



HELSINGIN KAUPUNGIN PELASTUSLAITOS
HELSINGFORS STADS RÄDDNINGSVÄRK

Terhi Kling, Kati Tillander & Tuula Hakkarainen

TOIMINTAVALMIUDEN VAIKUTTAVUUS ASUNTOPALOISSA



Helsingin kaupungin pelastuslaitoksen julkaisu



HELSINGIN KAUPUNGIN PELASTUSLAITOS
HELSINGFORS STADS RÄDDNINGSVÄRK

TOIMINTAVALMIUDEN VAIKUTTAVUUS ASUNTOPALOISSA

Terhi Kling, VTT

Kati Tillander, Helsingin kaupungin pelastuslaitos

Tuula Hakkarainen, VTT

ISBN 978-952-272-729-9

ISSN 2323-7899

Helsinki 2014



Tiivistelmä

Tutkimuksessa tuotettiin stokastiseen operaatioaikamallinnukseen perustuva laskennallinen menetelmä toimintavalmiuden vaikuttavuuden arviointiin asuntopaloissa syntyvien henkilö- ja omaisuusvahinkojen näkökulmasta. Eri osatekijöiden vaikutusta lopputulokseen havainnollistettiin esimerkkilaskelmien avulla.

Tarkastelu rajattiin vuosina 2009–2012 tapahtuneisiin asuntopaloihin, joiden osuus kyseisenä aikana oli noin 1,5 % kaikista pelastustoimen tehtävistä. Samalla aikajaksolla noin 6 % pelastustoimen tehtävissä kirjatuista vakavista henkilövahingoista (kuolemat ja vakavat loukkaantumiset) tapahtui rakennuspaloissa, joista suurin osa (88 %) asuinrakennusten paloissa. Rakennuspalojen yhteydessä syntyneistä omaisuusvahingoista noin 37 % syntyi asuinrakennusten paloissa.

Laskennallisessa mallissa käsiteltiin vain syttymisasuntoa ja syttymisasunnossa tapahtuneita henkilövahinkoja. Esimerkiksi porraskäytävässä ja rakennuksen muissa asunnoissa mahdollisesti muodostuvien uhkaavien olosuhteiden tai henkilövahinkojen syntyminen rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle.

Laskennallisen mallin tulosten perusteella pelastuslaitos ehtii simulointien kaltaisissa tulipaloissa pelastaa nopealla toiminnallaan riskiluokasta riippuen noin 13–20 % asuntopaloissa syttymisasuntoon jääneistä henkilöistä kuolemalta tai vakavalta loukkaantumiselta. Kun pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilastojärjestelmä PRONTO:n tilastoaineistoa käytiin läpi Helsingin ja Pirkanmaan rakennuspaloista vuosilta 2009–2012, havaittiin, että pelastuslaitoksen pelastamia henkilöitä, jotka eivät kuolleet tai loukkaantuneet vakavasti, oli näissä paloissa noin 32–35 % asuntoon jääneistä henkilöistä. Tarkastelussa eivät olleet mukana rakennuspalovaaroista pelastetut. Laskennallisen mallin tulosten perusteella minuutin muutos operaatioajassa muuttaa arviota vakavien henkilövahinkojen määrästä noin yhdellä prosenttiyksiköllä. Kun henkilövahinkojen syntyminen aikariippuvuutta muutettiin riskiluokassa I siten, että kuolemalta ja vakavalta loukkaantumiselta pelastettujen osuus oli 40 %, minuutin muutos operaatioajassa muutti arviota vakavien henkilövahinkojen määrästä noin kolmella prosenttiyksiköllä.

Sprinklauksen huomioiminen laskennallisessa mallissa pudotti vakavan henkilövahingon todennäköisyyden merkittävästi alemmaksi antaen lisäaikaa asuntoon jääneiden henkilöiden pelastamiseksi.

Perustarkastelut tehtiin yksilöriskien näkökulmasta eli arvioitiin millä todennäköisyydellä palavassa asunnossa oleva henkilö pelastetaan, mikäli hän ei itse jostakin syystä pysty poistumaan. Tapah- tumapuutarkastelulla arvioitiin edelleen, mitä kyseinen yksilöriski tarkoittaa koko yhteisön kannalta. Esimerkkeinä tarkasteltiin kotihoidon asiakkaiden ja muistisairaiden määrän vaikutusta vakavien henkilövahinkojen kokonaismäärään. Tarkastelun perusteella keskivaikeasti tai vaikeasti muistisairaiden määrän kaksinkertaistuminen, jonka on oletettu tapahtuvan vuoteen 2025 mennessä, kasvattaisi vuosittaisten henkilövahinkojen määrää noin 17 prosentilla.

Kun tarkasteltiin omaisuusvahinkojen kertymisen riippuvuutta operaatioajasta PRONTO-järjestelmään kirjattujen laadullisten arvioiden avulla, havaittiin, että palon laajuuden ja operaatioajan välillä on yhteys; operaatioajan systemaattinen kasvattaminen vähentää niiden tapausten mää-



rää, joissa tuhoutunut pinta-ala on pieni ja kasvattaa niiden tapausten määrää, joissa se on suuri. Suurimmassa osassa tapauksista omaisuusvahinkojen määrä jäi sille tasolle, jossa se oli palokunnan saapuessa, eli palokunnan toiminnalla pystyttiin useimmiten estämään palon leviäminen laajemmalle. Laskennallisen tarkastelun perusteella operaatioajan systemaattinen muutos ± 5 min muuttaisi keskimääräistä tuhoutunutta pinta-alaa riskiluokasta riippuen 7–26 %.

Tutkimuksessa pääpaino oli mallinnusmenetelmän kehittämisessä. Menetelmän avulla tehdyt määrälliset arviot henkilövahinkojen ja omaisuusvahinkojen määristä ovat mallinnustuloksia, joihin tulee suhtautua kriittisesti ottaen huomioon tehdyt oletukset ja käytettyjen lähtötietojen epävarmuudet.

Avainsanat: toimintavalmius, asuntopalo, henkilövahingot, omaisuusvahingot, operaatioaikamalli



Alkusanat

Tämä julkaisu on hankkeen ”Toimintavalmiuden vaikuttavuus asuntopaloissa” loppuraportti. Hanke käynnistyi 1.12.2012 ja päättyi 31.3.2014. Työ toteutettiin Helsingin ja Pirkanmaan pelastuslaitosten sekä VTT:n yhteistyönä. Hankkeen päärahoittajana toimi Palosuojelurahasto.

Tutkijaryhmän apuna operatiiviseen toimintaan liittyvien tietojen määrittämisessä oli asiantuntijaryhmä, johon kuuluivat palomestarit Ville Mensala, Ville Estlander sekä Mikael Siitonen Helsingin pelastuslaitokselta ja kehitysinsinööri Teemu-Taavetti Toivonen Pirkanmaan pelastuslaitokselta.

Hankkeessa suoritettavat selvitysaikamittaukset toteutti Helsingin Pelastuskoulu ja mittausten toteuttamista koordinoi palomestari Jari Korkiamäki, joka osallistui myös tulosten raportointiin.

Hankkeessa tuotetun laskennallisen mallin antamia tuloksia verrattiin todellisiin onnettomuuksiin pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilasto PRONTO:n tilastoaineiston avulla. Tilastovertailun suorittivat Helsingin pelastuslaitoksen tietojen osalta palo esimies Sami Lappalainen ja Pirkanmaan pelastuslaitoksen osalta kehitysinsinööri Teemu-Taavetti Toivonen.

Esitämme suuret kiitokset kaikille niille henkilöille, jotka omalla työpanoksellaan ovat edistäneet hankkeen toteutumista merkittäväällä tavalla.

Tekijät

Sisällys

Tiivistelmä.....	3
Alkusanat.....	5
1 Johdanto.....	10
1.1 Tausta.....	10
1.2 Tavoite.....	10
1.3 Lähestymistapa.....	10
1.4 Asuntopalojen osuus pelastustoimen tehtävistä.....	11
1.5 Rajaukset.....	11
2 Mallinnusmenetelmät ja käytetty aineisto.....	12
2.1 Stokastinen operaatioaikamallinnus.....	12
2.2 Asuntopalojen simulointiaineisto.....	12
2.3 Rakennuspaloaineisto.....	13
2.4 Selvitysaikamittaukset.....	14
3 Sprinklauksen vaikutus henkilöturvallisuuteen.....	15
3.1 Asiantuntija-arviot.....	16
4 Selvitysaikamittaukset.....	17
4.1 Koejärjestelyt.....	17
4.1.1 Perusselvitys 1. kerrokseen.....	17
4.1.1.1 Kokeen suorituspaikka ja koehenkilöt.....	17
4.1.1.2 Kokeen kulku.....	18
4.1.2 Perusselvitys 6. kerrokseen.....	19
4.1.2.1 Kokeen suorituspaikka ja koehenkilöt.....	19
4.1.2.2 Kokeen kulku.....	20
4.2 Tulokset.....	20
5 Vahinkokertymät.....	25
5.1 Henkilövahingot.....	25
5.1.1 Sprinklaamaton tapaus.....	25
5.1.2 Sprinklattu tapaus.....	26

5.2 Omaisuusvahingot.....	28
5.2.1 Lähestymistapa.....	28
5.2.2 Palon laajuus palokunnan saapuessa / tilanteen lopussa.....	28
5.2.3 Malli omaisuusvahinkojen kertymiselle.....	31
5.2.4 Syttymishuoneet.....	34
5.2.5 Huoneiden pinta-alat.....	34
5.2.6 Asuntojen pinta-alat.....	35
6 Operaatioaikamallin soveltaminen asuntopaloihin.....	37
6.1 Mallin rakenne.....	37
6.2 Mallin parametrit.....	38
6.2.1 Olosuhdeparametrit.....	38
6.2.1.1 Kellonaika.....	38
6.2.1.2 Talotyyppi.....	38
6.2.1.3 Kerrostalon kerrosluku ja palon sijaintikerros.....	39
6.2.1.4 Palovaroittimen toiminta.....	39
6.2.2 Ilmoitusaika.....	40
6.2.2.1 Havaitsemisaika.....	40
6.2.2.2 Heräämisaika.....	41
6.2.2.3 Reagoimisaika.....	42
6.2.2.4 Asiointi hätäkeskuksen kanssa.....	43
6.2.2.5 Naapuri tai ohikulkija.....	43
6.2.3 Hälytysaika.....	43
6.2.4 Lähtöaika ja ajoaika.....	44
6.2.5 Ensimmäisiin toimenpiteisiin kuluva aika.....	45
6.2.5.1 Tiedustelu.....	45
6.2.5.2 Selvitysaika.....	45
6.2.6 Tilanteen hallintaan saamiseen kuluva aika.....	45
6.2.6.1 Henkilövahingot.....	45

6.2.6.2 Omaisuusvahingot.....	46
6.3 Tulokset.....	46
6.3.1 Henkilövahingot, riskiluokka I.....	46
6.3.2 Henkilövahingot, vertailu riskiluokittain.....	48
6.3.3 Henkilövahingot, sprinklattu.....	49
6.3.4 Omaisuusvahingot, riskiluokka I.....	50
6.3.5 Omaisuusvahingot, riskiluokkien vertailu.....	52
6.4 Herkkyystarkastelut.....	53
6.4.1 Ilmoitusaika.....	53
6.4.2 Sprinklauksen olemassaolo ja toimintavarmuus.....	54
6.4.3 Henkilövahinkojen kertyminen.....	54
6.5 Tapahtumapuutarkastelut.....	56
6.5.1 Esimerkki 1: Säännöllisen kotihoidon asiakkaat.....	57
6.5.2 Esimerkki 2: Muistisairaat.....	62
6.6 Lähtöajan vaikutus.....	65
6.7 Henkilövahingot PRONTOssa.....	66
7 Yhteenveto ja johtopäätökset.....	69
7.1 Tulokset.....	69
7.1.1 Tavoite ja rajaukset.....	69
7.1.2 Henkilövahingot.....	69
7.1.2.1 Laskennallisen mallin tulokset, sprinklaamaton tapaus.....	69
7.1.2.2 Laskennallisen mallin tulokset, sprinklattu tapaus.....	70
7.1.2.3 Kuolleiden ja vakavasti loukkaantuneiden osuus asuntoon jääneistä henkilöistä pelastustoimen tilastoissa (PRONTO).....	70
7.1.2.4 Laskennallisen mallin tulosten ja pelastustoimen tilastoista saatujen tulosten vertailu.....	71
7.1.2.5 Johtopäätökset henkilövahingoista.....	71
7.1.2.6 Esimerkkilaskelma kotihoidon asiakkaiden ja muistisairaiden lukumäärien muutosten vaikutuksesta henkilövahinkojen määrään.....	73



