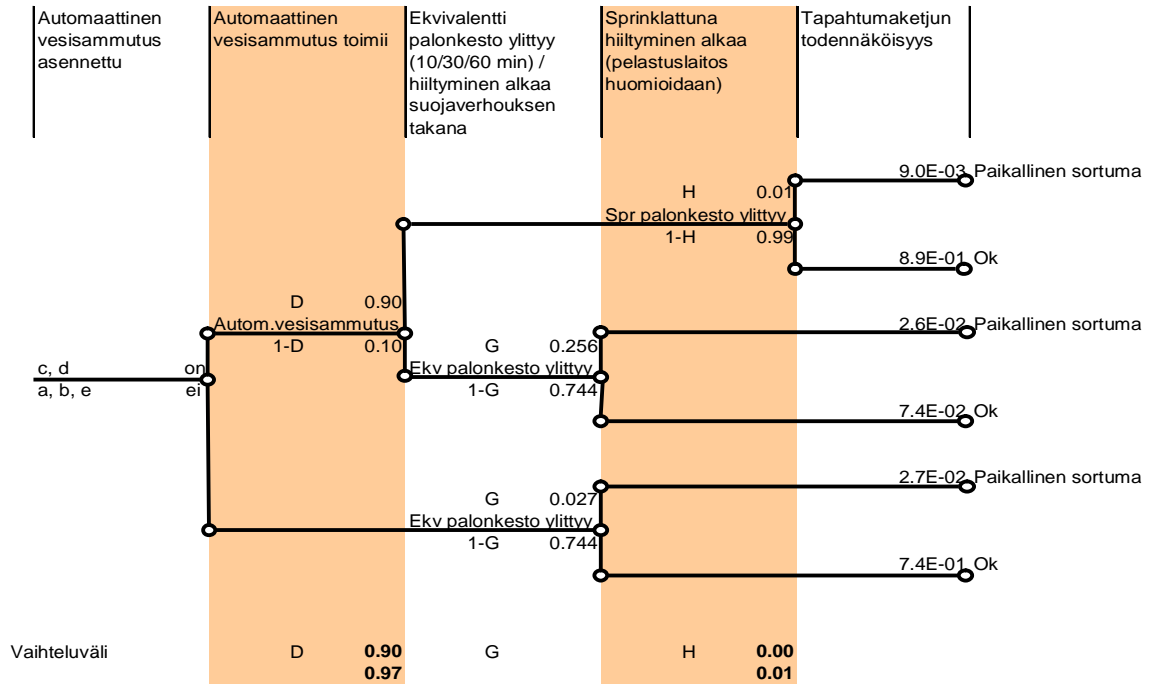
Taulukko 20. Paikalliseen sortumaan johtavan kriittisen palorasituksen todennäköisyyksien maksimi-arvot.

Koodi	Kerroksia	Runko/pinnat <sup>1</sup>	Sprinklaus	Suojaverhous	Ekvivalentin palonkestoajan ylityksen todennäköisyys				
					Nimellisjakauma		Ikkunoita 10 % lattia-alasta		
					huone	huoneisto	huone	huoneisto	avokonttori
a0K	≤ 8	A2 <sup>2</sup> /Kip	Ei		0,017	0,062	0,047	0,093	0,128
a0B	≤ 8	A2 <sup>2</sup> /Bet	Ei		0,004	0,022	0,021	0,047	0,066
b10K	5-8	Puu/Kip	Ei	10 min	0,557	0,615	0,609	0,635	0,635
b30K	5-8	Puu/Kip	Ei	30 min	0,166	0,310	0,280	0,337	0,419
b60K	5-8	Puu/Kip	Ei	60 min	0,017	0,062	0,047	0,093	0,128
c0K	5-8	Puu/Kip	Kyllä	0	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073
c10K	5-8	Puu/Kip	Kyllä	10 min	0,064	0,070	0,069	0,072	0,072
c30K	5-8	Puu/Kip	Kyllä	30 min	0,025	0,039	0,036	0,042	0,050
c60K	5-8	Puu/Kip	Kyllä	60 min	0,010	0,015	0,013	0,018	0,021
d10K	3-4	Puu/Kip	Kyllä	10 min	0,064	0,070	0,069	0,072	0,072
e10K	3-4	Puu/Kip	Ei	10 min	0,557	0,615	0,609	0,635	0,635
e30K	3-4	Puu/Kip	Ei	30 min	0,166	0,310	0,280	0,337	0,419
e60K	3-4	Puu/Kip	Ei	60 min	0,017	0,062	0,047	0,093	0,128

<sup>1</sup> Tilan vaipan materiaali; Kip = kipsilevy tai vastaava kevyt materiaali, Bet = betoni

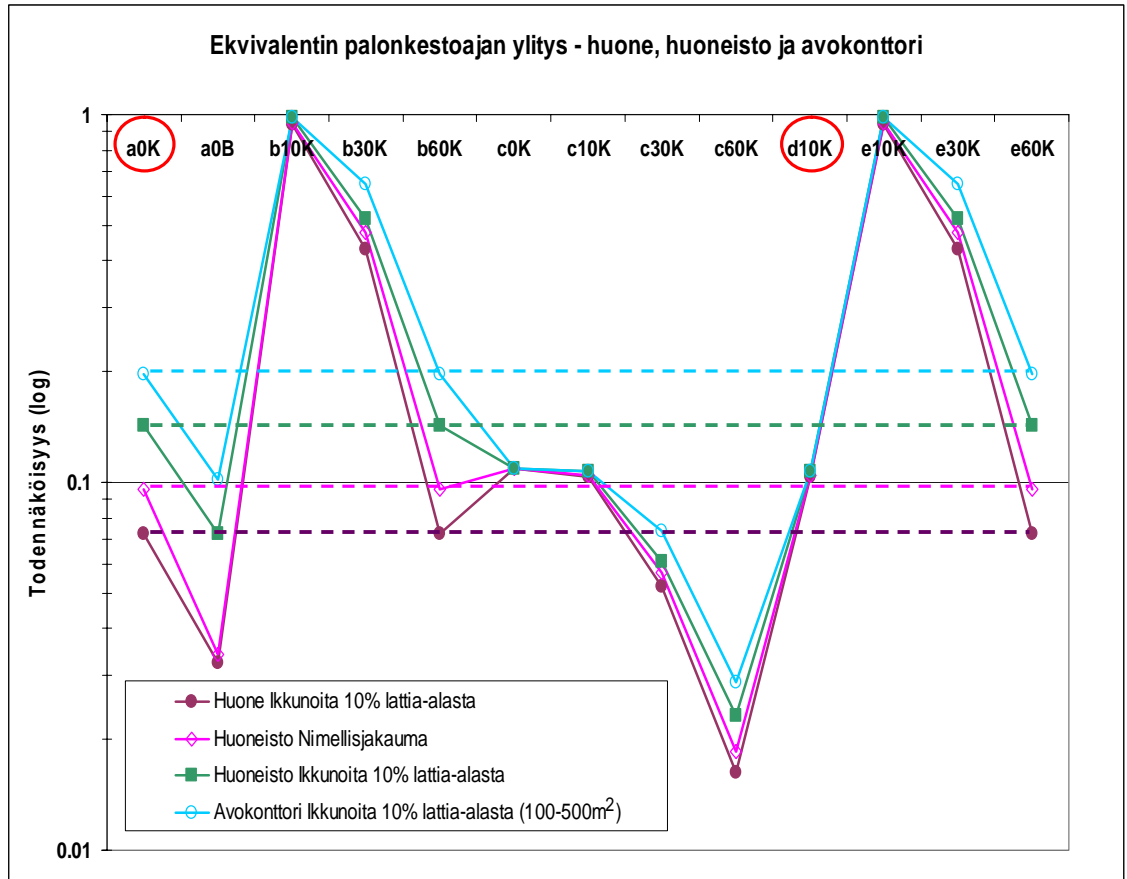
<sup>2</sup> Vähintään A2-s1, d0 -luokan tarvikkeista tehty

Erot eri tarkasteluvaihtoehtojen välillä syntyvät tapahtumapuun haaroissa D, G ja H. Tämä laskenta, joka tekee merkittävimmät erot eri vaihtoehtojen välille, voidaan suorittaa karsitulla tapahtumapuulla (kuva 32). Karsituksessa tapahtumapuussa ei oteta huomioon kaikille tarkasteluvaihtoehdoille yhteneviä haarautumisen todennäköisyyksiä, jotka todellisuudessa vaikuttavat tulipalon etenemiseen.



Kuva 32. Tapahtumapuun osa, jossa eri tarkasteluvaihtoehtojen väliset erot tulevat esille. Kuvassa esitetään kohdassa G ekvivalentin palonkeston ylitys tapauksessa c30K ja a0K.

Tarkastelun avulla saadaan suoraan esille eri tarkasteluvaihtoehtojen väliset erot ja niihin vaikuttavat todennäköisyydet. Kuvaan 33 on koottu vertailu, jossa referensseinä käytetyt tapaukset a0K ja d10K on nostettu esiin. Kuvassa esitettäviin ekvivalentin palonkestoajan ylityksen todennäköisyyksien maksimiarvoihin vaikuttavat vain edellisessä kuvassa esitettävät haarautumien todennäköisyydet. Todennäköisyyksien maksimiarvot on koottu myös taulukkoon 21.



Kuva 33. Kuvassa esitetään tarkasteluvaihtoehtojen mukaisesti rakennetun kerrostalon asuinhuoneille ja -huoneistoille sekä avokonttoreille paikallisen sortuman todennäköisyyden maksimi-arvot parametrin palorasituksen aiheuttamassa tulipalossa, kun tulipaloon vaikutetaan vain rakenteellisella suojauksella ja/tai sprinklauksella. Alkuarvoina käytetään nimellisjakaumaa ja todellista aukkotekijää tai nimellisjakaumaa ja aukkojen pinta-alana pienintä sallittua arvoa eli 10 % lattiapinta-alasta.



*Taulukko 21. Ekvivalentin palonkestoajan ylitykseen johtavan kriittisen palorasituksen todennäköisyyksien maksimiarvot kun käytetään karsittua tapahtumapuuta, jossa paikallisen sortuman todennäköisyyteen vaikuttavat vain rakenteet ja sprinklaus.*

Koodi	Kerrosia	Runko/pinnat <sup>1</sup>	Sprinklaus	Suojaverhous	Ekvivalentin palonkestoajan ylityksen todennäköisyys				
					Nimellisjakauma		Ikkunoita 10 % lattialalasta		
					huone	huoneisto	huone	huoneisto	avokonttori
a0K	≤ 8	A2 <sup>2</sup> /Kip	Ei		0,027	0,096	0,073	0,143	0,197
a0B	≤ 8	A2 <sup>2</sup> /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
c0K	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

<sup>1</sup> Tilan vaipan materiaali; Kip = kipsilevy tai vastaava kevyt materiaali, Bet = betoni

<sup>2</sup> Vähintään A2-s1, d0 -luokan tarvikkeista tehty

Mitä rankempia alkuoletuksia (= kriittisempiin tilanteisiin johtavia) tehdään palokuormajakaumasta tai aukkojen pinta-alan suhteesta huoneen tai huoneiston lattian alaan, sitä suurempi merkitys saadaan automaattiselle vesisammutuslaitteistolle käytetyllä tarkastelumenetelmällä. Edellisissä kuvissa tämä merkitys korostuu sprinklaamattomien vaihtoehtojen todennäköisyyksien suhteellisesti suurempana nousuna alkuarvojen muuttuessa rankempaan suuntaan.

Edellä oleva kuva ja taulukko viittaavat paikallisen sortuman olosuhteiden todennäköisyyteen eri alkuehdoilla tapauksissa, joissa parametrin palon rasiin vastataan vain passiivisilla rakenteilla ja/tai automaattisella vesisammutuslaitteistolla.

### 3.2.5 Tapahtumapuun todennäköisyyksien skaalaaminen todellisilla onnettomuuksilla

Edellä olleessa käsittelyssä tapahtumapuussa syttymän todennäköisyydeksi oletettiin 1 ja lisäksi palokunnan sammutustoimintaa ei otettu huomioon. Nyt palokunnan vaikutus otetaan huomioon ja tilastojen pohjalta arvioidaan syttymien todennäköisyys.

Pelastuslaitoksen toiminta huomioidaan tapahtumapuussa asettamalla pelastuslaitoksen onnistumisen todennäköisyys arvoon 0,99. Oletuksessa arvioidaan että palo-osasto rajaa palon yhteen osastoon 99 % varmuudella ja että kaikki yhden palo-osaston kokoiset palot pystytään sammuttamaan.

Palokuormajakaumaksi on vaihdettava asuntotietokannasta suoraan laskettu jakauma, kun aikaisemmin on käytetty siirrettyä nimellisjakaumaa. Onnettomuustilastoja hyödynnettäessä täytyy käyttää todellisia tilastoituja jakaumia, ei nimellisjakaumia. Asuntotietokannan avulla saadun palokuormajakauman avulla lasketut ekvivalenttien palonkestoaikojen ylittävien huoneiden osuudet oli esitelty taulukossa 13.

Palon syttymisen todennäköisyys vaihdetaan varmasta tapahtumasta todelliseksi syttymistajuustiheydeksi. Syttymistajuustiheys määritellään jakamalla tilastoitujen rakennuspalojen lukumäärä kyseisenä aikana tarkasteltavien rakennusten yhteenlasketulla kerrosalalla. Syttymistajuustiheyden yksikkö on [ $1/m^2a$ ], eli syttymien määrä kerrosalan neliometriä kohden vuodessa.

Onnettomuuksia on pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilastojärjestelmän PRONTO:n mukaan sattunut vuosina 2005–2007 keskimäärin 570 kappaletta asuinkerrostaloissa ja 43 kappaletta toimistorakennuksissa. Vuosien 2005–2007 aikana sattuneiden tulipalojen perusteella syttymistajuustiheydet ovat asuinkerrostaloissa  $6,59 \times 10^{-6} 1/m^2a$  ja toimistorakennuksissa  $2,60 \times 10^{-6} 1/m^2a$  (taulukko 22). Syttymistajuustiheys ei ole viimeisten kymmenen vuoden aikana juurikaan muuttunut. Asuinrakennuksille, kattaen myös pientalot, vuosien 1996–2001 tilastoista laskettu arvo on ollut  $6,3 \times 10^{-6} 1/m^2a$  (Tillander 2004).

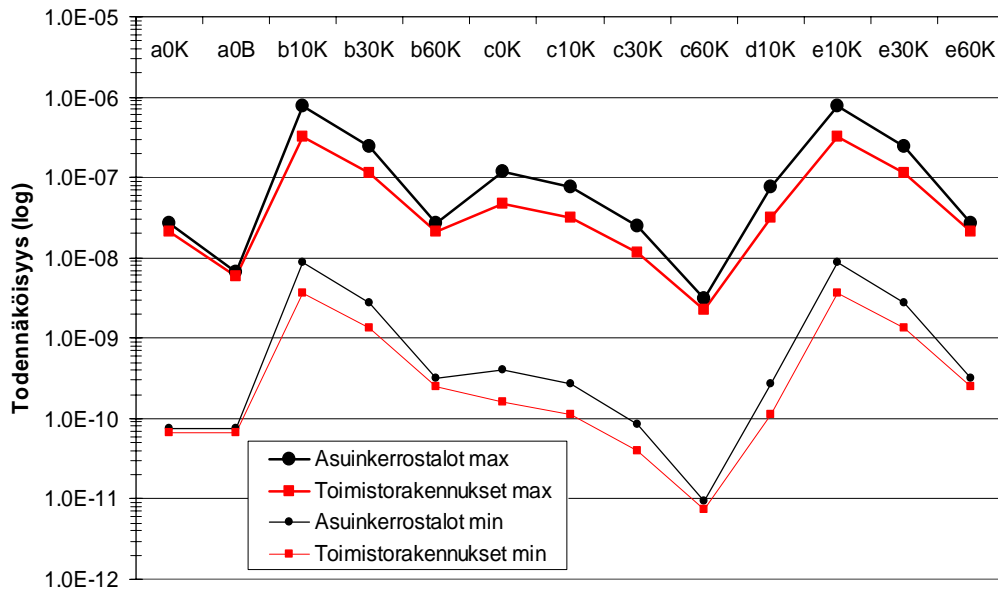
Englannin kunta- ja aluehallintoministeriö julkaisi elokuussa 2010 (Department for Communities and Local Government: London, 20 August 2010) palotilastoihin perustuvan selvityksen tulipalojen määrästä ja vahingoista Englannissa. Asunnoissa huhtikuun 2009 ja maaliskuun 2010 välisenä aikana on raportoitu 39 000 asuinrakennuspaloa. Kansallinen tilasto Englannissa (National Statistics) arvioi maassa olevan 22 564 000 erillistä asuntoa. Näiden tilastojen yhdistämisellä saadaan Englannissa yhtä asuntoa kohden  $1,7 \times 10^{-3}$  tulipaloa vuodessa ( $1/a$ ). Vastaava arvo Suomessa on vuoden 2007 tilastoilla laskettuna  $1,6 \times 10^{-3} 1/a$  ( $1\ 164\ 384$  asuntoa  $\times 1\ 869$  tulipaloa). Englannin rakennetusta asuinkerrostalomassasta ei ole saatavilla kerrosneliötietoa.

Taulukko 22. Syttymistaajuustiheyden laskeminen.

<b>Rakennuspalot kpl</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	
Asuinkerrostalo	586	519	600	
Toimistorakennus	52	38	40	
<b>Rakennusten kerrosalat m<sup>2</sup> (Tilastokeskus StatFin)</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	
Asuinkerrostalo	85 047 250	86 490 893	87 381 256	
Toimistorakennus	17 785 951		17 560 240	
<b>Syttymistaajuustiheys 1/m<sup>2</sup>a</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>Keskiarvo</b>
Asuinkerrostalo	$6,89 \times 10^{-6}$	$6,00 \times 10^{-6}$	$6,87 \times 10^{-6}$	$6,59 \times 10^{-6}$
Toimistorakennus	$2,92 \times 10^{-6}$		$2,28 \times 10^{-6}$	$2,60 \times 10^{-6}$

Syttymistaajuustiheys asetetaan tapahtumapuun alkutapahtumaksi eli palon syttymisen todennäköisyys asuinkerrostalossa tai toimistorakennuksessa on kerrosneliötä kohden laskettu syttymistaajuus vuoden aikana. Tapahtumapuun antama paikallisen sortuman todennäköisyys (kuva 34) on kerrottava lopuksi rakennusten yhteenlasketulla kerrosalalla, jolloin saadaan paikallisten sortumien lukumäärä vuotta kohden (taulukko 23).

### Ekvivalentin palonkeston ylityksen todennäköisyys kerrostaloissa [ $1/m^2a$ ] kun pelastuslaitos on aktiivinen



#### Koodiavain

(a0K) tarkastelukohde

a = max 8 krs, P1, betoni-/teräsrunko, ei sprinklausta (referenssi)

b = 5-8 krs, P2, puurunko, ei sprinklausta

c = 5-8 krs, P2, puurunko, sprinklaus

d = 3-4 krs, P2, puurunko, sprinklaus (referenssi)

e = 3-4 krs, P2, puurunko, ei sprinklausta

(a0K) suojaverhous

Suojaverhouksen minuuttiluokka

(a0K) verhoilumateriaali

K = Kipsilevy

B = Betoni

Kuva 34. Paikallisen sortuman todennäköisyys kerrosneliötä kohden vuodessa kun pelastuslaitoksen toiminta otetaan huomioon.

Laskettuja arvoja tarkasteltaessa on huomattava, että laskentatapa olettaa kaikkien Suomessa olevien asuinkerrostalojen olevan tarkasteltavaa rakennustyyppiä. Paikallisten sortumien lukumäärä vuodessa 8-kerroksisissa sprinklaamattomissa asuinkäytössä olevissa betonikerrostaloissa on 0,3, mikäli kaikki Suomen asuinkerrostalot ovat 8-kerroksisia sprinklaamattomia betonirunkoisia kerrostaloja, ja mikäli kaikki tilastoitu kerrosala koostuu sellaisista ikkunallisista huoneista, joissa parametrinen lämpötila-aikakäyrän mukainen palorasitus on mahdollinen. Todellisuudessa kaikki kerrostalot eivät ole täsmälleen tarkasteltavaa tyyppiä, joten laskettu paikallisten sortumien lukumäärä vuotta kohden on siis ehdoton yläkiiarvo jokaisessa rakennustyyppissä.

Taulukko 23. Paikallisten sortumien lukumäärä vuodessa.

Koodi	Kerroksia	Runko/ pinnat	Sprink- laus	Suoja- verhous	Paikallisia sortumia vuodessa kpl			
					Asuinkerrostalot		Toimisto- rakennukset	
					suurin arvo	keski- arvo	suurin arvo	keski- arvo
a0K	≤ 8 krs	Ter/Kip	Ei		2,4	1,2	0,4	0,2
a0B	≤ 8 krs	Bet/Bet	Ei		0,6	0,3	0,1	0,05
b10K	5-8 krs	Puu/Kip	Ei	10 min	66	34	5,6	2,8
b30K	5-8 krs	Puu/Kip	Ei	30 min	21	11	2,0	1,0
b60K	5-8 krs	Puu/Kip	Ei	60 min	2,4	1,2	0,4	0,2
c0K	5-8 krs	Puu/Kip	Kyllä	0	10	5,1	0,8	0,4
c10K	5-8 krs	Puu/Kip	Kyllä	10 min	6,7	3,4	0,6	0,3
c30K	5-8 krs	Puu/Kip	Kyllä	30 min	2,1	1,1	0,2	0,1
c60K	5-8 krs	Puu/Kip	Kyllä	60 min	0,3	0,1	0,04	0,02
d10K	3-4 krs	Puu/Kip	Kyllä	10 min	6,7	3,4	0,6	0,3
e10K	3-4 krs	Puu/Kip	Ei	10 min	66	34	5,6	2,8
e30K	3-4 krs	Puu/Kip	Ei	30 min	21	10	2,0	1,0
e60K	3-4 krs	Puu/Kip	Ei	60 min	2,4	1,2	0,4	0,2

#### Tilastotietoja paikallisista tulipalojen aiheuttamista sortumista

Onnettomuustilastojärjestelmä PRONTO:n mukaan vuosina 2006–2009 on raportoitu yli kaksikerroksisia asuinkerrostaloja koskien yhteensä 6 tapausta luokituksella 'Kantavat rakenteet eivät kestäneet'. Yhdessä tapauksessa (3-kerroksinen talo, betonirunko) oli selkeä merkintä: asuntojen välinen seinä hajosi. Kahdesta muusta 3-kerroksisen talon tapauksesta yksi oli betonirunkoinen ja toisesta ei ollut tietoa. Loput 3 tapauksista olivat 6–9-kerroksissa taloissa, jotka oletettavasti olivat betonirunkoisia. Vuosittaiseksi tulipalosta aiheutuvien kantavien rakenteiden paikallisen sortumisen suuruusluokaksi saadaan edellisestä 0,25 - 1,5 tapausta vuodessa. Alaraja perustuu siihen, että vain yhdessä tapauksessa oli selvästi raportoitu osastoivan rakenteen pettämisestä (oletuksena, että se oli myös kantava). Tämä suuruusluokka on sama kuin tässä tutkimuksessa saadut arviot.