7.1.3 Omaisuusvahingot.....	73
7.1.3.1 Laskennallisen mallin tulokset.....	73
7.1.3.2 Johtopäätökset omaisuusvahinkomallista.....	74
7.2 Mihin mallia voi käyttää.....	74
7.3 Mallin epävarmuudet.....	74
7.4 Mallin rajoitukset.....	76
7.5 Tarvittava jatkokehitys.....	77
7.6 Muut mahdolliset sovellutuskohteet.....	77
Lähdeluettelo.....	78
Liite A: Syttymistilojen jakaumat riskiluokittain.....	82
Liite B: FDS-simuloinnit.....	86

1 Johdanto

1.1 Tausta

Tällä hetkellä pelastustoimen toimintavalmiuden suunnittelu pohjautuu riskimäärittelyihin, jotka perustuvat yksinomaan onnettomuuksien esiintymistiheyteen. Menettely ei huomioi onnettomuuksien seurauksia tai nosta selkeästi esiin eri onnettomuustyyppien ominaispiirteitä tai sitä seikkaa, että toimintavalmiudesta saatava hyöty on eri onnettomuustyypeillä erilainen. Todenmukainen ja tarkka riskianalyysi tarvitsee lisää tutkittua tietoa onnettomuusriskeihin vaikuttavista tekijöistä sekä pelastuslaitoksen toiminnan vaikuttavuudesta. Toimintavalmius muodostuu eri osatekijöistä, joita ovat mm. henkilöstön ja kaluston määrä ja laatu, toiminnalliset suunnitelmat, johtamisen organisointi sekä pelastustoiminnan toimintavalmiusaika (Sisäasiainministeriö 2012). Jotta vaikuttavuutta voitaisiin arvioida, pelastustoimen järjestämiseksi vaadittu toimintavalmius pitää pystyä kytkemään saavutettavaan hyötyyn.

1.2 Tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa laskennallinen menetelmä toimintavalmiuden vaikuttavuuden arviointiin asuntopaloissa syntyvien henkilö- ja omaisuusvahinkojen näkökulmasta ja esimerkkilaskelmien kautta tuottaa lisätietoa eri osatekijöiden vaikutuksesta näihin vahinkoihin.

1.3 Lähestymistapa

Tässä tutkimuksessa toimintavalmiutta sekä siitä saatavaa hyötyä tarkasteltiin asuntopalon aiheuttamien henkilö- ja omaisuusvahinkojen näkökulmasta. Asiaa lähestyttiin stokastisen operaatioaikamallinnuksen keinoin. Samaa menetelmää on aikaisemmin käytetty ydinvoimalan palotilanteen sammutustoiminnan mallinnuksessa (Hostikka ym. 2010; Hostikka ym. 2012a; Kling ym. 2013) sekä Palosuojelurahaston (PSR) osittain rahoittamassa 'Pelastustoimen vasteen simulointi suuronnettomuuksissa (SIREENI)' -hankkeessa (Hostikka ym. 2012b; Kling ym. 2013), jossa operaatioaikamallinnusta käytettiin suurpalon sammuttamiseen tarvittavien resurssien saatavuusajan arviointiin. Molemmissa hankkeissa operaatioaikamallinnus osoittautui erittäin hedelmälliseksi työkaluksi, joka tuottaa määrällisen kuvauksen toiminnan etenemisestä ja toimijoiden keskinäisistä riippuvuuksista paljastaen samalla pelastus- ja muissa organisaatioissa tehtyjen, sanattomien oletusten ristiriitaisuudet ja poistaen siten monimutkaisiin tilanteisiin liittyvää hämmennystä. Menetelmän avulla voidaan toimintaan kuluva aika jakaa konkreettisiin osiin säilyttäen kuitenkin samalla niihin liittyvät epävarmuudet ja mahdollisuuksien kirjo. Tässä hankkeessa menetelmää sovellettiin asuntopaloihin, joissa pelastusorganisaatio on selvästi yksinkertaisempi kuin aiemmissa esimerkeissä. Sovellus tässäkin tapauksessa on kuitenkin mielekäästä, koska valtakunnallisella tasolla esim. pelastuslaitosten toimintavalmiudet ovat merkittävän erilaisia, joten stokastinen lähestymistapa on tarpeen.

Kun halutaan arvioida erilaisten toimintavalmiuksien vaikutusta odotettavissa oleviin henkilö- ja omaisuusvahinkoihin, tarvitaan laskennallisen toimintavalmiuserämallin rinnalle tietoa henkilö- ja omaisuusvahinkojen kertymästä ajan kuluessa. Tässä hankkeessa hyödynnettiin 'Palokuolemien ehkäisykeinojen vaikuttavuuden arviointi' -hankkeessa (Keski-Rahkonen ym. 2009a, 2009b; Keski-Rahkonen ym. 2011) simuloinnin avulla tuotettua tietoa huoneistopalon kehittymisestä, yhden tai useamman henkilön kuoleman todennäköisyyden kehittymisestä ja omaisuusvahinkojen kertymästä. Ko. hanke tuotti suuren määrän tilastoanalyysiin ja Monte Carlo -simulointiin perustuvaa tietoa, joita resurssien rajallisuuden vuoksi on

pystytty toistaiseksi hyödyntämään vain osittain (Keski-Rahkonen ym. 2011). Tässä hankkeessa tavoitteena oli yhdistää edellä kuvatut ongelman eri puolia kuvaavat menetelmät ja mallit yksinkertaiseksi kokonaisuudeksi, jonka avulla saadaan selkeä arvio toimintavalmiuden vaikutuksesta vahinkoihin.

Pelastustoimi käyttää riskimäärittelyissään 1 km × 1 km ruutuja, jotka on niille määritetyn riskitason perustella luokiteltu neljään riskiluokkaan (Sisäasiainministeriö 2012). Riskitason määrittämiseen käytetään regressiomallia (Tillander ym. 2010), jossa muuttujina ovat ruudun asukasluku, kerrosala sekä niiden yhteisvaikutus. Tämän lisäksi pelastustoimen toimintavalmiuden suunnitteluohjeen (Sisäasiainministeriö 2012) mukaisesti riskiluokan määräytymiseen vaikuttaa myös ruudussa (viiden vuoden seurantajaksolla) tapahtuneiden onnettomuuksien määrä. Tyypilliset riskiluokan I ruudut ovat tiheästi asuttuja ja rakennettuja alueita, kun taas riskiluokan IV alueet ovat tyypillisesti harvaan asuttuja ja rakennettuja. Jotta Suomen maantieteelliset erot tulisivat riittävällä tavalla huomioitua hankkeen tarkasteluissa, tulokset määritettiin kullekin riskiluokalle I-IV erikseen.

1.4 Asuntopalojen osuus pelastustoimen tehtävistä

Tarkastelu rajattiin koskemaan rakennuspaloja asuinrakennuksissa.

Pelastustoimen onnettomuus- ja resurssitilastojärjestelmä PRONTO:n mukaan pelastustoimella oli aikavälillä 2009–2012 noin 80 000 tehtävää vuosittain (ei sisällä ensivastetehtäviä). Näistä noin 2 600 kpl (3 %) oli rakennuspaloja. Edelleen rakennuspaloja asuinrakennuksissa oli hieman alle 1 200 kpl vuodessa. Asuinrakennuspalojen osuus oli täten noin 45 % kaikista rakennuspaloista ja noin 1,5 % kaikista pelastustoimen tehtävistä.

PRONTO-järjestelmään kirjatuista vakavista henkilövahingoista (kuolemat ja vakavat loukkaantumiset) 6 % syntyi rakennuspaloissa. Rakennuspaloissa aiheutuneista henkilövahingoista noin 88 % tapahtui asuinrakennusten paloissa. Näin ollen pelastustoimen tehtävissä kirjatuista vakavista henkilövahingoista 5 % tapahtui asuinrakennusten tulipaloissa. Pääosa tilastoiduista vakavista henkilövahingoista aiheutui liikenneonnettomuuksissa (71 %). Määrällisesti asuinrakennuspaloja enemmän vakavia henkilövahinkoja tapahtui liikenneonnettomuuksien lisäksi ihmisen pelastustehtävissä (11 %) ja avunantotehtävissä (6 %). Rakennuspaloissa aiheutuvista omaisuusvahingoista tapahtui asuinrakennuspaloissa noin 37 %.

1.5 Rajaukset

Tarkastelu rajattiin koskemaan asuntopaloja. Laskennallisessa mallissa käsiteltiin vain syttymisasuntoa ja syttymisasunnossa tapahtuneita henkilövahinkoja. Esimerkiksi porraskäytävässä ja rakennuksen muissa asunnoissa mahdollisesti muodostuvien uhkaavien olosuhteiden tai henkilövahinkojen syntyminen rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle.

2 Mallinnusmenetelmät ja käytetty aineisto

2.1 Stokastinen operaatioaikamallinnus

VTT:ssä on kehitetty menetelmä pelastusorganisaatioiden aikaviiveiden arviointiin tulipaloissa ja muissa kriisitilanteissa (Kling ym. 2013). Tässä menetelmässä pelastusoperaation yksittäisiä tapahtumia kuvataan aikaviiveinä ja mahdollisina erilaisten poikkeavien tapahtumien aiheuttamina lisäviiveinä. Ihmisten toimintoja ja niiden välisiä kytkentöjä kuvataan vuokaaviolla, jonka perusteella muodostetaan laskentamalli. Laskentamallissa tapahtumien aiheuttamat aikaviiveet määritellään todennäköisyysjakaumina, joiden parametrit arvioidaan tilastojen tai asiantuntija-arvioiden perusteella. Lopuksi suoritetaan Monte Carlo -simulointi, jonka perusteella voidaan muodostaa todennäköisyysjakaumat halutuille tulossuureille. Simuloinnit toteutetaan käyttäen Excel-pohjaista Probabilistic Fire Simulator -työkalua (PFS) (Hostikka & Keski-Rahkonen 2003; Hostikka 2008).

Monte Carlo -simulointien tavoitteena on muodostaa kiinnostuksen kohteena olevalle tapahtumasarjalle ns. **operaatioaika** Δt_{kok} , joka kuvaa tapahtumasarjan kokonaisaikaviivettä. Perustapauksessa operaatioaika lasketaan yksittäisten aikaviiveiden summana seuraavasti:

$$\Delta t_{kok} = \sum_i (\Delta t_i + \sum_j k_{ij} \cdot \delta t_{ij}) \quad (1)$$

jossa

Δt_i = tapahtuman i aikaviive

δt_{ij} = tapahtumaan i liittyvä lisäviive j

$k_{ij} = 1$ todennäköisyydellä p_{ij} ja 0 todennäköisyydellä $(1-p_{ij})$

p_{ij} = lisäviiveen j todennäköisyys

Tapahtumasarjassa voi esiintyä myös rinnakkaisia (AND) tai vaihtoehtoisia (OR) prosesseja, jotka huomioidaan laskentakaavassa käyttäen operaattoreita MAX ja MIN (Hostikka ym. 2012b). Tässä projektissa operaatioaikamallia käytettiin asuntopaloihin liittyvän pelastustoiminnan aikaviiveiden määrittämiseen. Tavoitteena oli verrata näitä aikaviiveitä henkilö- ja omaisuusvahinkojen ajalliseen kertymiseen ja muodostaa näin laskentamenetelmä toimintavalmiuden vaikuttavuuden arvioimiseen asuntopaloissa.