#### Sortumien todennäköisyys elinkaaren aikana

Rakennuspalojen syttymistäajuuden tiheys on edellä esitetyn mukaan asuinrakennuksille  $6,6 \times 10^{-6} 1/m^2 \cdot a$  ja toimistorakennuksille  $2,6 \times 10^{-6} 1/m^2 \cdot a$ . Kun yhdistetään tähän (edellä esitetyt) paikalliseen sortumaan (asuntotietokannan mukaisiin tilastotietoihin perustuen ja ottaen huomioon myös palokunnan sammutustoimet) enimmillään johtavat todennäköisyydet, saadaan paikallisen sortumisen todennäköisyydeksi  $2,7 \times 10^{-8} 1/m^2 \cdot a$  asuinrakennuksille ja  $2,1 \times 10^{-8} 1/m^2 \cdot a$  toimistorakennuksille.

Paikallinen sortuminen tapahtuu yhdessä huoneessa ja jos sen pinta-alaksi oletetaan  $15 m^2$  ja rakennuksen elinkaareksi 100 vuotta, niin yhtä tällaista huonetta voisi sen elinkaaren aikana kohdata tulipalon aiheuttama paikallinen

sortuma korkeintaan todennäköisyydellä  $4,1 \times 10^{-5}$  (asuinrakennukset) tai  $3,2 \times 10^{-5}$  (toimistorakennukset).

Jos käytetään kantavien rakenteiden normaalilämpötilamitoituksen lähtökohtana sitä, että yksi rakenne miljoonasta saa sortua rakenteen elinkaaren aikana (100 vuotta), niin päästään seuraavaan arvioon rakennuksen yhteen huoneeseen liittyvästä rakenteen paikallisen sortumisen todennäköisyydestä: olettaen, että huone sisältää esim. 6 - 60 kantavien rakenteiden erillistä komponenttia, saadaan paikallisen sortumisen todennäköisyydeksi suuruusluokka  $(0,6-6,0) \times 10^{-5}$  (olettaen, että kunkin komponentin sortumista voidaan pitää erillisenä tapahtumana). Tämä arvio on samaa suuruusluokkaa kuin edellä esitetyt tulipalosta aiheutuvan sortumisen todennäköisyydet.

Normaalilämpötilamitoituksen aiheuttamista sortumista ei kuitenkaan ollut tätä tutkimusta tehtäessä vertailukelpoista tilastotietoa käytettävissä.

### 3.3 Turvallisuustasojen vertailu ja yhteenveto

Tarkastellaan aluksi tämän tutkimuksen vertailutasoina olevien enintään 8-kerroksisten P1-luokan asuinrakennusten ja enintään 4-kerroksisten sprinklattujen P2-luokan asuinrakennusten ekvivalentin palonkestoajan ylitysten todennäköisyyksiä. Alle on poimittu taulukosta 20 näiden kahden tapauksen paikallisen sortuman olosuhteiden todennäköisyydet pahimmissa tapauksissa (huone ja huoneisto, ikkunoita 10 % lattia-alasta), kun palokunta ei puutu tapahtumiin:

#### Asuinrakennukset

- a) Vertailutaso; 8-kerroksinen ei-sprinklattu P1-rakennus**                      **4,7 - 9,3 %**  
**d) Vertailutaso; 4-kerroksinen sprinklattu P2-rakennus**                      **6,9 - 7,2 %**

Nämä kaksi vertailutasoa ovat siis aivan samalla tasolla, ja niiden pienet erot johtuvat lähinnä siitä, mitä huone/huoneistokokoja painotetaan. Taulukosta 20 poimitut tapaukset, jotka eivät ylitä vertailutasojen todennäköisyyksiä enemmässä kuin yhdessä tapauksessa neljästä (erikseen 8-kerroksisille ja 4-kerroksisille), on esitetty alla:

Koodi	Kerrok- sia	Runko/ pinnat	Sprink- laus	Suoja- verhous	Paikallisen sortuman olosuhteiden todennäköisyys - asuinrakennukset			
					Nimellis- jakauma		Ikkunoita 10 % lattia-alasta	
					huone	huoneisto	huone	huoneisto
b60K	5-8 krs	Puu/Kip	Ei	60 min	0,017	0,062	0,047	0,093
c30K	5-8 krs	Puu/Kip	Kyllä	30 min	0,025	0,039	0,036	0,042
c60K	5-8 krs	Puu/Kip	Kyllä	60 min	0,010	0,015	0,013	0,018
e60K	3-4 krs	Puu/Kip	Ei	60 min	0,017	0,062	0,047	0,093

Toimistorakennusten osalta edellä olevan taulukon arvot pätevät, kun palo-osaston pinta-ala on korkeintaan  $100 \text{ m}^2$  ja palokuormaryhmä on alle  $600 \text{ MJ/m}^2$  tässä

tutkimuksessa käytetyn nimellisjakauman mukaisesti. Toimistotiloille, joiden palo-osaston pinta-ala on korkeintaan 100 - 500 m<sup>2</sup> ja jotka voivat olla myös avokonttoreita, saatiin seuraavat paikallisen sortuman olosuhteiden todennäköisyydet pahimmissa tapauksissa (ikkunoita 10 % lattia-alasta), kun palokunta ei puutu tapahtumiin:

#### **Toimistorakennukset**

<b>a) Vertailutaso; 8-kerroksinen ei-sprinklattu P1-rakennus</b>	<b>12,8 %</b>
<b>d) Vertailutaso; 4-kerroksinen sprinklattu P2-rakennus</b>	<b>7,2 %</b>

Nämä kaksi vertailutasoa ovat samaa suuruusluokkaa, ja niiden erot johtuvat lähinnä siitä, miten rakenteellisen ja automaattisen sammutuksen käyttö suojauksessa painottuu.

Saatujen tulosten perusteella, kun turvallisuustason vertailukohtana on nykyisten määräysten vähimmäistaso (ei vertailuna olemassa olevaan rakennuskantaan), esitetään seuraavia ehtoja R60-paloluokan kantavien rakenteiden suojaukselle, silloin kun nämä rakenteet ovat vähintään D-s2, d2 -luokan tarvikkeista tehtyjä puurakenteita (soveltamisalue: ks. 3.3.1):

<b>5–8-kerroksiset rakennukset, joita ei sprinklata:</b>	<b>60 min suojaverhous</b>
<b>5–8-kerroksiset rakennukset, jotka on sprinklattu:</b>	<b>30 min suojaverhous</b>
<b>3–4-kerroksiset rakennukset, joita ei sprinklata:</b>	<b>60 min suojaverhous</b>

Lisäksi suojaverhoukselta edellytetään kokonaisuudessaan vähintään A2-s1, d0 -luokitusta ja automaattiselta sammutuslaitteistolta seuraavia minimivaatimuksia:

- vasteaikaindeksin (RTI) arvo  $50 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{1/2}$  tai alle
- laukeamislämpötila 68 °C tai alle
- vesivuo vähintään 5 mm/min
- toiminta-aika vähintään 30 min
- sammutuslaitteiston toimivuus rakennuksen elinkaaren ajan tulee olla varmistettu

Käytettävän automaattisen sammutuslaitteiston tulee täyttää edellä luetellut ehdot tai olla sammutusteholtaan vastaava.

### 3.3.1 Tulosten soveltamisalue

Tutkimuksessa on tarkasteltu yksityiskohtaisesti sisäpuolisia rakennuspaloja, koska niiden aiheuttamat palorasitukset ovat selvästi suurimmat kantaville rakenteille. Ulkopuolisen palon rasituksista vaativimpia ovat lieskahtaneen huoneistopalon liekit julkisivulla. Ulkopuolella syttyneiden palojen rasitus on yleensä paljon pienempi tai korkeintaan samaa suuruusluokkaa. Lieskahtaneiden huonepalojen rasitusta voidaan verrata sisäpuoliseen paloon seuraavasti:

- palon kesto on lyhyempi kuin sisällä (sisällä hiipuminen jatkuu pitkään, mutta ulkona se päättyy, kun liekit eivät enää yllä ulos)
- jäähtyminen on nopeaa hiipumisen alettua

- palorasitus on paikallinen
- ulkopuolisen lieskahtaneen liekin aiheuttama palorasitus (intensiteetti) on pienempi kuin rajatun tilan (palo-osaston) palon mitoittava rasitus voi olla.

Koska ulkopuolisen palorasituksen voidaan olettaa olevan sisäpuolista selvästi pienemmän, voidaan suojaverhouksen 60 minuutin vaatimusta pienentää kantavien rakenteiden ulkopuolisille osille, ei kuitenkaan alle 30 minuutin.

Tämän tutkimuksen johtopäätökset pätevät asuinrakennuksille ja vain palokuormaryhmälle alle  $600 \text{ MJ/m}^2$  eivätkä siten ole suoraan sovellettavissa palokuormaryhmille  $600 - 1200 \text{ MJ/m}^2$  ja yli  $1200 \text{ MJ/m}^2$ . Myös toimistorakennuksille tulokset pätevät silloin, kun palokuormaryhmänä on alle  $600 \text{ MJ/m}^2$  (E1:n palokuormaryhmittelyn mukaan) ja palo-osaston pinta-ala on korkeintaan  $500 \text{ m}^2$ , huonekorkeus on korkeintaan 4 m ja katossa ei ole aukkoja. Käytännössä toimistotilojen palokuormatiheydet ovat olleet ainakin noin kymmenen vuotta sitten selvästi palokuormaryhmään  $600 - 1200 \text{ MJ/m}^2$  kuuluvia, mikä tulisi ottaa huomioon. Tässä tutkimuksessa ei ole kuitenkaan määritelty ehtoja, joilla voitaisiin suojata palava-aineisia kantavia rakenteita näiden korkeampien palokuormien tapauksessa.

### 3.3.2 Tulosten luotettavuudesta

Ekvivalentin palonkestävyyden menetelmään sisältyy epävarmuutta ja jo aiemmin tutkittua aliarviointia lyhyillä palonkestoajoilla. Tässä tutkimuksessa kuitenkin menetelmää sovellettiin 30 - 60 minuutin ajoilla ja lisäksi vertailuperiaatteella kriittisten palorasitusten todennäköisyyksien määrittämisessä, ei mitoituskäytössä. Menetelmää sovellettaessa käytettiin aukkotekijälle myös pakotettua arvoa perustuen ikkunoiden minimiaukkoihin. Lisäksi herkkyysanalyysissä käytettiin ekvivalentille palonkestoajalle varmuuskertoimia, jonka seurauksena paikallisen sortuman olosuhteen todennäköisyydelle saatiin vielä tekijällä 2 - 3 suurempia arvoja. Näitä ääriarvoja eivät vertailut palotilastoihin tue.

Sprinklauksen vaikutuksien osalta käytettiin varsin konservatiivisia lähestymistapoja antaen joko lämpötilojen nousta huonetilassa yksinkertaistettujen mallien mukaan (vaikka todellisuudessa palo ei kontrolloidussa tapauksessa lieskahda, vaan palo on paikallinen) tai määritellen palotehon kautta lämpötiloja ja palorasituksia, jotka vastaavat vähintään kokeissa havaittuja olosuhteita.

Tilastotiedot tulipaloista vahvistavat ainakin saatujen tulosten suuruusluokka-arvion oikeellisuuden.



## 4 Toiminnallisen palomitoituksen ohjeiden selkeytys

Toiminnallisen palomitoituksen ohjeiden selkeytystä käsittelevä osatehtävä koskee periaatteessa Suomen rakentamismääräyskokoelman (SRMK) osaa E1 kokonaisuudessaan rajoittamatta tarkasteluja esimerkiksi sen mukaan, mihin luokkiin käytettävät rakennustarvikkeet tai rakenteet kuuluvat.

SRMK:n osan E1 mukaan rakennuksen paloturvallisuusvaatimuksen täytyminen voidaan osoittaa kahdella tavalla seuraavasti:

### 1.3 Vaatimuksen täyttymisen osoittaminen

#### 1.3.1

Paloturvallisuusvaatimuksen katsotaan täytyvän, mikäli rakennus suunnitellaan ja rakennetaan noudattaen näiden määräysten ja ohjeiden paloluokkia ja lukuarvoja.

#### 1.3.2

Paloturvallisuusvaatimuksen katsotaan täytyvän myös, mikäli rakennus suunnitellaan ja rakennetaan perustuen oletettuun palonkehitykseen, joka kattaa kyseisessä rakennuksessa todennäköisesti esiintyvät tilanteet. Vaatimuksen täytyminen todennetaan tapauskohtaisesti ottaen huomioon rakennuksen ominaisuudet ja käyttö.

Suunnittelun perusteet, käytetyt mallit ja saadut tulokset on esitettävä rakennuslupamenettelyn yhteydessä.

#### Ohje

Suunnittelussa käytetään menetelmiä, joiden kelpoisuus on osoitettu. Eurooppalaisten (EN) ja kansainvälisten (ISO) standardien mukaisten koe- ja laskentamenetelmien voidaan olettaa täyttävän kelpoisuusvaatimukset, mikäli sovellus on ko. menetelmän pätevyysalueella.

#### Ohje

Asiakirjoista on tällöin ilmentävä ainakin seuraavat seikat:

- rakennuksen ja siinä olevien paloturvallisuuslaitteiden kuvaus,
- rakennuksen käytöstä koko sen elinkaaren aikana tehdyt oletukset,
- palokunnan toimintamahdollisuuksista tehdyt oletukset,
- perusteet tarkastelun kohteiksi valituille palotilanteille,
- vikaantumistarkastelu tarvittavassa laajuudessa perusteluineen,
- rakennuksen käytön aikana edellytettävät huolto- ja kunnossapitotoimet,
- käytettyjen menetelmien kuvaus, joka sisältää laskenta- ja koemenetelmien soveltuvuuden rajoituksineen sekä lähtötiedot ja tehdyt oletukset perusteluineen,
- saadut tulokset herkkyyssanalyysiin (sen selvittämiseksi, aiheuttaako pieni muutos tehdyissä oletuksissa merkittävän muutoksen paloturvallisuudessa),
- hyväksymiskriteerit ja saatujen tulosten vertailu niihin sekä
- sovellusalueiden yksilöinti ja rajaus, mikäli suunnittelussa on käytetty molempia kohdissa 1.3.1 ja 1.3.2 mainittuja vaatimusten täyttymisen osoittamistapoja.

Kohdan 1.3.1 mukainen paloluokkiin ja lukuarvoihin perustuva suunnittelu ja kohdassa 1.3.2 kuvattu oletettuun palonkehitykseen perustuva, ns. toiminnallinen paloturvallisuussuunnittelu ovat keskenään samanarvoisia vaihtoehtoja.

Toiminnallinen paloturvallisuussuunnitteluprosessi on kuitenkin osoittautunut käytännössä usein ongelmalliseksi. Tässä kappaleessa käsitellään toiminnallisen palomitoituksen ongelmakohtia, esitetään katsaus muiden maiden ja sovellusalueiden ohjeisiin ja kriteereihin sekä tehdään ehdotus SRMK:n osan E1 toiminnallista paloturvallisuussuunnittelua koskevien ohjeiden ja kriteerien täydentämiseksi.

## 4.1 Toiminnallisen palomitoituksen ongelmakohdat

Toiminnallisen palomitoituksen ongelmia on kartoitettu kyselytutkimuksilla Palotutkimusraati ry:n järjestämän workshopin yhteydessä elokuussa 2008 sekä tässä tutkimushankkeessa kesällä 2010. Kyselyt oli suunnattu lähinnä paloturvallisuussuunnittelijoille ja viranomaisille. Kyselyissä nousivat esiin erityisesti seuraavat ongelmakohdat:

### Suunnittelussa käytettävät lähtötiedot ja menetelmät

Yleisesti hyväksyttäviä tai suositeltavia lähtötietoja toiminnalliseen palomitoitukseen ei ole määritelty. Tiedontarvetta on mm. erilaisiin kohteisiin soveltuvista paloskenaarioista ja mitoituspaloista. Käytettävien laskentamenetelmien kelpoisuuden ja soveltuvuuden arviointi tuottaa vaikeuksia, koska hyväksytyjä laskentamenetelmiä pätevyysalueineen ei ole määritelty.

### Hyväksymiskriteerit

Selkeitä hyväksymiskriteerejä toiminnallisen paloturvallisuussuunnittelun tuloksille ei ole määritelty, joten ratkaisujen hyväksyttävyyden arviointi tuottaa ongelmia. Vaikeuksia on mm. tavoiteltavan turvallisuustason, varmuuskertoimien ja riskitarkastelujen suhteen. Hyväksymiskriteerit ja -käytännöt vaihtelevat eri puolilla maata.

### Osaamisvaje

Maassamme ei ole riittävästi ammattitaitoisia paloturvallisuussuunnittelijoita. Suunnittelijoiden kelpoisuusvaatimuksia ei ole määritelty. Viranomaisten asiantuntemus ei aina riitä toiminnallisten paloturvallisuussuunnitelmien hyväksyttävyyden arviointiin.

### Suunnittelu- ja rakentamisprosesseihin liittyvät ongelmat

Suunnitteluprosessi koetaan usein epämääräiseksi, koska yhtenäisiä käytäntöjä prosessin etenemiselle ei ole. Suunnittelun kokonaisuuden hallinta ei toimi, ja eri alojen suunnittelijoiden välinen kommunikaatio on riittämätöntä. Suunnittelun dokumentointi, muutosten hallinta ja suunnitelmien arkistointi voivat olla puutteellisia. Rakentamisen kireät aikataulut vaikeuttavat asioita.

### Paloturvallisuuden hallinta rakennuksen elinkaaren aikana

Rakennuksen paloturvallisuutta tulisi ylläpitää koko sen elinkaaren ajan. Paloturvallisuussuunnitelman pätevyyden reunaehdot tulisi olla dokumentoitu, jotta paloturvallisuus pystytään hallitsemaan myös rakennuksen käyttötarkoituksen muuttuessa. Myös paloturvallisuusjärjestelmien ylläpidon merkitystä tulisi korostaa.

On huomattava, että SRMK:n osan E1 ohjeistuksessa jo mainitaan useita edellä kuvatuista asioista, mutta niiden toteutuminen ja hallinta käytännössä on osoittautunut ongelmalliseksi. Lisäohjeistusta kaivataan käytäntöjen yhtenäistämiseksi sekä suunnittelu- ja hyväksymisprosessin hallinnan parantamiseksi.

## 4.2 Ohjeet ja kriteerit Suomessa ja muualla

Toiminnallisiin periaatteisiin pohjautuva paloturvallisuussuunnittelu on 1990- ja 2000-luvuilla huomattavasti yleistynyt ja kehittynyt. Monet maat niin Euroopassa kuin muissakin maanosissa ovat siirtyneet tai siirtymässä joko kokonaan tai osittain (ts. lukuarvoihin ja luokkavaatimuksiin perustuvien määräysten vaihtoehtona) toiminnallisiin paloturvallisuusmääräyksiin. Tästä kehityksestä huolimatta toiminnalliseen palomitoitukseen liittyviä ohjeita ja kriteerejä on saatavilla suhteellisen vähän. Tässä luvussa esitellään muutamia esimerkkejä selkeistä, lukuarvoina määritellyistä hyväksymiskriteereistä.

Yksi toiminnallisen paloturvallisuussuunnittelun edelläkävijämaista on Uusi-Seelanti, jossa toiminnalliset rakentamismääräykset otettiin käyttöön vuonna 1992. Tällä hetkellä Uudessa-Seelannissa on valmistumassa uusi järjestelmä "the Fire Safety Design Framework", jossa määritellään joukko paloskenaarioita ja mitoituspaloja (Beever ym. 2010). Kunkin paloskenaarioanalyysin tuloksia verrataan määrällisiin kriteereihin, jotka koskevat rakennuksen käyttäjien henkilöturvallisuutta, pelastus- ja sammutushenkilöstön turvaamista ja omaisuuden suojaamista. Kriteereiden tulee täytyä, jotta suunnitteluratkaisu olisi rakentamismääräysten mukaan hyväksyttävä. Uuden-Seelannin rakentamismääräyksiin ehdotetut henkilöturvallisuuskriteerit esitetään taulukossa 24.

Taulukko 24. Uuden-Seelannin rakentamismääräyksiin ehdotetut henkilö-  
turvallisuuskriteerit toiminnallisia paloturvallisuussuunnitelmia varten (Beever  
ym. 2010).

	Criteria	Comments
<b>Occupant Tenability</b>		
Simple criteria based on zero exposure (ie keep people away from the smoke)	Clear layer height above floor not less than 2.5m AND average upper layer temperature less than 200°C	
OR		
Detailed criteria based on occupant exposure	Visibility not less than 5m for rooms/spaces $\leq 100\text{m}^2$ and in corridors, and not less than 10m for rooms/spaces $> 100\text{m}^2$ AND Fractional Effective Dose (FED) for asphyxiant gases not greater than 0.3 AND Fractional Effective Dose (FED) for thermal effects (radiant and convective heat) not greater than 0.3.	All three criteria must be achieved for all buildings except that: Buildings fitted with a fire sprinkler system meeting a recognised standard need satisfy the FED (asphyxiant gases) criterion only; The visibility criterion does not apply within household units.
<b>Firefighter Tenability Structural stability</b>		
In buildings with an escape height $>10$ m	Safe path access for firefighters to all floors not directly accessible from street level within the building designed to resist burnout; and protect firefighters and others at ground level and within the building by designing the load carrying structure and floor systems to resist collapse.	Use design fire for structural stability
In buildings with an escape height $<10$ m	Safe path access for firefighters to full floors not directly accessible from street level within the building for a period of 60 minutes (from ignition) or to resist burnout whichever is less.	Use design fire for structural stability
All floors, including intermediate floors	Resist fire from below for a period of at least 30 minutes (from ignition).	Use design fire for structural stability.
<b>Firefighter Tenability Smoke and Heat</b>		
Where firefighters have to search large spaces ( $>1500\text{m}^2$ ) with the potential for rapid fire growth or where the distance from a safe path access to any point on a floor is in excess of 75m,	maximum ambient temperature (exposing firefighters) not to exceed 120°C and maximum radiation not to exceed $3\text{kW/m}^2$ and for a maximum time of 10 minutes	Where firefighters would be expected to operate for a short period of time in high temperatures in combination with direct thermal radiation:

Notes:

1. Fractional Effective Dose (FED) for asphyxiant gases based on carbon monoxide concentrations and including effects of  $\text{O}_2$  depletion and  $\text{CO}_2$  effects on respiration rate, shall be no greater than 0.3.
2. FED's and visibility calculations shall be determined at a height of 2m above floor level. Where a two-layer presentation is valid, using upper/lower layer properties can be used as applicable, or else they may be based on the upper layer properties alone may be used. Calculations should be in accordance with ISO/TS 13571 *Life-threatening components of fire – Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data*.