2.2 Asuntopalojen simulointiaineisto

Tutkimusohjelmassa ”Palokuolemien ehkäisykeinojen vaikuttavuuden arviointi” (Keski-Rahkonen ym. 2009a) määritettiin asuinhuoneistoille kerrosalojen, tilojen korkeuksien ja tilavuuksien sekä irtaimiston ja kokonaispalokuormien teoreettiset jakaumat (Keski-Rahkonen ym. 2009b). Aineistoa täydennettiin myöhemmin Pelastusopiston henkilökunnan kanssa järjestetyn tiedonkeruuoperaation avulla, jossa asunnoista ja asukkaista kerättiin yksityiskohtaisia tietoja, joiden avulla muodostettiin tietopankki asuinrakennusten tulipalojen analysointiin. Aineistoon kerättyjen asuntojen kerrosalan ja tilavuuden jakaumat muodostettiin kahden logaritmisesti normaalin jakauman summana seuraavasti (Karhula ym. 2011):

$$F(x; \mu, \sigma) = (1 - c)F_1(x; \mu_1, \sigma_1) + cF_2(x; \mu_2, \sigma_2) \quad (2)$$

jossa jakauman odotusarvoa kuvataan parametrilla μ , μ_1 tai μ_2 ja keskihajontaa parametrilla σ , σ_1 tai σ_2 . c on painokerroin.

Taulukossa 1 esitetään asuntotietokantaan kerättyjen asuntojen kerrosalan ja tilavuuden kertymäfunktioiden parametrit. Asunnoille määritettiin myös huoneiden pinta-alojen ja tilavuuksien jakaumat sekä huoneiden välisten ovien ja aukkojen pinta-alat, lukumäärät sekä ovien asentojen todennäköisyys. Palokuorimatiedot kerättiin sisustusobjektityypeittäin (esim. kirjahylly, pehmustettu huonekalu jne.) ja tarkennettiin sitten sisältämään kyseisten objektien palokuorman, joka määriteltiin esim. sohvan koon tai kirjahyllyn sisältämän aineiston perusteella.

Taulukko 1. Kerrosalan ja tilavuuden jakaumat asuntotietokannassa (Karhula ym. 2011).

	N	Keskiarvo	Keskihajonta	μ_1	σ_1	c	μ_2	σ_2
Asunnon kerrosala (m ²)	314	59,2	23,8	44	0,39	0,82	105	0,38
Asunnon tilavuus (m ³)	314	153,2	57,9	116	0,4	0,86	310	0,28
Kerrostaloasunnon kerrosala (m ²)	206	47,3	18,6	44	0,38	0		
Kerrostaloasunnon tilavuus (m ³)	206	118,2	46,6	110	0,38	0		
Omakotitalon kerrosala (m ²)	50	57,2	98	0,9	0,24	120	0,19	
Omakotitalon tilavuus (m ³)	50	324,5	153,1	260	0,88	0,26	298	0,2
Rivitaloasunnon kerrosala (m ²)	46	54,9	18,6	52	0,33	0		
Rivitaloasunnon tilavuus (m ³)	46	140,3	50,7	132	0,35	0		

Tutkimusohjelman toisessa osatehtävässä em. aineiston perusteella laadittiin simulointimallit asutapaoloille, joita simulointiin Fire Dynamics Simulator (FDS) -ohjelmaa (McGrattan ym. 2010) ja Probabilistic Fire Simulator (PFS) -laskentatyökalua (Hostikka & Keski-Rahkonen 2003; Hostikka 2008) käyttäen Monte Carlo -tekniikalla todennäköisyyspohjaisesti. Palon mallintaminen jaettiin kahteen osaan: 1) ensimmäisessä vaiheessa mallinnettiin esipaloa eli ”kaikkea, mitä palossa tapahtuu ennen syttymää sekä syttymästä siihen saakka, kunnes palo on liekehtivä ja teholtaan niin suuri, että se kehittyy kasvavasti, ellei sen kulkuun puututa” ja 2) toisessa vaiheessa mallinnettiin paloa siten, että alkuvaiheen paloteho laskettiin esipalon parametrisoidusta mallista ja n. 30 kW:n tehon saavuttamisen jälkeen paloteho määräytyi palon leviämisestä, jonka FDS-simulointimalli laski huonetilan, palokuorman ja ilmanvaihdon perusteella (Keski-Rahkonen & Karhula 2012). Jälkimmäistä simulointiaineistoa käytettiin tässä projektissa henkilövahinkokertymien määrittämiseen.

Simuloinneista on kerrottu lisää liitteessä B.

2.3 Rakennuspaloaineisto

Operaatioaikamallin parametrien määrittämisessä käytettiin mm. pelastustoimen resurssi- ja onnettomuus-tilastoa (PRONTO), joka on sisäministeriön järjestelmä pelastustoimen seuranta ja kehittämistä varten (Ketola 2012). Toimenpiderekisteriin on kirjattu kaikki hätäkeskuksen välittämät pelastustoimen tehtävät vuodesta 2000 alkaen. PRONTO:n sisällön luotettavuudesta tehdyn selvityksen perusteella suurin osa niin sanotuista avaintiedoista on kirjattu järjestelmään kiitettävällä tarkkuudella. Rakennuspaloissa laatu- ja turvallisuustiedot kohdistuvat pääasiassa rakennusta koskeviin tietoihin sekä pelastus- ja torjuntamenetelmien valintaan (Majuri & Kokki 2010).

PRONTO-tiedoista tehty poiminta kattoi seuraavat tiedot ja rajaukset:

- Tarkasteluajanjakso: 2009–2012
- Riskiluokat I-IV eriteltyinä
- Tehtävän resurssiluokitus: Kiireellinen
- Onnettomuustyyppi: Rakennuspalot ja rakennuspalovaarat (joissakin tilanteissa huomioitiin vain rakennuspalot)
- Rakennustyyppi: Yhden asunnon talo, kahden asunnon talo, muu erillinen pientalo, rivitalo, ketjutalo, luhtitalo, muu asuinkerrostalo [Luokittelu: 1) erilliset pientalot 2) rivi- ja ketjutalot 3) asuinkerrostalot]
- Kerrostalon kerrosluku (vain raportoidut kerrosluvut huomioitiin)
- Palovaroitin toimi: kyllä/ei (muut huomiotta)
- Ilmoitusaika (tunnin tarkkuudella, 0-23)
- Hälytysaika (ensimmäisen yksikön hälytysaika)
- Toimintavalmiusaika A:71:n mukaan (huomioitiin vain ne, joissa vahvuus 1+3 täyttyi)
- Onnettomuudessa kuolleiden ja vakavasti loukkaantuneiden lukumäärä
- Syttymistila
- Palon laajuus palokunnan saapuessa / tilanteen lopussa

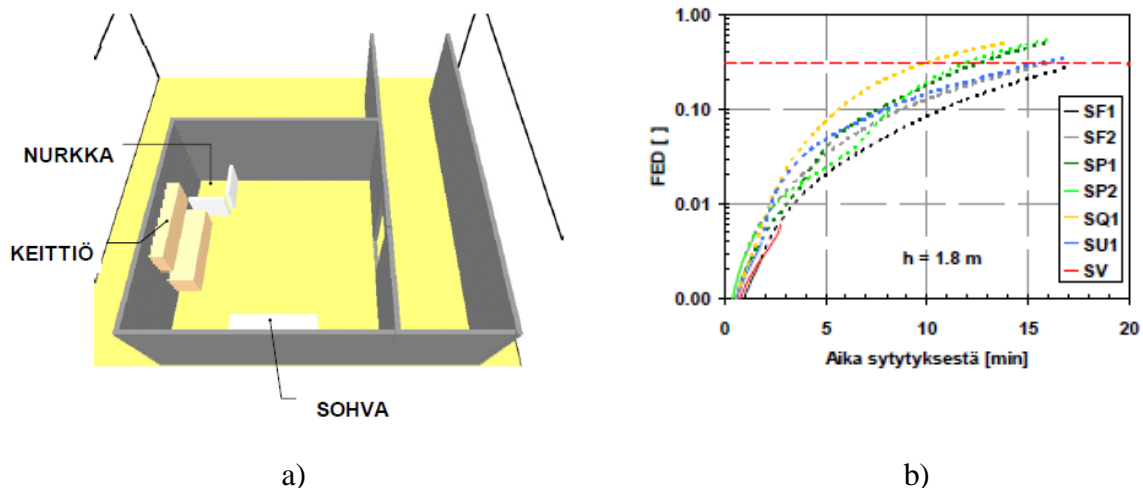
2.4 Selvitysaikamittaukset

Asuntopaloihin liittyviä selvitysaikoja on mitattu aikaisemmin mm. Jäntin ym. (2009) toimesta Pelastusopistolla, missä tarkasteltiin harjoitusolosuhteissa yhdeltä yksiköltä kohteessa kuluva aikaa 3. kerroksen huoneistopalossa. Näitä tietoja täydennettiin Helsingin pelastuslaitoksen harjoitusalueella sekä Keskuspelastusasemalla suoritetuissa kokeissa, joissa mitattiin selvitysaikoja 1. ja 6. kerrokseen ns. Pelastusopiston mallilla (Miettinen 2007). Kokeiden tarkempi kuvaus on esitetty luvussa 4.

3 Sprinklauksen vaikutus henkilöturvallisuuteen

Sprinklauksen vaikutusta henkilöturvallisuuteen tarkasteltiin ”Asuntosprinklaus Suomessa. Vaikuttavuuden arviointi. Osa 2” -projektin (Vaari ym. 2010) tulosten perusteella. VTT:llä oli vuosina 2006–2010 käynnissä asuntosprinklausta käsittelevä hankekokonaisuus, jonka päätavoitteena oli arvioida, voidaanko palokuolemien ja loukkaantumisten määrää Suomessa merkittävästi vähentää asuntosprinklauksella. Hankkeen toisessa osassa (Vaari ym. 2010) toteutettiin koesarja, johon osallistuneet sammutusjärjestelmät (8 kpl) edustivat varsin laajaa kirjoa vesipohjaisia sammutusjärjestelmiä. Mukana oli tavanomaisia asuntosprinklerijärjestelmiä (joiden suuttimet olivat standardikomponentteja), matala- ja korkeapaineisia vesisumujärjestelmiä, liikuteltavia järjestelmiä sekä järjestelmiä, joiden laukeaminen perustui tavanomaisten lasikapselien asemesta paloilmaisimiin. Osa sammutusjärjestelmistä oli tarkoitettu nimenomaan henkisuojaukseen, kun taas osa oli suunniteltu suorituskyvyltään samantasoisiksi kuin OH1-sprinklerijärjestelmä. Yhteistä kaikille järjestelmille oli, että testitilassa oli asennettuna yksi ainoa suutin. Kaikki järjestelmät käyttivät sammutteena pelkkää vettä.

Kokeissa käytetyt palokuormat oli koottu materiaaleista, joita tyypillisesti käytetään palotestauksessa (Kuva 1a). Sammutusjärjestelmien suorituskykyä arvioitiin lämpötilan, kaasupitoisuuksien sekä savun tiheyksien mittausten avulla. Koehuoneistossa oli yhteensä 23 lämpötilan mittauspistettä. Lämpötilamittausten lisäksi sekä koehuoneesta että käytävätilasta mitattiin kaasupitoisuuksia palon aikana. Tukahduttavien myrkyllisten kaasumaisten palamistuotteiden vaikutusta ihmiseen arvioitiin ns. FED-mallilla (fractional effective dose), jossa määritettiin erikseen kunkin tukahduttavan kaasukomponentin vaikuttava annossuhde (FED-arvo) tarkasteluajankohtana. Esimerkki FED-arvojen kehityksestä palotilanteessa on esitetty kuvassa 1b.



Kuva 1. Asuntosprinklaus Suomessa. Vaikuttavuuden arviointi. Osa 2 -projekti (Vaari ym. 2010). a) Kokeissa palokuormina käytetty nurkka, sohva ja keittiökaapisto sijoitettuna kaaviokuvaan. b) Sohvapalokokeiden kaasumittauksista lasketut FED-arvot koehuoneen sisällä 1,8 m:n korkeudella.



3.1 Asiantuntija-arviot

Pelastustoimintaan liittyviä puuttuvia tietoja täydennettiin asiantuntija-arvioilla, jotka määritettiin ”Toimintavalmiuden vaikuttavuus asuntopaloissa” -projektin työryhmän istunnoissa keväällä ja syksyllä 2013. Tällaisia puuttuvia tietoja olivat mm. tiedusteluun kuluvat ajat sekä selvitysajan lisäviiveet esim. kulkutiesteiden tai laiterikkojen vuoksi. Työryhmään osallistui Helsingin pelastuslaitoksen, Tampereen aluepelastuslaitoksen ja VTT:n edustajia.

4 Selvitysaikamittaukset

4.1 Koejärjestelyt

Mittaukset järjestettiin Helsingin pelastuslaitoksen harjoitusalueella sekä Keskuspelastusasemalla (As 10, Kallio). Selvitykset tehtiin vahvuudella 1+3 ja selvitysmallina käytettiin ns. Pelastusopiston mallia (Miettinen 2007). Poiketen Pelastusopiston mallista pääjohdon selvitykseen osallistui konemiehen lisäksi esimies. Kaikki suoritukset tehtiin varmennettuna paineellisilla pää- ja työjohdoilla. Kussakin pelastusyksikössä oli siten neljä jäsentä, jotka on tekstissä nimetty seuraavin termein: esimies, konemies, ykkönen ja kakkonen.

Koehenkilöt suorittivat kokeet täydessä savusukellusvarustuksessa, jonka he saivat konemiestä lukuun ottamatta pukea valmiiksi päälle. Paineilmalaitteiden kasvo-osa oli remmikiinnitteinen, jonka pukeminen vie hieman enemmän aikaa kuin pikakiinnitteisen kasvo-osan pukeminen.

4.1.1 Perusselvitys 1. kerrokseen

4.1.1.1 Kokeen suorituspaikka ja koehenkilöt

Harjoitusalueella suoritettiin perusselvitys 1. kerrokseen. Perusselvityksiä tehtiin yhteensä 30 kpl kahtena eri mittauspäivänä (20.5.2013 ja 31.5.2013). Koehenkilöinä toimivat Pelastuskoulun kaksi pelastajakurssia, PK36 ja PK37. Toisen pelastajakurssin (PK36) oppilaat olivat opiskelleet 4 lukukautta ja toisen (PK37) 2 lukukautta. Ennen mittauksia koehenkilöille kerrottiin mittausten tarkoitus, mutta tarkempia ohjeita selvityksen kulusta ei annettu. Kumpaankin ryhmään kuului yhteensä 15 pelastajaoppilasta ja harjoitus tehtiin siten, että eri selvityskerroilla kunkin koehenkilön rooli vaihtui.

Kohteena oli hirsirakenteinen omakotitalo, jonka pääovesta sisään hyökkäykset tehtiin. Talon pääoven edessä oli kolmen portaan koroke sekä tasanne oven edustalla. Talon edessä oleva piha-alue oli tasainen ja avoin. Pelastusyksikkö sijoitettiin 20,5 m päähän omakotitalon ovelta. Jakoliitin sijoitettiin pelastusyksikön ja oven väliin, noin 12,5 m etäisyydelle pelastusyksiköstä (kuva 2).



Kuva 2. Perusselvitys käynnissä Helsingin pelastuslaitoksen harjoitusalueella.

4.1.1.2 Kokeen kulku

Kokeen alussa koehenkilöt olivat pelastusyksikössä omilla paikoillaan, ajoneuvon ovet suljettuina. Kun koehenkilöt ilmoittivat radiolla olevansa valmiita, kouluttaja antoi selvityskäskyn ”Perusselvitys, huoneistopalo, toimikaa”. Mittaus käynnistettiin, kun ajoneuvon ovet avautuivat.

Käytetyssä selvitysmallissa esimies ja konemies selvittivät maan tasolle yhden pääjohdon (halkaisija 73 mm) mitan (pituus 20 m) pelastusyksiköltä jakoliittimelle, jonka jälkeen konemies huolehti varmentavan pääjohdon selvittämisestä pelastusyksiköltä jakoliittimelle. Koska kohteessa ei suoritettu erillistä tiedustelua, tämä vapautti myös pelastusyksikön esimiehen avustamaan selvityksen tekemisessä. Yleensä pelastusyksikön esimies ei avusta jakoliittimen selvityksessä. Tällä voidaan arvioida olevan hieman merkitystä jakoliittimen selvitysaikaan, mutta ei selvityksen loppuosaan, jonka suorittivat ykkönen ja kakkonen jakoliittimeltä kahdestaan. Ensimmäinen mittausväliaika otettiin jakoliittimen ilmaushetkestä (jakoliittimeen päästettiin vesi ja ilmattiin).

Ykkösen tehtäviin kuului samanaikaisesti selvittää jakoliittimeltä edelleen kaksi työjohtoa (halkaisija 42 mm, pituus yhteensä 40 m) omakotitalon ovelle, liittää työsuihku sekä ilmata se saatuaan vettä jakoliittimeltä. Veden pyytäminen suoritettiin käsimerkillä.

Kakkosen tehtäviin kuului selvittää turvasuihku. Turvasuihku kiinnitettiin jakoliittimeen ja työjohtoa selvitettiin letkulaukusta noin 5 m loppuosan jäädessä letkulaukkuun. Turvasuihkun suihkupuutki jätettiin lopuksi letkulaukun päälle. Turvasuihkun selvittämisen jälkeen kakkosen tehtäviin kuului ykkösen avustaminen sekä murtovälineiden (murtorauta ja moska) tuominen ovelle.

Työjohdon paineistamisen ja ilmaamisen sekä paineilmalaitteiden kasvo-osien pukemisen jälkeen ykkönen ja kakkonen mursivat oven yhdessä ja hyökkäsivät sisään (kuva 3). Koska ovea ei voitu murtaa joka kerta uudelleen, sitä kuvattiin lyömällä oven karmiin asetettua murtorautaa kaksi kertaa moskalla. Mittaus päättyi, kun kakkonen veti ulko-oven letkua vasten kiinni.



Kuva 3. Sammutushyökkäys 1. kerrokseen.

4.1.2 Perusselvitys 6. kerrokseen

4.1.2.1 Kokeen suorituspaikka ja koehenkilöt

Perusselvitys kuudenteen kerrokseen suoritettiin Helsingin pelastuslaitoksen Keskuspelastusaseman tornissa Kalliossa. Perusselvityksiä tehtiin yhteensä 15 kpl 3.6.2013. Koehenkilöinä toimivat Pelastuskoulun pelastajakurssin PK36 pelastajaoppilaat, jotka olivat opiskelleet 4 lukukautta. Ennen mittauksia koehenkilöille kerrottiin mittausten tarkoitus, mutta tarkempia ohjeita selvityksen kulusta ei annettu. Koehenkilöryhmään kuului yhteensä 13 pelastajaoppilasta ja harjoitus tehtiin siten, että eri selvityskerroilla kunkin koehenkilön rooli vaihtui.

Keskuspelastusaseman tornin 6. kerroksen korkeus maantasosta oli 18,7 m. Portaiden vapaaleveys oli 1,27 m ja kerrostasanteiden koko 1,7 m × 3,3 m. Välitasanteiden koko vaihteli kerroksesta riippuen. As-

kelman nousu oli 130 mm ja etenemä 260 mm. Mittaukset tehtiin päivällä, jolloin valaistus porraskäytävissä oli hyvä.

Keskuspelastusaseman tornin edessä oleva piha-alue oli tasainen ja avoin. Jakoliitin sijoitettiin noin 19,5 m etäisyydelle pelastusyksiköstä ja jakoliitin 7,5 m etäisyydelle alaovesta.

4.1.2.2 Kokeen kulku

Kokeen alussa koehenkilöt olivat pelastusyksikössä omilla paikoillaan ajoneuvon ovet suljettuina. Kun koehenkilöt ilmoittivat radiolla olevansa valmiita, kouluttaja antoi selvityskäskyn ”Perusselvitys, huoneistopalo, toimikaa”. Mittaus käynnistettiin, kun ajoneuvon ovet avautuivat.

Käytetyssä selvitysmallissa esimies ja konemies selvittivät maan tasolle yhden pääjohdon (halkaisija 73 mm) mitan (pituus 20 m) pelastusyksiköltä jakoliittimelle, jonka jälkeen konemies huolehti varmentavan pääjohdon selvittämisestä pelastusyksiköltä jakoliittimelle. Koska kohteessa ei suoritettu erillistä tiedustelua, tämä vapautti myös pelastusyksikön esimiehen avustamaan selvityksen tekemisessä.

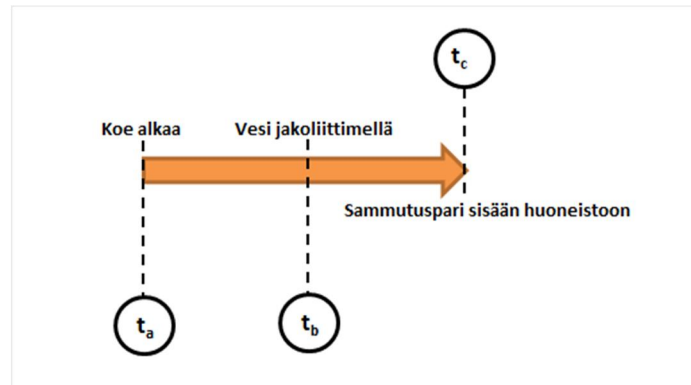
Ykkösen tehtäviin kuului samanaikaisesti selvittää jakoliittimeltä työjohtoa (halkaisija 42 mm) tornin alaovesta sisään ja portaita ylös. Ykkönen selvitti kakkosen avustamana työjohtoa kerroksiin siten, että letku mahdollisimman hyvin kiersi portaiden ja porrastasanteiden ulkoreunoja. Tällä pyritään estämään letkun putoaminen porrashuoneen keskikuiluun ja jääminen kaiteiden alle, mikä estää veden virtausta. Sekä yksöllä että kakkosella oli kummallakin mukanaan yksi letkulaukku, joka sisälsi 3 kpl 20 m työjohtoja. Kakkonen seurasi ykköstä varmentaan letkun oikean sijainnin sekä kantoi mukanaan toista letkulaukkuja, josta saatiin lisäletku ensimmäisen laukun loputtua. Kakkonen antoi oman laukkunsa ykköselle, kun letku loppui ja ykkönen jatkoi selvitystä kohteeseen. Kakkonen liitti ykköslaukun viimeisen letkun ja kakkoslaukun ensimmäisen letkun. Konemies selvitti esimiehen avustuksella jakoliittimen, joka ilmattiin ja esimies seurasi paria porrashuoneeseen. Esimiehellä ei ollut tiedustelutehtävää. Konemies selvitti ulkona varmentavan pääjohdon sekä turvasuihkun. Vesi työjohtoon pyydettiin ykkösen toimesta Virve-radiolla, jolloin konemies laski veden työjohtoon.

Kuudenteen kerrokseen suoritettuun selvitykseen tarvittiin yhteensä 4 työjohtoa, jonka lisäksi kuudennesta kerroksesta ylöspäin menevään porrassyöksyyn selvitettiin lisäksi yksi työjohto työvaraksi. Työvaralla varmistetaan, ettei letku lopu kesken savusukelluksen aikana vaan riittää kaikkiin tiloihin aiotun savusukelluksen alueella. Suihkuputki ilmattiin kuudennessa kerroksessa olleeseen astiaan. Työjohdon paineistamisen ja ilmaamisen sekä paineilmalaitteiden kasvo-osien pukemisen jälkeen ykkönen ja kakkonen mursivat oven yhdessä ja hyökkäsivät sisään. Koska ovea ei voitu murtaa joka kerta uudelleen, sitä kuvattiin lyömällä oven karmiin asetettua murtorautaa kaksi kertaa moskalla. Mittaus päättyi, kun kakkonen veti ulko-oven letkua vasten kiinni.