Suomessa toiminnalliseen paloturvallisuussuunnitteluun liittyviä ohjeita ja ratkaisuesimerkkejä on julkaistu Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n julkaisemissa oppaissa (RIL 221-2003, RIL 233-2007). RIL 221 -oppaassa esitetään rakennusten toiminnallisen paloturvallisuussuunnittelun perusteet ja

annetaan käytännön ohjeita toiminnalliseen palomitoitukseen mm. palokuorman ja mitoituspalojen määrittelemiseksi. Poistumisen onnistumisen arviointiin annetaan kriittisten olosuhteiden raja-arvot henkilöturvallisuuden suhteen liittyen näkyvyyteen, kuuman savukerroksen paksuuteen, lämpösäteilyyn, lämpötilaan ja eräiden myrkyllisten kaasujen pitoisuuksiin (ks. taulukko 25) Pohjoismaisen rakentamismääräyskomitean esityksen mukaan. Lisäksi tarkastellaan kokonaisriskiin perustuvaa mitoitustapaa. RIL 233 -oppaassa käsitellään maanalaisten tilojen paloturvallisuussuunnittelun perusteita ja annetaan soveltamisohjeita. Julkaisussa on myös yhteenveto rakentamisprosessin eri vaiheissa käsiteltävistä asioista ja tarvittavista asiakirjoista. Oppaan pääpaino on henkilöturvallisuudessa. RIL ry:n ohjeet eivät ole suunnittelijoita tai viranomaisia sitovia, mutta niiden tavoitteena on tarjota käyttökelpoinen työkalu suunnittelijoille ja helpottaa viranomaisten päätöksentekoa hyväksymisprosessissa.

Ruotsissa ovat lausuntokierroksella rakentamisesta vastaavan viranomaistahon Boverketin uudet paloturvallisuusmääräykset. Niihin kuuluu yleisohje, joka koskee rakennusten toiminnallista paloturvallisuussuunnittelua (Boverkets allmänna råd 2011:xx). Vastaukset lausuntopyyntöön on annettava viimeistään 1.10.2010. Säädösten arvioidaan tulevan voimaan 1.10.2011 siirtymäajalla 31.3.2012 asti. Tässä Boverketin yleisohjeessa käsitellään rakennusten paloturvallisuusvaatimuksia ja niitä koskevia periaatteita, kuvataan toiminnallisten paloturvallisuussuunnittelun todentamismenettelyjä ja annetaan esimerkkejä toiminnallisesta palomitoituksesta. Hyväksymiskriteerit kriittisten olosuhteiden muodossa annetaan poistumisturvallisuudelle ja palon leviämislle rakennusten välillä. Poistumisanalyseja varten on määritelty rajat savukerroksen tasolle, näkyvyydelle, lämpöannokselle, lämpötilalle, lämpösäteilyvuon tiheydelle ja savukaasujen myrkyllisyydelle (ks. taulukko 26). Palon leviämisen estämiseksi rakennuksesta toiseen on määritelty, että säteilyvuon tiheyden kohti viereistä rakennusta tulee olla alle  $15 \text{ kW/m}^2$  vähintään 30 minuutin ajan (ks. taulukko 27).

*Taulukko 25. RIL 221 -oppaan kriittisten olosuhteiden raja-arvot henkilöturvallisuuden suhteen (RIL 221-2003) Pohjoismaisen rakentamismääräyskomitean esityksen mukaan.*

### **Näkyvyys**

- Savukaasujen optinen tiheys saa olla enintään 3,3 dB/m aina 2 m korkeuteen lattiapinnasta mitattuna tilassa, jossa palo alkaa edellyttäen, että tilan suurin mitta on enintään 10 m. Jos tilan suurin mitta on yli 10 m, optinen tiheys saa olla enintään 1 dB/m.
- Savukaasujen optinen tiheys saa olla enintään 1 dB/m aina 2 m korkeuteen lattiapinnasta mitattuna kulkureiteissä sen tilan ulkopuolella, jossa palo alkaa.

### **Kuuman savukaasukerroksen paksuus**

Olettaen, että tulipalon seurauksena tilaan muodostuu alempi kylmä ilmakerros ja ylempi kuuma kaasukerros (ns. kaksivyöhykemalli), tulee etäisyyden lattiasta kerrosten väliseen rajapintaan olla vähintään

- 1,6 m + 0,1·H, missä H on tilan korkeus metreinä, kun huonekorkeus on yli 3 m.
- 1,5 m, kun huonekorkeus on enintään 3 m.

### **Lämpösäteily**

Poistumisen aikana henkilöihin saa kohdistua lämpösäteilyä enintään:

- 1 kW/m<sup>2</sup> jatkuvaa lämpösäteilyä.
- 10 kW/m<sup>2</sup> enintään 4 s ajan.
- 60 kJ/m<sup>2</sup> säteilyenergia (+ 1 kW/m<sup>2</sup> jatkuvan säteilyn tuottama energia).

### **Lämpötila**

- Tilassa, jossa palo alkaa 100 °C enintään 10 min ajan, edellyttäen, että ilman kosteuspitoisuus on alle 10 %.
- Kulkureiteissä enintään 60 °C sen tilan ulkopuolella, jossa palo alkaa.

### **Myrkylliset kaasut**

Mikäli savukaasujen optinen tiheys on pienempi kuin 1 dB/m, ei poistuvien henkilöiden katsota altistuvan liiallisessa määrin myrkyllisille kaasuille. Muutoin eri kaasujen pitoisuuksien tulisi poistumisen aikana olla seuraavien rajojen puitteissa:

- Hiilimonoksidi, CO: < 2000 ppm.
- Hiilidioksidi, CO<sub>2</sub>: < 5 %.
- Happi, O<sub>2</sub>: > 15 %.

Taulukko 26. Boverketin lausuntokierroksella olevan yleisohjeen kriteerit poistumisturvallisuuden varmistamiseksi (Boverkets allmänna råd 2011:xx).

3.6 Kritisk påverkan av brand	
<b>Allmänt råd:</b>	
<b>I Tabell 11 redovisas nivåer för kritisk påverkan vid brand för verifiering av utrymningssäkerhet .</b>	
Nivåerna är satta så att om en person utsätts för den angivna exponeringen är det stor sannolikhet att personen klarar sig utan alltför stort obehag.	
<b>Tabell 11 Nivå för kritisk påverkan vid analys av utrymningssäkerhet</b>	
Kriterium	Nivå
<b>Brandgaslagrets nivå ovan golv</b>	Lägst $1,6+0,1 \times \text{rumshöjden}$
<b>Siktbarhet, 2 m ovan golv</b>	10 m i okänd miljö (rum > 100 m <sup>2</sup> ) 5 m för brandscenario 4, lokaler med automatiskt släcksystem samt övriga lokaler i känd miljö (rum ≤ 100 m <sup>2</sup> ). Detta gäller enbart om personerna kan förväntas utrymma själv. För utrymmen där personer inte kan förväntas utrymma på egen hand gäller inte krav på siktbarhet, se istället toxicitet.
<b>Värmedos</b>	max 60 kJ/m <sup>2</sup> utöver energin från en strålningsnivå på 1 kW/m <sup>2</sup>
<b>Temperatur</b>	max 80° C
<b>Värmestrålning</b>	max 2,5 kW/m <sup>2</sup>
<b>Toxicitet</b>	Kolmonoxidkoncentration (CO) < 2000 ppm Koldioxidkoncentration (CO <sub>2</sub> ) < 5 % Syrgaskoncentration (O <sub>2</sub> ) > 15 % Om personer inte kan förväntas utrymma på egen hand bör FED-värdet i rummet inte överstiga 0,3.

Taulukko 27. Boverketin lausuntokierroksella olevan yleisohjeen kriteeri palon leviämisen estämiseksi rakennuksesta toiseen (Boverkets allmänna råd 2011:xx).

5.5 Kritisk påverkan av brand
<b>Allmänt råd</b>
För att ge ett tillfredsställande skydd mot brandspridning mellan byggnader bör strålningsnivån mot närliggande byggnad understiga 15 kW/m <sup>2</sup> i minst 30 minuter. Alternativa strålningsnivåer kan bestämmas utifrån fasadyornas utformning och material.

Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO on antanut suosituksen henkilö-  
turvallisuuden arviointikriteereiksi matkustajalaivojen poistumisanalyyseja varten  
(FP 53/9/1, 2008). Kriteereissä määritellään hyväksyttävät arvot lämpötilalle,  
lämpösäteilyvuon tiheydelle, näkyvyydelle ja CO-pitoisuudelle. Taulukossa 28  
esitetyt arvot mitataan 2 metrin korkeudella kannen pinnan yläpuolella ja ne  
koskevat alueita, joilla saattaa olla matkustajia tai miehistön jäseniä.

*Taulukko 28. Kansainvälisen merenkulkujärjestön suositus henkilöturvallisuuden  
arviointikriteereiksi matkustajalaivojen poistumisanalyyseissa (FP 53/9/1, 2008).*

Maximum temperature	60°C
Maximum heat flux	2.5 kW/m <sup>2</sup>
Minimum visibility	10 m
Maximum CO concentration	1,400 ppm

#### 4.3 Ehdotus ohjeiden ja kriteerien täydentämiseksi

Toiminnallisen palomitoituksen ohjeiden selkeyttämisen edistämiseksi koolle  
kutsuttu asiantuntijaryhmä on kokoontunut kaksi kertaa muodostamaan yhteistä  
näkemystä tarvittavista täydennyksistä. Ryhmän työhön ovat osallistuneet Jorma  
Jantunen (Ympäristöministeriö), Juha-Pekka Laaksonen (L2 Paloturvallisuus Oy),  
Marianna Kauriala ja Satu Holopainen (Palotekninen insinööritoimisto Markku  
Kauriala Oy), Sami Hämäläinen ja Sampsa Pesonen (Paloässät Oy), Pekka Nurro  
(Metsäteollisuus ry), Kati Tillander (Sisäasiainministeriö), Tauno Hietanen ja Olli  
Kaitila (Rakennusteollisuus RT ry), Kirsi Rontu (Helsingin kaupunki,  
Rakennusvalvontavirasto), Jarkko Häyrinen (Länsi-Uudenmaan pelastuslaitos),  
Jussi Rahikainen (Keski-Uudenmaan pelastuslaitos) sekä Tuula Hakkarainen ja  
Esko Mikkola (VTT).