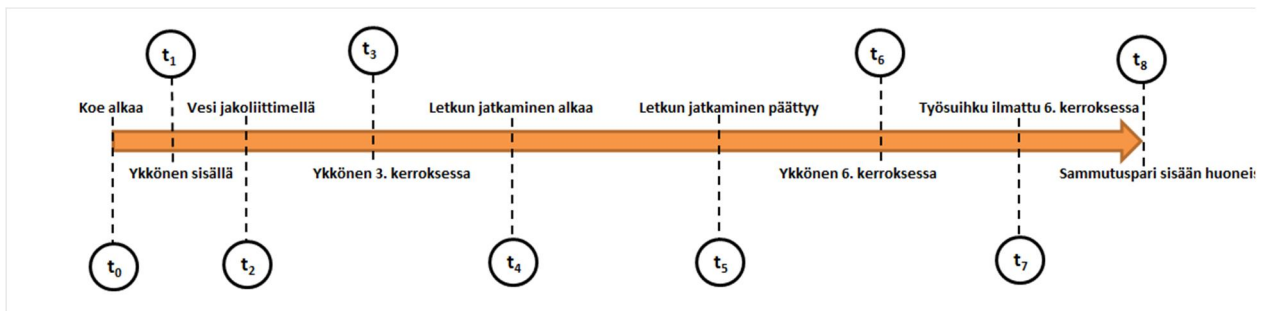
4.2 Tulokset

Kuvassa 4 on esitetty aikajanalla selvitysaikakokeista mitatut aikavälit. Aikaväli kokeen alusta (t_0) vesi jakoliittimellä -aikaan (t_b , t_2) oli vertailukelpoinen ensimmäiseen ja kuudenteen kerrokseen tehdyissä selvityskokeissa, minkä vuoksi aikaväliä koskevat mittaustulokset yhdistettiin.

Selvitysaika kokeen alusta sammutusparin sisälle menoon oli 1. kerrokseen tehdyissä selvityksissä keskimäärin 1 min 52 s (mediaani sama kuin keskiarvo) ja 6. kerrokseen tehdyissä selvityksissä keskimäärin 4 min 8 s (mediaani 4 min 17 s). Eri aikavälien mediaanit ja kvartiilivälit on esitetty taulukossa 2. Eri aikavälien kertymäkuvaajat on esitetty kuvissa 5 ja 6.



a)

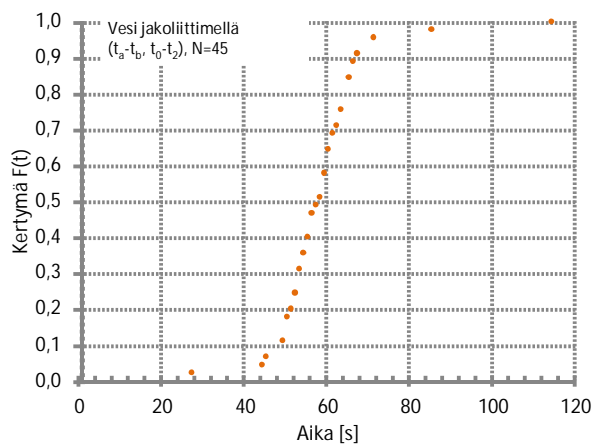


b)

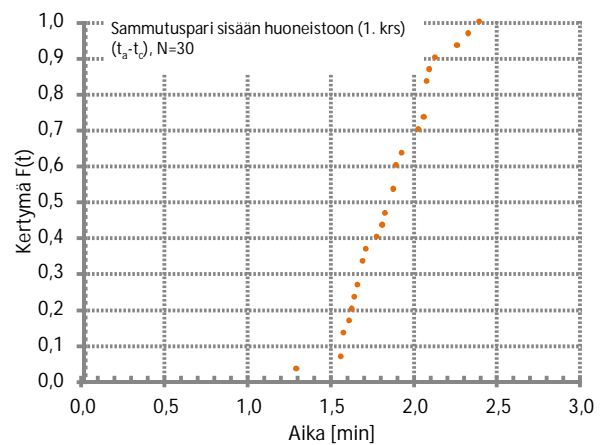
Kuva 4. Aikamittauspisteet selvitysaikamittauksissa a) ensimmäiseen kerrokseen ja b) kuudenteen kerrokseen.

Taulukko 2. Mitattujen aikavälien mediaanit ja kvartiilivälit.

Aikavälin kuvaus ja mittausten lukumäärä (N)	Aika- väli (t_i-t_j)	Mediaani		
		50 %	25 %	75 %
Selvitykset 1. ja 6. kerrokseen, N = 45				
Kokeen alku–Vesi jakoliittimellä	t_a-t_b, t_0-t_2	58 s	53 s	63 s
Selvitykset 1. kerrokseen, N=30				
Kokeen alku- Sammutuspari 1. krs asunnon ovesta sisään	t_a-t_c	1 min 52 s	1 min 40 s	2 min 4 s s
Selvitykset 6. kerrokseen, N=15				
Kokeen alku – Ykkönen 3. kerroksessa	t_0-t_3	1 min 22 s	1 min 10 s	1 min 32 s
Kokeen alku – Työsuihku ilmattu 6. kerroksessa	t_0-t_7	3 min 48 s	3 min 33 s	4 min 4 s
Kokeen alku – Sammutuspari 6. krs asunnon ovesta sisään	t_0-t_8	4 min 17 s	3 min 44 s	4 min 43 s
Ykkönen alaovesta sisään – Ykkönen 3. kerroksessa	t_1-t_3	43 s	36 s	53 s
Ykkönen 3. kerroksessa – Ykkönen 6. kerroksessa	t_3-t_6	1 min 3s	1 min	1 min 13 s
Letkun jatkamiseen kulunut aika	t_4-t_5	12 s	9 s	12 s
Ykkönen 6. kerroksessa – Työsuihku ilmattu 6. kerroksessa	t_6-t_7	1 min 20 s	1 min 7 s	1 min 27 s
Työsuihku ilmattu – Sammutuspari 6. krs asunnon ovesta sisään	t_7-t_8	18 s	14 s	41 s

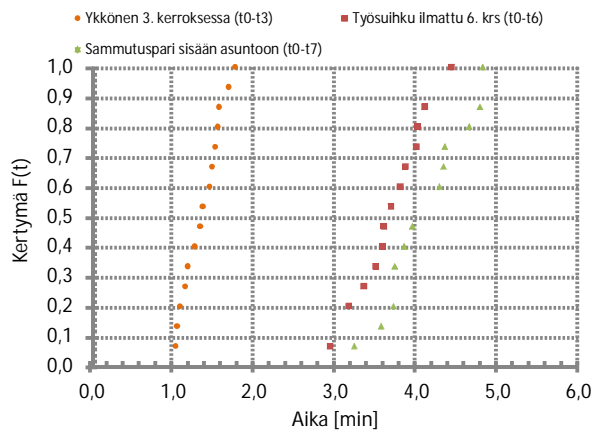


a)

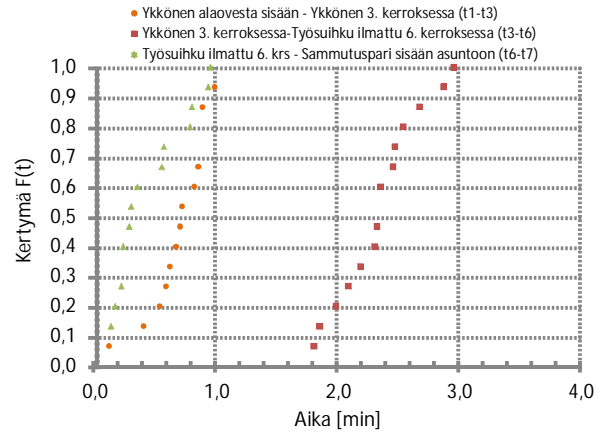


b)

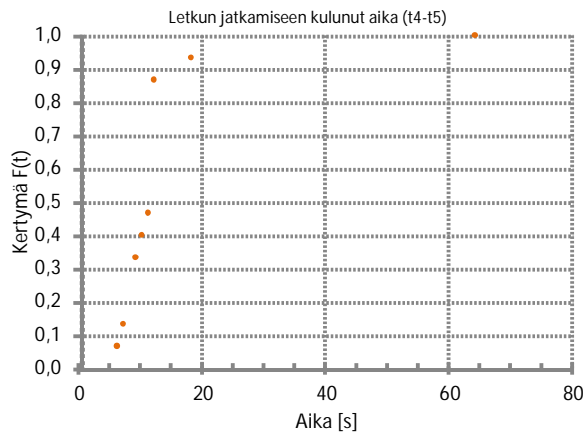
Kuva 5. Kertymäkuvaajat kokeen alusta ajan hetkeen jolloin a) vesi jakoliittimellä ja b) sammutuspari sisällä 1. kerroksen huoneistossa.



a)



b)



c)

Kuva 6. Mitattujen aikavälien kertymäkuvaajat. a) Aikavälit kokeen alusta hetkeen, jolloin ykkönen saavuttaa 3. kerroksen, työsuihku on ilmattu 6. kerroksessa sekä sammutuspari menee sisään asuntoon. b) Aikavälit ykkönen alaovesta sisään – ykkönen 3. kerroksessa, ykkönen 3. kerroksessa – työsuihku ilmattu 6. kerroksessa ja työsuihku ilmattu 6. kerroksessa – sammutuspari ovesta sisään. c) Letkun jatkamiseen kulunut aika.

Taulukossa 3 tuloksia on vertailtu vuonna 2009 (Jäntti ym. 2009) Pelastusopistolla tehtyjen mittausten tuloksiin. Pääjohdon selvittämisen alaovelle teki uusissa mittauksissa kaksi henkilöä poiketen vuonna 2009 tehdyistä mittauksista, joissa sen teki yksi henkilö. Tämä aikaväli onkin vuoden 2009 mittauksissa pidempi (taulukko 3). Aikaväli kokeen alusta siihen, kun sammutuspari saavuttaa 3. kerroksen on molemmissa mittauksissa samaa suuruusluokkaa. Tuloksista kuitenkin nähdään, että toiminnasta kerrostasanteella aiheutuu tuloksiin selkeitä eroavaisuuksia. Kun tarkastellaan aikaväliä kokeen alusta siihen hetkeen, kun sammutuspari menee sisään huoneistoon, aikavälien mediaanit ovat molemmissa mittauksissa samaa suuruusluokkaa. Kuitenkin Pelastusopistolla tehdyissä kokeissa edettiin 3. kerrokseen ja tämän hankkeen yhteydessä tehdyissä kokeissa 6. kerrokseen. Näin ollen 3. kerrokseen tehdyissä mittauksissa kerrostasanteella on käytetty selvästi enemmän aikaa kuin 6. kerrokseen tehdyissä mittauksissa. Pelastusopiston mittauksissa on raportoitu olleen viivästyksiä 3. kerroksessa työvaran ja työjohdon paineistamisen välillä mm. seuraavista syistä: radioliikenne (väärät puheryhmät, pitkät sanomat ja toisto), kasvo-osien pukemi-

nen (kasvo-osien ja hengitysventtiilien paikoilleen asettamisen tarkistukset), unohdukset, ongelmat toiminnassa (esim. letkunkannattimien kiinnitys, radioliikenne) (Jäntti ym. 2009). Nämä osaltaan selittävät eroavaisuuksia mitatuissa aikaväleissä.

Taulukko 3. Tulosten vertailu vuonna 2009 (Jäntti ym. 2009) saatuihin tuloksiin. Aikavälien nol-lakohtana on kokeen alku.

Aikaväli	Kvartiilivälit					
	25 %		50 %		75 %	
	2013	2009	2013	2009	2013	2009
Pääjohto selvitettyä alaovel-le ja vesi jakoliittimellä	53 s	1 min 22 s	58 s	1 min 59 s	1 min 3 s	2 min 21 s
Sammutuspari alaovesta	37 s	41 s	39 s	52 s	41 s	1 min 5 s
Sammutuspari 3. kerroksen tasanteella	1 min 10 s	1 min 33 s	1 min 22 s	1 min 42 s	1 min 32 s	1 min 56 s
Sammutuspari 6. kerroksen tasanteella	2 min 14 s	-	2 min 28 s	-	2 min 50 s	-
Sammutuspari sisään huoneistoon	3 min 45 s (6. krs)	4 min 12 s (3. krs)	4 min 17 s (6. krs)	4 min 40 s (3. krs)	4 min 43 s (6. krs)	5 min 18 s (3. krs)

5 Vahinkokertymät

5.1 Henkilövahingot

5.1.1 Sprinklaamaton tapaus

Henkilövahinkokertymät sprinklaamattomassa tapauksessa muodostettiin ”Palokuolemien ehkäisykeinojen vaikuttavuuden arviointi” -projektissa (Keski-Rahkonen ym. 2011) tehtyjen simulointien perusteella. Projektissa tehtiin FDS-ohjelmalla Monte Carlo -tekniikalla n. 365 asuntopalosimulointia, joissa tarkasteltiin kuolettavien olosuhteiden muodostumiseen kuluva aikaa kuudessa eri mittapisteessä eri puolilla asuntoa. Myrkyllisistä savukaasuista johtuvien lamauttavien olosuhteiden muodostumista arvioitiin ns. FED-indeksin avulla (FED = Fractional Effective Dose). Taulukossa 4 on esitetty, kuinka suuri osa altistuneista saa poistumista vakavasti haittaavia vaikutuksia FED:n eri arvoilla.

Taulukko 4. FED-raja-arvo ja poistumista vakavasti haittaavien vaikutusten muodostuminen (ISO 13571:2007).

FED-raja-arvo	Vakavat haittavaikutukset (% altistuneista)
1,0	50
0,3	11,4
0,1	1,1

FDS-ohjelmassa FED-indeksi (FED_{tot}) lasketaan seuraavasti (McGrattan ym. 2010):

$$FED_{tot} = FED_{CO} \times HV_{CO_2} + FED_{O_2} \quad (3)$$

jossa

$$FED_{CO} = 4,607 \times 10^{-7} (C_{CO})^{1,036} t \quad (4)$$

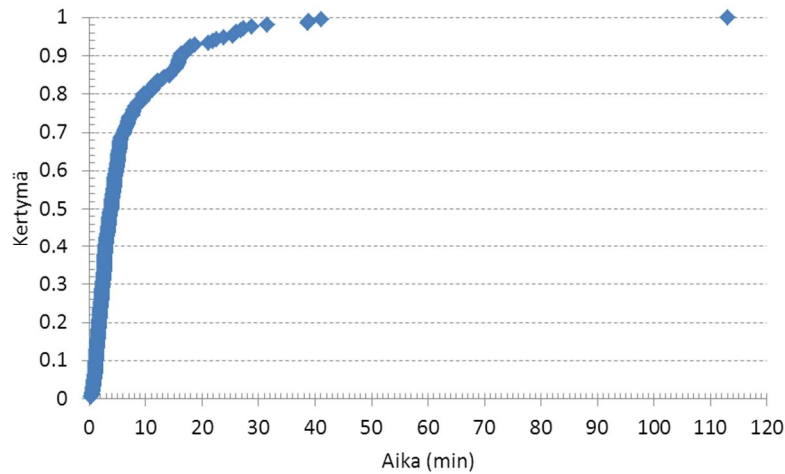
$$HV_{CO_2} = \frac{\exp(0,1930C_{CO_2} + 2,0004)}{7,1} \quad (5)$$

$$FED_{O_2} = \frac{t}{60 \exp[8,13 - 0,54(20,9 - C_{O_2})]} \quad (6)$$

Kaavoissa t on altistusaika sekunteina ja C_{CO} , C_{CO_2} ja C_{O_2} ovat hiilimonoksidin, hiilidioksidin ja hapen pitoisuudet.

Kriteerinä kuolettaville olosuhteille oli $FED \geq 1$ tai $T \geq 200$ °C mittapisteen ollessa 1,6 metrin korkeudessa. Hengittäminen 140 °C lämpötilassa aiheuttaa hengitysvaikeuksia. Suurin kaasun lämpötila, jonka ihmisen hengitystiet sietävät on n. 203 °C (Bryan 1986, Spielth ym. 1982). Simulointien tuloksena saatiin kuvassa 7 esitetty kertymäkäyrä, joka kuvaa todennäköisyyttä kuolettavien olosuhteiden syntyemiselle eri

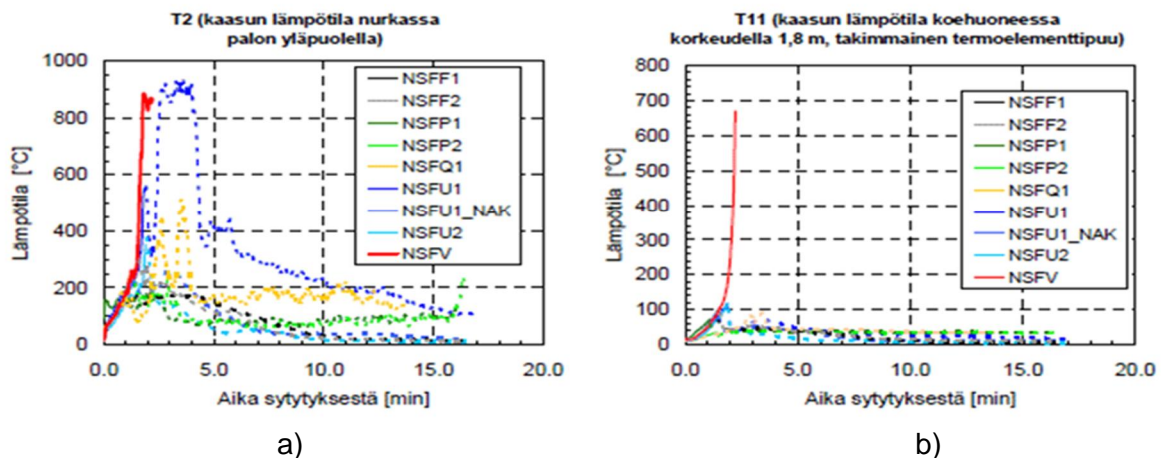
ajanhetkinä. Käyrän kuvaamassa otoksessa asuntopaloja 80 %:ssa tapauksista kuolettavat olosuhteet syntyvät ensimmäisten 10 minuutin aikana.



Kuva 7. Henkilövahinkojen kertyminen simuloineissa, kun kriteerinä oli $FED \geq 1$ tai $T \geq 200^\circ\text{C}$ korkeudella 1,6 m. Kuvan jakaumasta on jätetty pois tapaukset, joissa kuolettavia olosuhteita ei lainkaan syntynyt (8,2 % simuloituista tapauksista).

5.1.2 Sprinklattu tapaus

Henkilövahinkokertymät sprinklatussa tapauksessa muodostettiin ”Asuntosprinklaus Suomessa. Vaikuttavuuden arviointi. Osa 2” -projektin (Vaari ym. 2010) mittaustulosten perusteella. Hankkeessa toteutettiin mittava koesarja, johon osallistuneet sammutusjärjestelmät (8 kpl) edustivat laajaa kirjoa vesipohjaisia sammutusjärjestelmiä. Kokeissa toteutettiin kolme eri paloskenaariota (nurkkapalo-, sohvapalo- ja keittiöpaloskenaariot). Sammutusjärjestelmäkokeita tehtiin yhteensä 20 kpl ja vapaapalokokeita 3 kpl. Kriteerinä kuolettaville olosuhteille oli $FED \geq 1$ tai $T \geq 200^\circ\text{C}$ korkeudella 1,8 metriä. Lämpötilakriteeriä ei ylitetty yhdessäkään sprinklatussa tapauksessa (Kuva 8).



Kuva 8. Lämpötilamittaukset ”Asuntosprinklaus Suomessa. Vaikuttavuuden arviointi. Osa 2” -projektin nurkkapalokokeessa. Punainen käyrä edustaa sprinklaamatonta tapausta (Vaari ym. 2010).

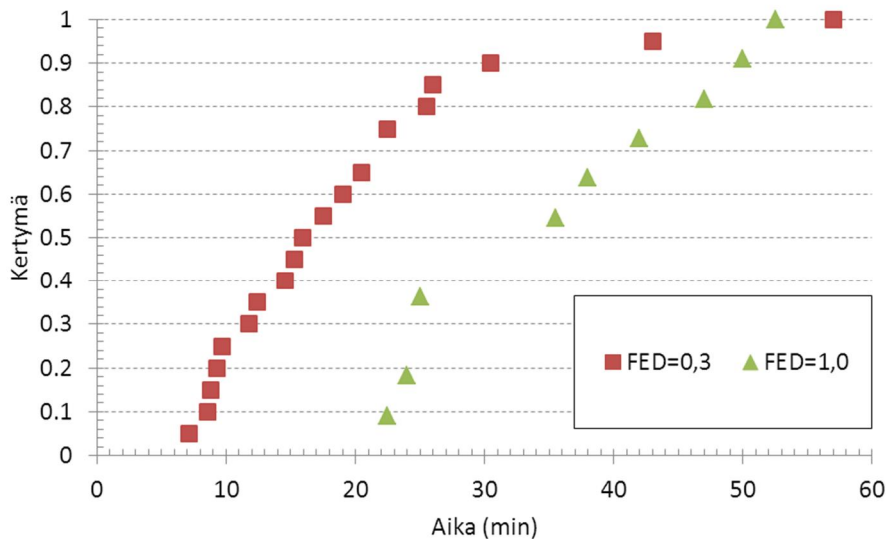
Lämpötilamittausten lisäksi sekä koehuoneesta että käytävätilasta mitattiin kaasupitoisuuksia palon aikana. Näistä laskettiin FED-arvo seuraavan kaavan perusteella (ISO 13571:2007):

$$FED = \left[\sum_{t_1}^{t_2} \frac{\varphi_{CO}}{35\,000} \Delta t + \sum_{t_1}^{t_2} \frac{\exp(\varphi_{HCN}/43)}{220} \Delta t \right] \cdot v_{CO_2} \quad (7)$$

jossa φ_{CO} [ppm] ja φ_{HCN} [ppm] ovat hiilimonoksidin ja syaanivedyn keskimääräiset pitoisuudet aikavälillä Δt [min]. Hiilidioksidin hengitystä kiihdyttävä vaikutus otetaan huomioon tekijällä v_{CO_2} , joka voidaan esittää seuraavan yhtälön avulla:

$$v_{CO_2} = \begin{cases} 1, & \text{kun } \varphi_{CO_2} \leq 2\% \\ \exp\left(\frac{\varphi_{CO_2}}{5}\right), & \text{kun } \varphi_{CO_2} > 2\% \end{cases} \quad (8)$$

jossa φ_{CO_2} [%] on hiilidioksidin pitoisuus. Happipitoisuuden alenema otetaan huomioon FED-arvossa vasta, kun happipitoisuus on alle 13 %. Sprinklatuista tapauksista 45 % oli sellaisia, että FED ei lainkaan ylittänyt kriteerinä käytettyä arvoa 1. Vastaavasti 55 % tapauksista oli sellaisia, joissa kriteeri FED=1 ylityi, jolloin ylitysajalle saatiin kuvassa 9 esitetty jakauma. Kuvassa on vertailun vuoksi esitetty kertymäkäyrä myös raja-arvolle 0,3.



Kuva 9. Kertymäkäyrät ajanhetkille, jolloin mittausten perusteella ylittettiin FED-raja-arvot 0,3 tai 1,0 (mikäli ne ylittettiin; kannattaa huomioida, että kaikissa mittauksissa raja-arvot eivät ylittyneet lainkaan).

5.2 Omaisuusvahingot

5.2.1 Lähestymistapa

Omaisuusvahinkojen kertymistä tarkasteltiin PRONTO-tietojen perusteella, koska henkilövahinkojen kertymisen määrittämisessä käytetyt ”Palokuolemien ehkäisykeinojen vaikuttavuuden arviointi” –tutkimusohjelman omaisuusvahinkoja koskevat tiedot eivät olleet hyödynnettävissä muodossa kertymien määrittämistä varten.

5.2.2 Palon laajuus palokunnan saapuessa / tilanteen lopussa

Tarkastelun kohteena olivat koko maan tiedot rakennuspaloista ja rakennuspalovaaroista rakennustyypeittäin vuosilta 2009–2012 (Tehtävän resurssiluokka = Kiireellinen, Onnettomuustyyppi (ensisijainen) = Rakennuspalo, Rakennuspalovaara). Määriteltiin, että palon laajuutta kuvataan kahdella muuttujalla ”Tila1” ja ”Tila2”, jotka voivat saada arvoja taulukon 5 kuvaamalla tavalla. Tilojen jakaumat PRONTO-aineistossa on esitetty taulukoissa 6–11.

Taulukko 5. Palon laajuutta kuvaavat muuttujat ja niiden saamat arvot.