Asiantuntijaryhmä on käsitellyt seuraavan rakenteen mukaisesti täydentävien  
ohjeiden sisältöä ja päätenyt ehdotuksiin ja jatkotyön tarpeisiin seuraavista  
aiheista (erittely ehdotuksista liitteessä B):

- Palokuormat ja mitoituspalo
- Rakenteiden kantavuuden säilyttäminen
- Palon ja savun kehittymisen ja leviämisen rajoittaminen
  - pintakerrokset
  - osastointi
- Palon leviämisen rajoittaminen naapurirakennuksiin
- Poistuminen palon sattuessa
  - poistumisen turvaamiseen liittyviä kriteereitä
- Pelastushenkilöstön turvallisuus
- Suunnittelu- ja rakentamisprosessi
- Suunnittelijoiden pätevyudet
- Dokumentointi



## 5 Yhteenveto

### Vaatimukset P2-paloluokan kerrostalon kantavien rakenteiden suojaukselle

Tässä tutkimuksessa on määritetty 3–8-kerroksisten asuin- ja työpaikkarakennusten kantavien rakenteiden paikalliseen sortumaan johtavien olosuhteiden todennäköisyyksiä oletetuilla palorasituksilla. Tehtävän rajauksina ja reunaehtoina ovat olleet seuraavat:

- Tarkastellaan vain rakennusmääräysten osan E1 mukaista palokuormaryhmää alle  $600 \text{ MJ/m}^2$
- Rakennukset ovat joko sprinklattuja tai ilman sprinklausta
- Koko palolle altistunut palokuorma palaa, eikä paloa sammuteta palokunnan toimesta
- Kantavien rakenteiden oletetaan toimivan niin, että rakennus ei yleensä sору palon eikä jäähtymisvaiheen aikana
- Sortumatarkastelut rajoitetaan paikallisen kantokyvyn menetyksen todennäköisyyteen
- Vertailutasot ovat enintään 8-kerroksiset P1-luokan rakennukset ja enintään 4-kerroksiset P2-luokan rakennukset voimassaolevien vaatimusten vähimmäistason mukaan (ei vertailuna olemassa olevaan rakennuskantaan); enintään 8-kerroksisessa P1-luokan rakennuksessa tarkastelukohteena ovat R60-vaatimuksen täyttävät rakenteet, jotka ovat vähintään A2-s1, d0 -luokan tarvikkeista tehtyjä.

Tutkimuksen lähestymistapana oli keskittyä asuinkerrostalon palo-osaston tarkasteluun hyödyntäen uusimpia palokuormatiheyksien määrittämiä, Eurokoodien laskentamenetelmiä ja arvioiden tulosten epävarmuuksia. Näitä perustarkasteluja on laajennettu toimistorakennuksiin (palo-osaston koko korkeintaan  $500 \text{ m}^2$ ) ja arvioitu tulosten soveltuvuutta rakennuksen ulkopuolisiin palotilanteisiin.

Tässä tutkimuksessa on lähtötiedoista (palokuormajakaumat, aukkotekijät, sprinklauksen vaikutukset, jne.) määritetty ekvivalentit palonkestoajat, jotka kuvaavat kantaviin rakenteisiin (vähintään A2-s1, d0 -luokkaisia; suojaamattomia tai suojattuja) tai suojaverhoukseen (kantava puurakenne) kohdistuvaa lämpörasitusta standardipalon rasitukseksi muunnettuna. Sortumisen/kantokyvyn menetyksen mahdollisuus käsitellään kriittisenä palorasituksen olosuhteena, jolle kantava rakenne altistuu. Jos rakenteen tarvikkeet eivät täytä A2-s1, d0 -luokkaa (kuten puu), tämä tarkoittaa sitä, että kantava rakenne on suojattava syttymiseltä ja hiiltymiseltä koko palon ajan. Tässä työssä tutkittavia suojaamisen menetelmiä ovat olleet suojaverhoukset (minuuttiluokkina 10, 30 ja 60 min) ja sprinklaus.

Tutkimuksen tulosten perusteella päädyttiin seuraaviin ehtoihin R60-paloluokan täyttävien kantavien puurakenteiden suojaukselle eri kerrosmäärillä:

**5–8-kerroksiset rakennukset, joita ei sprinklata: 60 min suojaverhous**  
**5–8-kerroksiset rakennukset, jotka on sprinklattu: 30 min suojaverhous**  
**3–4-kerroksiset rakennukset, joita ei sprinklata: 60 min suojaverhous**

Suojaverhoukselta edellytetään kokonaisuudessaan vähintään A2-s1, d0 - luokitusta ja automaattiselta sammutuslaitteistolta seuraavia minimivaatimuksia:

- vasteaikaindeksin (RTI) arvo  $50 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{1/2}$  tai alle
- laukeamislämpötila  $68 \text{ }^\circ\text{C}$  tai alle
- vesivuo vähintään  $5 \text{ mm/min}$
- toiminta-aika vähintään  $30 \text{ min}$
- sammutuslaitteiston toimivuus rakennuksen elinkaaren ajan tulee olla varmistettu

Käytettävän automaattisen sammutuslaitteiston tulee täyttää edellä luetellut ehdot tai olla sammutusteholtaan vastaava.

Johtopäätökset pätevät asuin- ja toimistorakennuksille ja siis vain palokuormaryhmälle alle  $600 \text{ MJ/m}^2$  seuraavin rajauksin: palo-osaston pinta-ala on korkeintaan  $500 \text{ m}^2$ , huonekorkeus on korkeintaan  $4 \text{ m}$  ja katossa ei ole aukkoja. Käytännössä tulee lisäksi ottaa huomioon se, että toimistotilojen palokuormatiheydet ovat noin kymmenen vuotta sitten mitausten mukaan kuuluneet palokuormaryhmään  $600 - 1200 \text{ MJ/m}^2$ , jolle tässä tutkimuksessa ei ole määritelty palava-aineisten kantavien rakenteiden suojaamisen ehtoja.

Koska ulkopuolisen palorasituksen voidaan olettaa olevan sisäpuolista selvästi pienemmän, voidaan suojaverhouksen 60 minuutin vaatimusta pienentää kantavien rakenteiden ulkopuolisille osille, ei kuitenkaan alle 30 minuutin.

Tulosten turvallisuusluonteen takia analyysien eri vaiheissa etsittiin realistisia pahimpiin seuraamuksiin johtavia arvoja eri parametreille. Esimerkiksi tilojen aukkotekijää määritettäessä käytettiin sille pakotettua arvoa perustuen määräysten antamaan ikkunoiden minimipinta-alaan. Sprinklauksen vaikutuksien osalta käytettiin varsin konservatiivisia lähestymistapoja soveltaen varmalla puolella olevia palorasituksia. Vertailut tulipaloista kerättyihin tilastotietoihin vahvistavat saatujen tulosten suuruusluokka-arvion oikeellisuuden.

#### Toiminnallisen palomitoituksen ohjeiden selkeyttäminen ja täydentäminen

Toiminnallisen paloturvallisuussuunnittelun ongelmakohtina ovat nousseet esiin seuraavat:

- Suunnittelussa käytettävät lähtötiedot ja menetelmät - yleisesti hyväksyttäviä tai suositeltavia lähtötietoja toiminnalliseen palomitoitukseen ei ole määritelty
- Hyväksymiskriteerit - selkeitä hyväksymiskriteerejä ei ole määritelty, joten ratkaisujen hyväksyttävyyden arviointi tuottaa ongelmia

- Osaamisvaje - ei ole riittävästi ammattitaitoisia paloturvallisuussuunnittelijoita eikä viranomaisia, joiden asiantuntemus riittää suunnitelmien kelpoisuuden arviointiin
- Suunnittelu- ja rakentamisprosesseihin liittyvät ongelmat - yhtenäisiä käytäntöjä prosessin etenemiselle ei ole, suunnittelun dokumentointi, muutosten hallinta ja suunnitelmien arkistointi usein puutteellisia
- Paloturvallisuuden hallinta rakennuksen elinkaaren aikana - paloturvallisuussuunnitelman pätevyyden reunaehdot tulisi olla dokumentoitu ja paloturvallisuusjärjestelmien ylläpidon merkitystä tulisi korostaa.

Asiantuntijaryhmä on päätenyt ehdotuksiin ja jatkotyön tarpeisiin seuraavista aiheista: palokuormat ja mitoituspalot, rakenteiden kantavuuden säilyttäminen, palon ja savun kehittymisen ja leviämisen rajoittaminen, palon leviämisen rajoittaminen naapurirakennuksiin, poistuminen palon sattuessa, pelastushenkilöstön turvallisuus, suunnittelu- ja rakentamisprosessi, suunnittelijoiden pätevyudet sekä dokumentointi.

## Lähdeviitteet

- Barnett, C. R. 2007. A New T-equivalent Method for Fire Rated Wall Constructions using Cumulative Radiation Energy. *Journal of Fire Protection Engineering*, Vol 17. 2007. S. 113-127.
- Beever, P., Fleischman, C., Miller, I., Saunders, N., Thorby, P. & Wade, C. 2010. A New Framework for Performance Based Fire Engineering Design in New Zealand. *Proceedings of the 8<sup>th</sup> Int. Conf. on Performance-Based Codes and Safety Design Methods*. Lund University, Sweden, 16–18 June 2010. Society of Fire Protection Engineers (SFPE). S. 37-46.
- Boverkets allmänna råd 2011:xx. Vägledning i analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd. Karlskrona: Boverket. 87 s. (lausuntokierroksella)
- Bwalya, A., Sultan, M. & Bénichou, N. 2004. A Pilot Survey of Fire Loads in Canadian Homes. *Research Report No. 159*. Ottawa, Canada 2004.
- Campbell, J. A. 1981. Confinement of Fire in Buildings. *Fire Protection Handbook*. NFPA Handbook. USA 1981.
- CEA 4001:2007-06(fi). Sprinklerilaitteistot: suunnittelu ja asentaminen. Comité Européen des Assurances, Pariisi, Ranska.
- EN 12259-1. Fixed firefighting systems. Components for sprinkler and water spray systems. Part 1: Sprinklers. CEN 1999.
- EN 1991-1-2:2002. Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-2: Yleiset kuormat. Palolle altistettujen rakenteiden rasitukset. CEN 2002.
- Evans, D.D. Sprinkler fire suppression algorithm for HAZARD, Report NISTIR 5254, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA. 1993.
- Fire safety in timber buildings, Technical guideline, 200 s. SP Report 2010:19 (julkaistavana).
- Fire Statistics monitor, April 2009 to March 2010. Issue No. 03/10, Department for Communities and Local Government: London, 20 August 2010.
- FP 53/9/1. Recommendation on evacuation analysis for new and existing passenger ships. Life safety criteria for use in computer fire modelling of evacuation routes. Submitted by the United States. London: International Maritime Organization, 11 December 2008. 2 s.
- Hakkarainen, T. 2002. Post-Flashover Fires in Light and Heavy Timber Construction Compartments. *Journal of Fire Sciences*, Vol. 20, pp. 133-175. 2002.
- Hall, John R. 2006. An Analysis of Automatic Sprinkler System Reliability Using Current Data. National Fire Protection Association. February 2, 2006.

Hietaniemi J & Mikkola E. Design fires for fire safety engineering. Espoo 2010. VTT Working Papers 139. 101 s. ISBN 978-951-38-7479-7.  
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2010/W139.pdf>.

Holm, C. & Oksanen, P. 1970. Palokuorman määrä kerrostalojen asuinhuoneistossa. Palontorjuntatekniikka, No. 2, s. 1-4. 1970.

INSTA 900-1:2009. Residential sprinkler systems – Part 1: Design, installation and maintenance.

Just, A. Schmid, J. & König, J. Gypsum Plasterboards used as fire protection - Analysis of a database. SP Report 2010:29 (julkaistavana).

Keski-Rahkonen, O., Karhula, T. & Hostikka S. 2009. Palokuormien jakaumat palokuolemien ehkäisykeinojen arviointiohjelmassa. Pelastustieto, Palontorjuntatekniikka-erikoisnumero, s. 108-114. Palotutkimuksen päivät, 25.-26.8. 2010. Palo- ja pelastustieto Ry.

Korhonen, T. & Hietaniemi, J. 2004. Puujulkisivujen paloturvallisuus lähiökerrostalossa. Espoo 2004. VTT Tiedotteita 2253. 58 s + liitt. 36 s. ISBN 951-38-6482-0.

Korpela, K. Toimistorakennusten palokuormat. Diplomityö. TKK, Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto. 1999. 84 s. + liitteet 115 s.

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.

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.

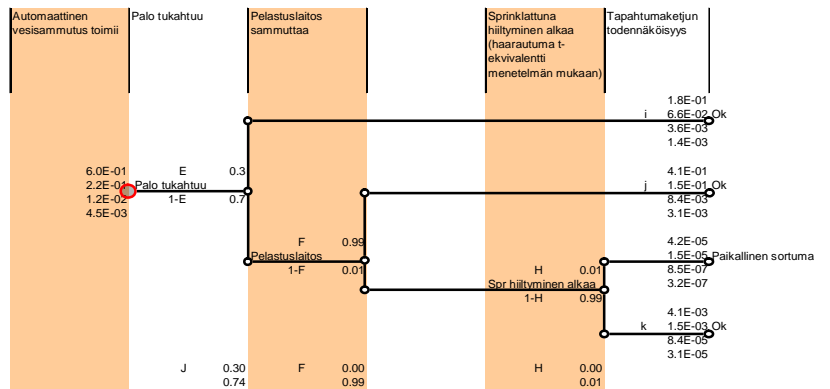
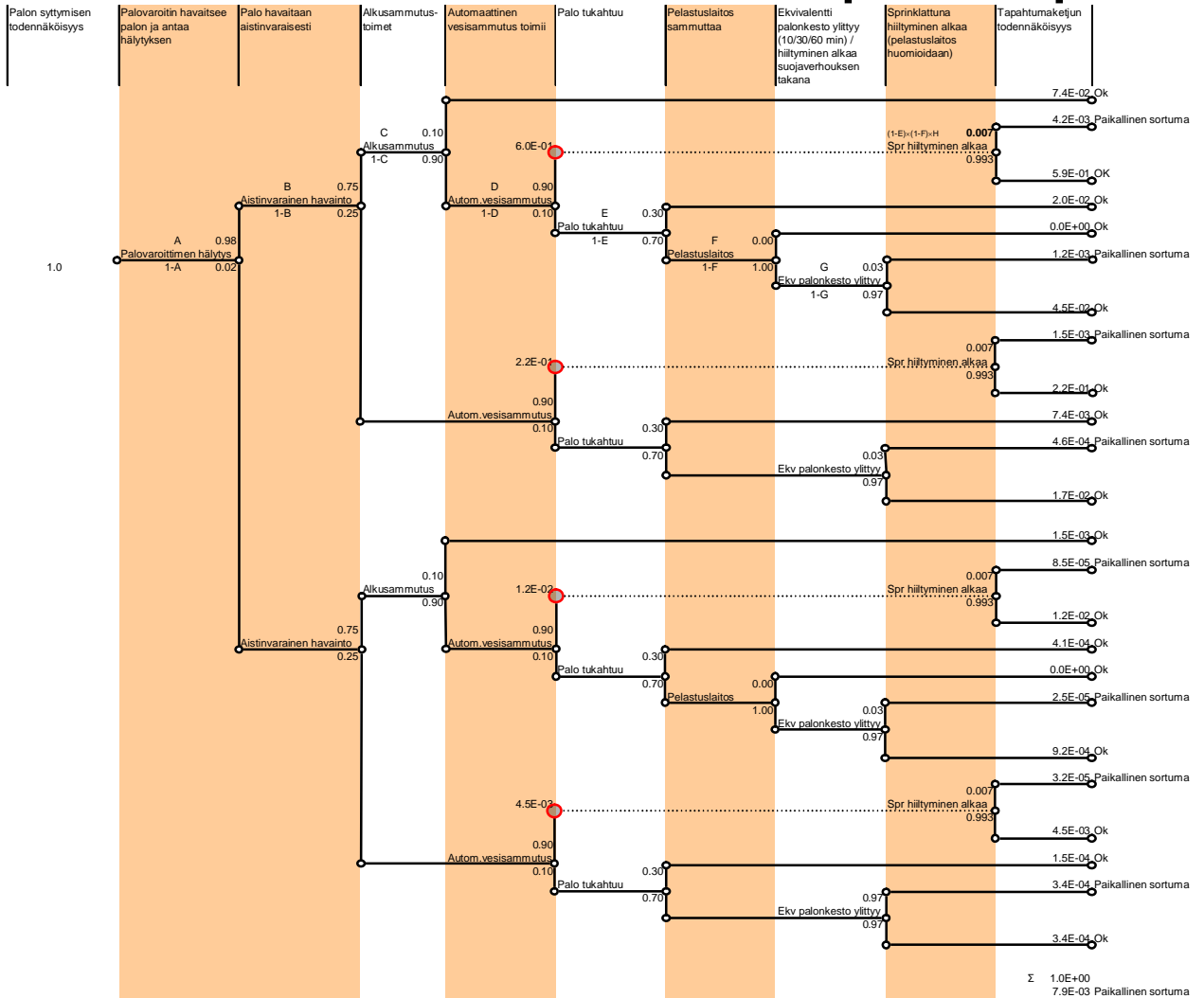
Thomas, G.C., Buchanan, A.H. & Fleischmann, C.M. Structural fire design: the role of time equivalence. Teoksessa: Fire Safety Science. IAFSS, Proc. Fifth International Symposium. Melbourne, March 3-7, 1997, s. 607-617.

Tillander, K., Oksanen, T., Kokki, E. 2009. Paloriskin arvioinnin tilastopohjaiset tiedot. Espoo 2009. VTT Tiedotteita 2479. 106 s + liitt. 5 s. ISBN 978-951-38-7287-8.

Vaari, J., Tillander, K., Rinne, T. & Paloposki, T.. Asuntosprinklaus Suomessa. Vaikuttavuuden arviointi. Osa 2. Espoo 2010. VTT Tiedotteita – Research Notes 2527. 134 s.

Vaari, J., Tillander, K., Rinne, T., Paloposki, T. 2010. Asuntosprinklaus Suomessa. Vaikuttavuuden arviointi. Osa 2. Espoo 2010. VTT Tiedotteita 2527. 134 s. ISBN 978-951-38-7566-4.

# Liite A. Tapahtumapuu



## Liite B. Ehdotus toiminnallisen palomitoituksen ohjeiden selkeytykseksi

Tämä yhteenveto on laadittu ehdotukseksi ohjeista ja tarvittavista jatkotoimenpiteistä ohjeiden laatimiseksi, ei suunnitteluohjeeksi. Hakasuluissa ilmoitetut numeroarvot ovat alustavia ehdotuksia.

Aihe	E1 (2002)	Täydennystarpeet / kommentit	Ehdotuksia/jatkotoimenpiteitä
Palokuormat ja mitoituspalo	<p>2.1.1 Palokuorma määritetään ensi sijassa palo-osaston käyttötavan perusteella. (ks. 2.2 Palokuormaryhmät) Palokuorma voidaan myös määrittää luotettavan arvion perusteella tai laskelmalla.</p> <p>Palonkehitystä laskettaessa otetaan huomioon myös palokuorman sijainti, palamisnopeus ja palamisominaisuudet.</p>	<p><b>Palokuormatiheyden jakaumat rakennustyypeittäin. Nimellisarvojen määrittely.</b></p> <p><i>Toiminnallisessa tarkastelussa tulee palokuormaryhmän nimellisarvon ylitykset ottaa huomioon. Käyttötavan muutos edellyttää oletusten tarkistusta.</i></p> <p><b>Mitoituspalojen määrittelyt palo-osaston käyttötavan mukaan (Suomessa).</b></p> <p><i>Kohdekohtaiset mitoituspalo myös tarpeen. Käyttötavan (tai muu oleellinen) muutos edellyttää oletusten tarkistusta.</i></p> <p><i>Uusi-Seelanti: mitoituspalomäärittelyt eri paloskenaariolle (perustuen osin NFPA 5000:een).</i></p>	<p>Palokuormatiheyksien määrittelyt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Jakaumien määrittely rakennustyypeittäin</li> <li>Tilastotietojen täydentäminen rakennustyypeille, joilta tiedot puuttuvat</li> <li>Koti- ja ulkomaisia tietoja hyödyntäen</li> </ul> <p>Arvioidaan muualla käytettyjen mitoituspalojen (Uusi-Seelanti/NFPA 5000, Ruotsi) soveltuvuutta (ottaen huomioon rakennusten paloluokat ja käyttötavat).</p>
Rakenteiden kantavuuden säilyttäminen	<p>6.1.1 Rakennus ja sen rakennusosat eivät palon vaikutuksesta saa sortumalla</p>		

	<p>aiheuttaa vaaraa määrättyä aikana palon alkamisesta. Mikäli henkilöturvallisuuden takia tai vahinkojen suuruuteen nähden on tarpeellista, rakennuksen on kestävä sortumatta koko palokuorman palaminen ja jäähtyminen.</p> <p>6.3.1 Kun kantavien rakenteiden mitoitus perustuu oletettuun palonkehitykseen, rakennusta pidetään riittävän paloturvallisena kantavien rakenteiden osalta, mikäli:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– yli kaksikerroksinen rakennus ei yleensä sorru palon eikä jäähtymisvaiheen aikana tai</li> <li>– enintään kaksikerroksinen rakennus ei sorru poistumisen turvaamiseen, pelastustoimintaan ja palon hallintaan saamiseen tarvittavana aikana.</li> </ul> <p>Palorasituksena käytetään oletetun palonkehityksen mukaisia olosuhteita siten, että palorasitus todennäköisesti kattaa kyseisessä rakennuksessa esiintyvät tilanteet.</p>	<p><b>Ohje, miten vaatimuksen "ei yleensä sorru" täytyminen osoitetaan.</b></p> <p><i>Vertailu vastaavaan luokitukseen perustuvaan mitoitukseen: sortumistodennäköisyys sama tai pienempi kuin vertailutapauksessa.</i></p> <p><i>Vaatimukset seuraavat poistumiseen ja pelastamiseen tarvittavasta ajasta sekä vahinkojen laajuuden rajaamisesta.</i></p> <p><i>Uusi-Seelanti: Ei sallita mitoitusperusteena alle 30 min ekvivalenttia palonkesto-aikaa. Käytettäessä automaattista sammutuslaitteistoa rakenteellisessa mitoituksessa voidaan palokuorman määrää vähentää 50 %:lla, paitsi tarkasteltaessa rakenteita, joiden pettäminen voi johtaa nopeaan ja täydelliseen sortumaan.</i></p>	<p>Hyväksymiskriteerien päämenetelmänä vertailu vastaavaan paloluokkia ja lukuarvoja käyttäen saatavaan turvallisuustasoon.</p> <p>Kantavien rakenteiden suhteen otettava huomioon</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sortumattomuuden vaatimukset</li> <li>• poistumiseen ja pelastamiseen tarvittava aika       <ul style="list-style-type: none"> <li>○ tälle ehdotetaan määritettäväksi mitoituksessa käytettävä vähimmäisaika (x min)</li> </ul> </li> </ul>
<p>Palon ja savun kehittymisen ja leviämisen</p>	<p>8.1.1 Rakennuksessa on käytettävä rakennustarvikkeita, jotka eivät</p>		