Muuttuja	Selitys
Tila1	Palon laajuus palokunnan saapuessa
Tila2	Palon laajuus tilanteen lopussa
Indeksi	Selitys
1	Palo sammunut ennen palokunnan saapumista
2	Ei levinnyt rakennuksen sisälle
3	Rajoittunut syttymishuoneeseen
4	Levinnyt syttymishuoneesta
5	Levinnyt rakennuksen yhteen osastoon
6	Levinnyt syttymisosastosta
7	Levinnyt rakennuksen useampaan osastoon
8	Levinnyt koko rakennukseen

Taulukko 6. Tilojen jakauma erillisille pientaloille palokunnan saapuessa.

Erilliset pientalot			
Tila1: Palon laajuus palokunnan saapuessa	Indeksi	LKM	%-osuus
Palo sammunut/sammutettu ennen palokunnan saapumista	1	295	10
Ei levinnyt rakennuksen sisälle	2	132	5
Rajoittunut syttymishuoneeseen	3	963	34
Levinnyt syttymishuoneesta	4	567	20
Levinnyt rakennuksen yhteen osastoon	5	86	3
Levinnyt syttymisosastosta	6	69	2
Levinnyt rakennuksen useampaan osastoon	7	26	1
Levinnyt koko rakennukseen	8	714	25
Yhteensä		2852	100

Taulukko 7. Tilojen jakauma erillisille pientaloille tilanteen lopussa.

Erilliset pientalot			
Tila2: Palon laajuus tilanteen lopussa	Indeksi	LKM	%-osuus
Palo sammunut/sammutettu ennen palokunnan saapumista	1	273	10
Ei levinnyt rakennuksen sisälle	2	131	5
Rajoittunut syttymishuoneeseen	3	944	33
Levinnyt syttymishuoneesta	4	468	16
Levinnyt rakennuksen yhteen osastoon	5	84	3
Levinnyt syttymisosastosta	6	86	3
Levinnyt rakennuksen useampaan osastoon	7	21	1
Levinnyt koko rakennukseen	8	845	30
Yhteensä		2852	100

Taulukko 8. Tilojen jakauma rivi- ja ketjutaloille palokunnan saapuessa.

Rivi- ja ketjotalot			
Tila1: Palon laajuus palokunnan saapuessa	Indeksi	LKM	%-osuus
Palo sammunut/sammutettu ennen palokunnan saapumista	1	58	14
Ei levinnyt rakennuksen sisälle	2	26	6
Rajoittunut syttymishuoneeseen	3	182	45
Levinnyt syttymishuoneesta	4	77	19
Levinnyt rakennuksen yhteen osastoon	5	16	4
Levinnyt syttymisosastosta	6	27	7
Levinnyt rakennuksen useampaan osastoon	7	8	2
Levinnyt koko rakennukseen	8	7	2
Yhteensä		401	100

Taulukko 9. Tilojen jakauma rivi- ja ketjutaloille tilanteen lopussa.

Rivi- ja ketjotalot			
Tila2: Palon laajuus tilanteen lopussa	Indeksi	LKM	%-osuus
Palo sammunut/sammutettu ennen palokunnan saapumista	1	55	14
Ei levinnyt rakennuksen sisälle	2	24	6
Rajoittunut syttymishuoneeseen	3	183	46
Levinnyt syttymishuoneesta	4	68	17
Levinnyt rakennuksen yhteen osastoon	5	16	4
Levinnyt syttymisosastosta	6	31	8
Levinnyt rakennuksen useampaan osastoon	7	9	2
Levinnyt koko rakennukseen	8	15	4
Yhteensä		401	100

Taulukko 10. Tilojen jakauma asuinkerrostaloille palokunnan saapuessa.

Asuinkerrostalot			
Tila1: Palon laajuus palokunnan saapuessa	Indeksi	LKM	%-osuus
Palo sammunut/sammutettu ennen palokunnan saapumista	1	168	12
Ei levinnyt rakennuksen sisälle	2	90	6
Rajoittunut syttymishuoneeseen	3	914	63
Levinnyt syttymishuoneesta	4	175	12
Levinnyt rakennuksen yhteen osastoon	5	26	2
Levinnyt syttymisosastosta	6	53	4
Levinnyt rakennuksen useampaan osastoon	7	4	0
Levinnyt koko rakennukseen	8	12	1
Yhteensä		1442	100

Taulukko 11. Tilojen jakauma asuinkerrostaloille tilanteen lopussa.

Asuinkerrostalot			
Tila2: Palon laajuus tilanteen lopussa	Indeksi	LKM	%-osuus
Palo sammunut/sammutettu ennen palokunnan saapumista	1	161	11
Ei levinnyt rakennuksen sisälle	2	87	6
Rajoittunut syttymishuoneeseen	3	936	65
Levinnyt syttymishuoneesta	4	153	11
Levinnyt rakennuksen yhteen osastoon	5	26	2
Levinnyt syttymisosastosta	6	55	4
Levinnyt rakennuksen useampaan osastoon	7	5	0
Levinnyt koko rakennukseen	8	19	1
Yhteensä		1442	100

Edellä esitetyn PRONTO-aineiston pohjalta tarkasteltiin palon laajuuden muutosta palokunnan saapumisen jälkeen tapaus kerrallaan. Tulokset on esitetty taulukoissa 12–14. Tuloksista nähdään, että suurimmassa osassa tapauksista (diagonaalilla olevat luvut) palo ei leviä laajemmalle enää palokunnan saapumisen jälkeen. Pienessä osassa tapauksista palon laajuus on PRONTO:on merkittyjen tietojen mukaan ”pienentynyt”; tämä tulkitaan jatkossa (seuraavan luvun mallissa) siten, että näissä tapauksissa palon aiheuttamien vahinkojen oletetaan pysyneen siinä laajuudessa, jossa ne olivat palokunnan saapuessa.

Taulukko 12. Tila2:n riippuvuus Tila1:stä erillisten pientalojen tapauksessa. Diagonaalilla olevat luvut kuvaavat niiden tapausten prosentuaalista osuutta, joilla Tila2=Tila1, ts. palo ei enää palokunnan saavuttua laajene.

Erilliset pientalot	%osuus tapauksista, joille Tila2=j, kun Tila1=i								
	Tila2=j								
Tila1=i	j =	1	2	3	4	5	6	7	8
i =	1	88	2	9	0	0	0	0	0
	2	1	92	0	0	5	0	1	2
	3	1	0	94	4	0	0	0	1
	4	0	0	1	75	0	7	0	17
	5	0	3	0	0	87	0	5	5
	6	0	0	0	10	0	64	0	26
	7	4	0	0	0	8	0	50	38
	8	0	0	0	0	0	0	0	99

Taulukko 13. Tila2:n riippuvuus Tila1:stä rivi- ja ketjutalojen tapauksessa. Diagonaalilla olevat luvut kuvaavat niiden tapausten prosentuaalista osuutta, joilla Tila2=Tila1, ts. palo ei enää palokunnan saavuttua laajene.

Rivi- ja ketjutalot	%osuus tapauksista, joille Tila2=j, kun Tila1=i								
	Tila2=j								
Tila1=i	j =	1	2	3	4	5	6	7	8
i = 1	1	90	0	10	0	0	0	0	0
	2	0	88	0	0	12	0	0	0
	3	1	0	95	3	0	1	0	1
	4	3	0	4	79	0	13	0	1
	5	0	6	0	0	81	0	6	6
	6	0	0	4	7	0	70	0	19
	7	0	0	0	0	0	0	100	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	100

Taulukko 14. Tila2:n riippuvuus Tila1:stä asuinkerrostalojen tapauksessa. Diagonaalilla olevat luvut kuvaavat niiden tapausten prosentuaalista osuutta, joilla Tila2=Tila1, ts. palo ei enää palokunnan saavuttua laajene.

Asuin-kerrostalot	%osuus tapauksista, joille Tila2=j, kun Tila1=i								
	Tila2=j								
Tila1=i	j =	1	2	3	4	5	6	7	8
i = 1	1	87	0	13	0	0	0	0	0
	2	1	97	0	0	2	0	0	0
	3	1	0	98	1	0	0	0	0
	4	1	0	10	79	0	8	0	2
	5	0	0	0	0	92	0	8	0
	6	0	0	8	11	0	74	6	9
	7	0	0	0	0	0	0	75	25
	8	0	0	8	0	0	8	0	83

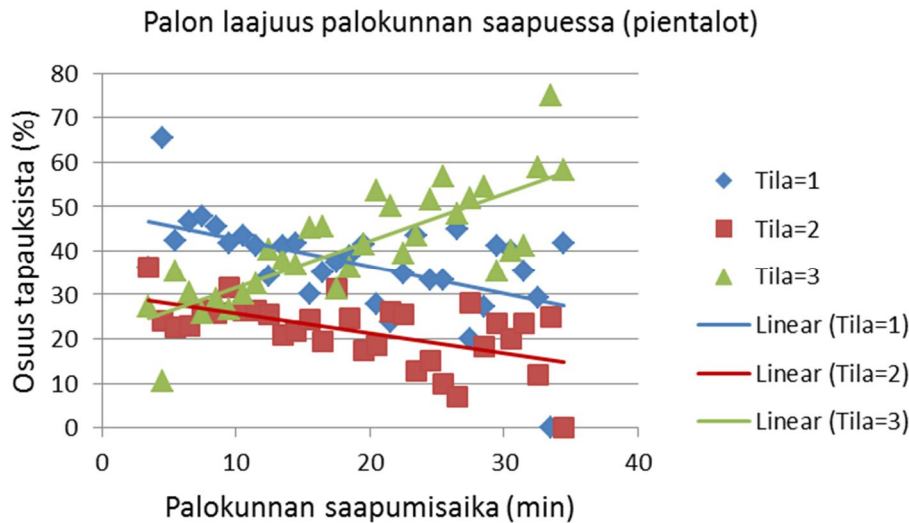
5.2.3 Malli omaisuusvahinkojen kertymiselle

Seuraavissa tarkasteluissa omaisuusvahingoilla tarkoitetaan rakennuksen sitä pinta-alaa, johon palo on levinnyt. Mallia voidaan myöhemmin kehittää ottamaan huomioon myös muita vahinkotyyppisiä, esim. savuvahinkoja. Määritellään, että omaisuusvahinkojen laajuutta kuvataan muuttujalla ”Tila”, joka saa arvoja taulukon 15 kuvaamalla tavalla. Tilanteet, joissa palo ei ole levinnyt rakennuksen sisälle tai joissa se on sammunut/sammutettu ennen palokunnan tuloa, jätetään huomiotta. Tutkitaan tilanteita, joissa palo on rajoittunut syttymishuoneeseen (Tila = 1), levinnyt syttymishuoneesta (Tila = 2) tai levinnyt vähintään rakennuksen yhteen osastoon (Tila = 3).

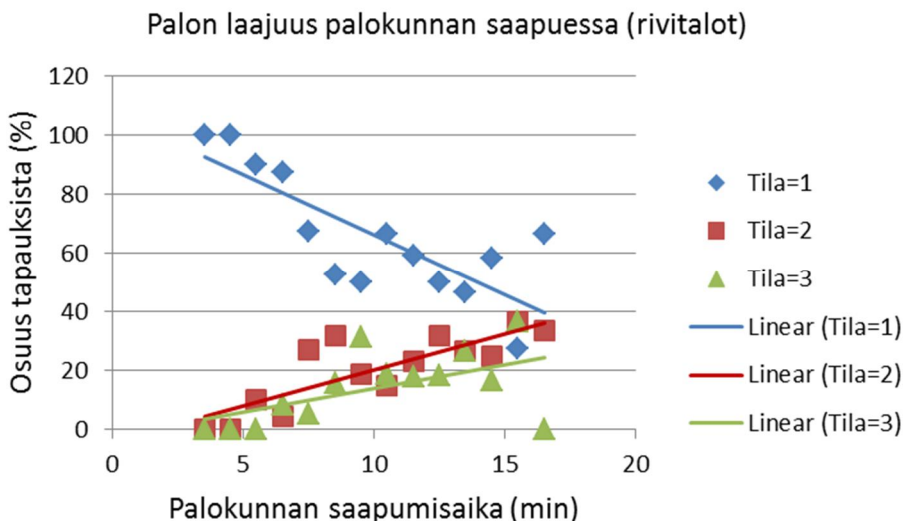
Taulukko 15. Omaisuusvahinkojen laajuutta kuvaavan muuttujan (Tila) saamat arvot.