rajoittaminen - pintakerrokset	myötävaikuta palon kehittymiseen vaaraa aiheuttavalla tavalla.  8.2.1 Seinien, sisäkattojen ja lattioiden paloteknisiä ominaisuuksia arvioitaessa otetaan huomioon missä määrin tarvikkeet osallistuvat paloon, lieskahduksen alkamiseen kuluva aika, lämmön vapautuminen ja savun sekä palavien pisaroiden muodostuminen.	<b>Ohje sisäpuolisten pintakerrosten huomioinnista.</b> <i>Osa palokuormaa ja mitoituspaloa.</i>  <b>Termi "vaaraa aiheuttavalla tavalla" selvennettävä.</b>	Käytetään taulukkomitoituksen pintakerrosluokkia.
- julkisivut / ulkoseinät	7.6.2 Ulkoseinät ja parvekkeet on rakennettava niin, että palo ei leviä niiden kautta vaaraa aiheuttavalla tavalla.	<i>Ulkoseinä ei yleensä ole osastoiva!</i>  <i>Uusi-Seelanti: ulkoseinät: <math>HRR_{max} \leq 100 \text{ kW/m}^2</math> pintamateriaalista tai liekinleviäminen <math>\leq 3,5 \text{ m}</math> palolähteestä ylöspäin.</i>  <b>Termi "vaaraa aiheuttavalla tavalla" selvennettävä.</b>	Julkisivut/ulkoseinät (mukaan lukien tuuletusraot ja sulavat/palavat eristeet) on tehtävä siten, ettei palon syttymisen eikä palon ja savun leviämisen vaara rakennuksessa olennaisesti kasva niiden johdosta. + Ehdotetaan valmisteltavaksi käytännön toteutukseen soveltuvat kriteerit.
- katteet	8.4.1 Kate on tehtävä siten, ettei palo leviä vaaraa aiheuttavalla tavalla katteessa eikä sen alustassa.	<i>Alustan ontelot ehkä suurin vaaratekijä.</i>	Katteiden osalta ei tarvita täydennystä.
- (palo-) osastointi	5.1.1 Rakennus tulee yleensä jakaa palo-osastoihin palon ja savun leviämisen rajoittamiseksi, poistumisen	<i>Vaatimukset seuraavat poistumiseen ja pelastamiseen tarvittavasta ajasta ja omaisuusvahinkojen rajoittamisesta.</i>	

	<p>turvaamiseksi, pelastus- ja sammutustoimien helpottamiseksi sekä omaisuusvahinkojen rajoittamiseksi.</p> <p>7.1.1 Osastoivat rakennusosat niihin liittyvine laitteineen ja varusteineen tulee tehdä siten, että palon leviäminen osastosta toiseen estyy määrätyn ajan.</p> <p>7.4.1 Osastoivan rakennusosan läpi saa johtaa tarpeelliset putket, roilot, kanavat, johdot ja hormit sekä kuljetinlaitteistojen edellyttämät läpiviennit edellyttäen, ettei olennaisesti heikennetä rakennusosan osastoivuutta.</p> <p>7.5.1 Ilmanvaihtolaitteet on tehtävä siten, etteivät ne lisää palon tai savukaasujen leviämisvaaraa.</p> <p>7.6.1 Ullakot ja ontelot on tehtävä siten, ettei palon syttymisen eikä palon ja savun leviämisen vaara rakennuksessa olennaisesti kasva niiden johdosta.</p>	<p><b>Ohjeiden yhteismitallistaminen.</b></p> <p><b>Määrittelyt termeille:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>"ei olennaisesti heikennä"</b> (<i>paljonko voi heikentää?</i>)</li> <li>– <b>"ei lisää leviämisvaaraa"</b> (<i>lainkaan? tarkoitetaanko tätä?</i>)</li> <li>– <b>"vaara ei olennaisesti kasva"</b> (<i>paljonko voi kasvaa jo muutoin olemassa olevaan vaaraan nähden?</i>)</li> </ul>	<p>Ohjeiden yhteismitallistaminen ja ainakin karkeat määrittelyt eri termeille.</p> <p>Räystäät ja yläpohjan ontelot/ullakot: Käytetään paloluokkiin ja lukuarvoihin perustuvaa ohjeistusta, jota ehdotetaan kehitettäväksi</p>
--	---	--	---

- savuastointi	(5.1.1 koskee palo-osastointia, jolla rajoitetaan savun leviämistä)	<b>Ohje savuastoinnista.</b> <i>Savulohkoja käytetään käytännössä (varsinkin suurissa tiloissa). Tavoitteena rajoittaa savun leviäminen osana henkilöturvallisuutta (esim. laajoissa tiloissa)</i>	Ehdotetaan valmisteltavaksi savuastointia koskevat määrittelyt ja ohje.
Palon leviämisen rajoittaminen naapurirakennuksiin	9.1.1 Palon leviäminen rakennuksesta toiseen ei saa vaarantaa henkilöturvallisuutta eikä aiheuttaa kohtuuttomana pidettäviä taloudellisia eikä yhteiskunnallisia menetyksiä. 9.1.2 Rakennusten välisen etäisyyden tulee olla sellainen, että palo ei leviä helposti naapurirakennuksiin ja aluepalon vaara jää vähäiseksi. Jos rakennusten välinen etäisyys on alle 8 metriä, tulee rakenteellisin tai muin keinoin huolehtia palon leviämisen rajoittamisesta. 9.1.3 Vesikaterakenteen tulee olla sellainen, että se ei syty helposti naapurirakennuksen palosta.	<b>Selvennys termille "ei leviä helposti": miten arvioidaan.</b>  <i>Ruotsi: lämpösäteily viereiseen rakennukseen &lt; 15 kW/m<sup>2</sup> vähintään 30 min.</i>  <i>Rakenne katteen alla ei saa syttyä helposti → ehtoja materiaalille ja rakenteelle.</i>	Ehdotetaan jatkotyönä kriteerien valmistelu alle 8 metrin etäisyyksille (huomioitava myös tontin raja/palomuuri)
Poistuminen palon sattuessa - poistumisen turvaamisen eri menetelmät	10.1.1 Rakennuksesta tulee voida turvallisesti poistua tulipalossa tai muussa hätätilanteessa. Rakennuksessa tulee olla riittävästi sopivasti sijoitettuja, tarpeeksi väljiä ja helppokulkuisia uloskäytäviä niin, että poistumisaika rakennuksesta ei	<b>Kriteerit poistumisanalyysointituloksille.</b>  <i>RIL 221-2003 ja RIL 233-2007</i> <i>Uusi-Seelanti</i> <i>Ruotsi</i> <i>IMO: FP 53/9/1, 2008</i>	Kriteeriehtotuksia: – näkyvyys (h = [2] m asti) ≥ [5] m jos A ≤ [100] m <sup>2</sup> ja ≥ [10] m jos A > [100] m <sup>2</sup> – myrkylliset kaasut: FED ≤ [0,3] – lämpötila: T ≤ [60] °C – lämpösäteily ja lämpöannos: a) max.

<p>- pelastaminen</p>	<p>ole vaaraa aiheuttavan pitkä.</p> <p>10.1.2 Uloskäytävän tulee johtaa ulos maan pinnalle tai muulle palon sattuessa turvalliselle paikalle.</p> <p>11.1.2 Mikäli rakennuksen sijainti, suuri koko tai poikkeukselliset olosuhteet erityisesti vaarantavat henkilö- tai paloturvallisuutta, rakennusluvan myöntämisen yhteydessä voidaan vaatia, että rakennus varustetaan paloturvallisuutta parantavilla laitteilla tai järjestelyillä.</p> <p>11.1.1 Palon sammuttamisen ja henkilöiden pelastamisen edellytykset rakennuksessa ja sen läheisyydessä tulee turvata.</p> <p>11.2.1 Palo- ja pelastuskalustolle tulee suunnitella mahdollisuus päästä riittävän lähelle rakennusta ja alueella olevia sammutusveden ottopaikkoja (pelastustie).</p>	<p><i>Poistumisnopeuteen vaikuttavia tekijöitä:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– näkyvyys</li> <li>– myrkylliset savukaasut (pitoisuudet, FED)</li> <li>– lämpötila</li> <li>– lämpösäteily, lämpöannos</li> </ul> <p><i>Sisäkatosta tai julkisivusta putoavat (palavat) osat voivat vaarantaa poistumisturvallisuutta.</i></p> <p><b>Listaus pelastamisen ja sammuttamisen edellytyksistä.</b></p> <p><i>Uusi-Seelanti: pelastus- ja sammutustöiden edellytykset listattu liittyen palopaikkaa koskevaan informaatioon, pelastushenkilöstön toimintaedellytyksiin ja sietokykyyn sekä sammutusveden saatavuuteen.</i></p> <p><i>Sisäkatosta tai julkisivusta putoavat (palavat) osat voivat vaarantaa pelastamisen turvallisuutta.</i></p>	<p>[1] kW/m<sup>2</sup> jatkuvasti; b) max. [10] kW/m<sup>2</sup> max. 4 s ajan; c) max. 60 kJ/m<sup>2</sup> säteilyenergia (+ [1] kW/m<sup>2</sup>:n jatkuvan säteilyn tuottama energia)</p> <p>(Kaikkia parametreja ei välttämättä tarvita)</p> <p>Lähtöarvojen ohjeistus (jatkotyönä):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• henkilömäärät ja jakaumat</li> <li>• reagointiajat</li> </ul> <p>Poistumiseen tarvittavan ajan ja käytettävissä olevan ajan vertailu</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– tähän ei tarvita varmuuskertoimia, jos varmuudet otettu huomioon mitoituspaloissa (paloteho, savu)</li> </ul>
-----------------------	--	---	--

Pelastushenkilöstön turvallisuus	Rakenteiden kantavuuden säilyttäminen – 6.1.1 – 6.3.1	<i>Rakenteet ja rakennustarvikkeet: rakennuksesta (esim. sisäkatosta tai julkisivusta) putoavat osat aiheuttavat vaaraa.</i>  <i>Lämpörasituksen huomiointi?</i>	Ehdotus jatkotyön pohjaksi: Pelastushenkilöstön tulee voida edetä kohteesta (palon lähteestä) [10] metrin etäisyydelle, missä lämpösäteilyn intensiteetti saa olla lyhytaikaisesti ([5–7] min) enintään [5] kW/m <sup>2</sup> . Pitkäaikaisessa altistuksessa raja-arvona pidetään [2] kW/m <sup>2</sup> .
----------------------------------	---	--	---

## Muita ehdotuksia toiminnallisen palomitoituksen käyttöön liittyen

Aihe	Ehdotus
Suunnittelu- ja rakentamisprosessi	Ehdotetaan ohjeistuksen laatimista RIL 233-2007:n (Maanalaisten tilojen paloturvallisuussuunnittelu) pohjalta (ohjeistus suunnittelun vaiheistuksen mukaan). Ehdotetaan toiminnallista palomitoitusta käyttävän rakennuslupaprosessin kansallista harmonisointia.
Suunnittelijoiden pätevyudet	Ehdotetaan, että ympäristöministeriö laatii A2:een (Rakennuksen suunnittelijat ja suunnitelmat, määräykset ja ohjeet) kriteerit.
Dokumentointi	Toiminnallisen palosuunnittelun käyttö vaatii uusien lupakäsitteiden käyttöönottoa ja arkistointimenettelyä. Ehdotetaan dokumentoinnin ohjeen laatimista RIL 233-2007:n (Maanalaisten tilojen paloturvallisuussuunnittelu) pohjalta.