Tila = i	Selitys
i = 1	Rajoittunut syttymishuoneeseen
i = 2	Levinnyt syttymishuoneesta
i = 3	Levinnyt vähintään yhteen osastoon

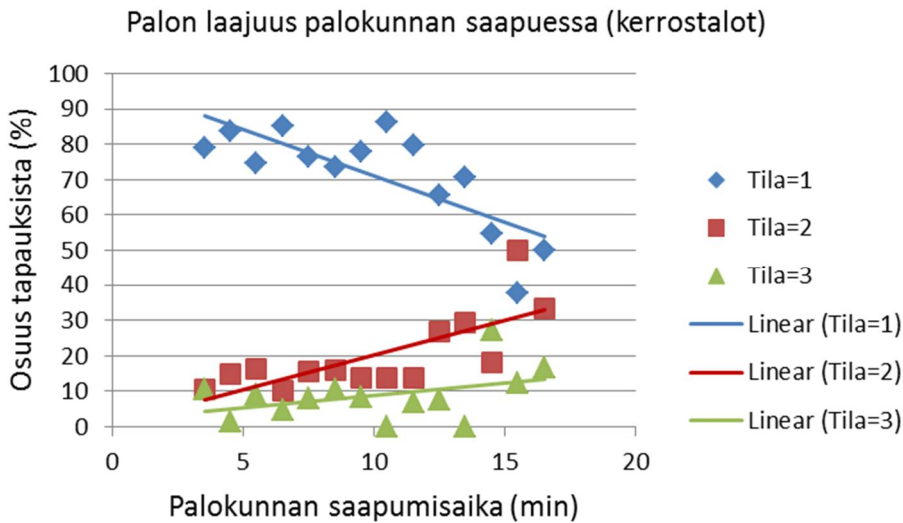
Tutkitaan nyt, miten Tila-muuttujan arvo riippuu palokunnan saapumisajasta, joka määritellään PRONTO-tietojen ensimmäisen yksikön hälytysajan ja toimintavalmiusajan summana. Tulokset on esitetty kuvissa 10–12. Kuvissa esitetään, miten Tila-muuttujan arvot jakaantuvat kunakin ajanhetkenä. Kuviin on piirretty suorat, jotka kuvaavat kunkin tilan %-osuuden lineaarista riippuvuutta palokunnan saapumisajasta. Kuvateksteihin merkityt korrelaatiot kuvaavat lineaarisen riippuvuuden voimakkuutta. Mitä enemmän korrelaatiokerroin poikkeaa nolasta, sitä voimakkaampaa muuttujien välinen riippuvuus on. Maksimissaan korrelaatiokerroin voi saada arvon 1.



Kuva 10. Erillisten pientalojen palon laajuuden (palokunnan saapuessa) riippuvuus palokunnan saapumisajasta. Tilojen %-osuuksien korrelaatiot saapumisajan suhteen ovat seuraavat: Tila=1 (-0,54), Tila=2 (-0,56), Tila=3 (0,78).



Kuva 11. Rivi- ja ketjutalojen palon laajuuden (palokunnan saapuessa) riippuvuus palokunnan saapumisajasta. Tilojen %-osuuksien korrelaatiot saapumisajan suhteen ovat seuraavat: Tila=1 (-0,79), Tila=2 (0,82), Tila=3 (0,55).



Kuva 12. Asuinkerrostalojen palon laajuuden (palokunnan saapuessa) riippuvuus palokunnan saapumisajasta. Tilojen %-osuuksien korrelaatiot saapumisajan suhteen ovat seuraavat: Tila=1 (-0,76), Tila=2 (0,73), Tila=3 (0,41).

Em. kuvissa esitettyjä lineaarisia riippuvuuksia käyttäen voidaan ennustaa palon laajuutta palokunnan saapuessa, kun tiedetään palokunnan saapumisaika. Lisäksi tarvitaan todennäköisyys sille, että palo laajenee vielä lisää palokunnan ollessa paikalla. Tätä todennäköisyyttä kuvataan tilansiirtomatriiseilla, jotka on esitetty kuvassa 13. Tilansiirtomatriisit muodostettiin yksinkertaistamalla taulukoiden 12–14 tarkasteluja. Esimerkiksi rivi- ja ketjutalojen tapauksessa (Kuva 13b), jos palo on palokunnan saapuessa rajoittunut syttymishuoneeseen, on se 95 % todennäköisyydellä rajoittunut syttymishuoneeseen myös tilanteen päättyessä, 3 % todennäköisyydellä se on tilanteen päättyessä levinnyt syttymishuoneesta, mutta ei vielä koko palo-osastoon ja 2 % todennäköisyydellä se on levinnyt vähintään yhteen palo-osastoon. Jos palo on palokunnan saapuessa levinnyt syttymishuoneesta, mutta ei vielä koko palo-osastoon, on se 86 % todennäköisyydellä tässä samassa tilassa myös tilanteen päättyessä. 14 % todennäköisyydellä se on levinnyt vähintään koko palo-osastoon ja ehkä myös muihin palo-osastoihin.

a) Erilliset pientalot

Tila	Siirtymätodennäköisyys (%)		
	→1	→2	→3
1	95	4	1
2	0	76	24
3	0	0	1

b) Rivi- ja ketjutalot

Tila	Siirtymätodennäköisyys (%)		
	→1	→2	→3
1	95	3	2
2	0	86	14
3	0	0	1

c) Asuinkerrostalot

Tila	Siirtymätodennäköisyys (%)		
	→1	→2	→3
1	99	1	0
2	0	90	10
3	0	0	1

Kuva 13. Tilansiirtomatriisit, jotka kuvaavat palon laajenemisen todennäköisyyttä palokunnan ollessa paikalla a) erillisille pientaloille, b) rivi- ja ketjutaloille, ja c) asuinkerrostaloille.

Tilansiirtomatriisien avulla nähdään se, miten ”laadullisesti” määritettynä palo etenee ajan funktiona. Jos eteneminen halutaan määrittää kvantitatiivisesti, se voidaan tehdä liittämällä malliin todennäköisyydet sille, mistä huoneesta palo saa alkunsa sekä tiedot huoneiden ja asuntojen pinta-alajakaumista. Syttymistila on PRONTO:on kirjattava asia ja siitä oli siten käytettävissä tilasto-aineistoa, mutta tarkkaa tietoa asuntojen ja huoneiden pinta-alajakaumista palojen yhteydessä ei ollut käytettävissä. Huonekokojen määrittämiseen käytettiin ”Palokuolemien ehkäisykeinojen vaikuttavuuden arviointi” -hankkeen asuntotietokantaa

(Karhula ym. 2011) ja koko asuntojen pinta-alojen määrittämiseen Väestörekisterikeskuksen ylläpitämän väestötietojärjestelmän (VTJ) rakennuksia koskeva tietoja, kuten seuraavissa kappaleissa on kuvattu.

5.2.4 Syttymishuoneet

Syttymistilojen jakaumat määritettiin PRONTO-tietokannasta. Tulokset on kokonaisuudessaan esitetty liitteessä A. Tiedot kerättiin riskiluokittain, mutta yhdistettiin mallinnusta varten siten, että tiedoista eriteltiin asuntojen sisätiloissa esiintyvät huonetyypit (vastaten luvun 5.2.5 huonetyyppejä) ja laskettiin niissä tapahtuneiden syttymisten suhteelliset prosentiosuudet asuntotyypeittäin. Tulokset on esitetty taulukossa 16.

Taulukko 16. Mallissa käytetyt huoneiden ja tilojen suhteelliset syttymistodennäköisyydet (%).

Huonetyyppi	Erilliset pientalot	Rivi- ja ketjutalot	Asuinkerrostalot
02 Makuuhuone	9,80	4,26	4,33
03 Olohuone	16,60	10,77	11,20
01 Keittiö	34,58	63,94	67,58
30 Kodinhoitohuone	4,73	0,96	0,20
35 Eteinen tai aula	8,86	2,17	2,18
08 Pesuhuone, kylpyhuone	4,29	4,69	3,43
09 Sauna	10,82	10,51	4,91
34 Tuulikaappi tai uloskäytävä	0,54	0,09	0,26
05 Muu asuin- ja oleskelutila	2,57	0,35	0,33
31 Pukuhuone	0,91	0,17	0,04
36 WC	2,20	0,87	1,50
21 Varastotila	3,14	1,13	1,91
12 Porrashuone / portaikko	0,95	0,09	2,13

5.2.5 Huoneiden pinta-alat

Hankkeessa ”Palokuolemien ehkäisykeinojen vaikuttavuuden arviointi” asuntotietokantaan tallennettiin 314 asuntoa, joista määritettiin huoneiden tai tilojen pinta-alojen (x) jakaumien parametrit (Karhula ym. 2011) käyttäen sovittuun logaritmisesti normaalin jakauman kertymäfunktiota (kaava **Error! Reference source not found.**). Jakaumien parametrit on kuvattu taulukossa 17. Jakaumia voidaan käyttää omaisuusvahinkojen pinta-alan arvioimiseen tilanteessa, jossa palo on rajoittunut syttymishuoneeseen.

$$F(x) = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma \sqrt{2}} \right) \right]$$

jossa jakauman odotusarvoa kuvataan parametrilla μ ja keskihajontaa parametrilla σ .

Taulukko 17. Huoneiden tai tilojen pinta-alojen jakaumien parametrit (Karhula ym. 2011)

Huone/tila	N	Keskiarvo (m ²)	Hajonta (m ²)	μ	σ
Makuuhuone	408	12,1	4,0	11,5	0,32
Olohuone	297	18,7	6,2	17,8	0,32
Keittiö	285	10,2	5,4	9,0	0,5
Kodinhuone	40	7,0	3,5	6,2	0,48
Eteinen	269	6,2	3,4	5,4	0,52
Pesuhuone	206	4,7	1,7	4,4	0,35
Sauna	114	3,1	1,1	2,9	0,35
Tuulikaappi	75	2,0	1,1	1,8	0,5
Työhuone	19	10,5	3,2	10,0	0,3
Vaatehuone	109	2,7	1,3	2,4	0,45
Vessa	183	3,3	1,8	2,9	0,5
Varastohuone	31	8,9	7,1	7,0	0,7
Välitilat / portaat	52	7,2	4,7	6,0	0,6

5.2.6 Asuntojen pinta-alat

Hankkeessa ”Onnettomuusvahingot pelastustoimen toimintavalmiuden suunnittelussa” (Paajanen ym. 2014) tutkittiin asuntojen pinta-alajakaumia Väestörekisterikeskuksen ylläpitämän väestötietojärjestelmän (VTJ) rakennuksia koskeviin tietoihin pohjautuen (kuvat 14–16). Näitä tietoja voidaan käyttää omaisuusvahinkojen vähimmäispinta-alan arvioimiseen tilanteessa, jossa palo on levinnyt vähintään yhteen palo-osastoon.

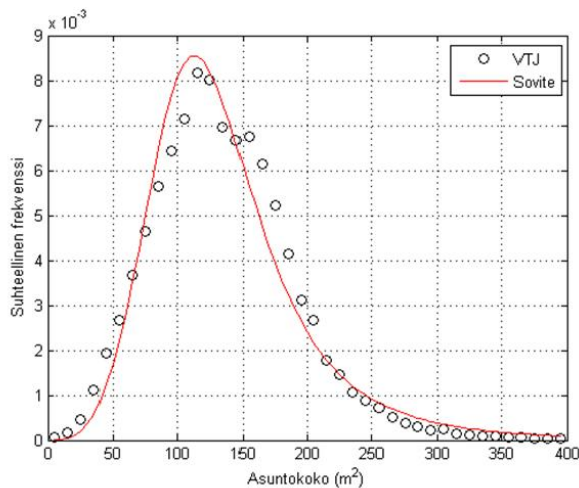
Erilliset pientalot:

Distribution: Log-Logistic
 Log likelihood: -5.61253e+06
 Domain: $0 < y < \infty$
 Mean: 140.727
 Variance: 5049.23

Parameter	Estimate	Std. Err.
mu	4.8473	0.000414133
sigma	0.243521	0.000199882

Estimated covariance of parameter estimates:

	mu	sigma
mu	1.71506e-07	-3.66295e-09
sigma	-3.66295e-09	3.99529e-08



Kuva 14. Asuntokokojakauma erillisille pientaloille.

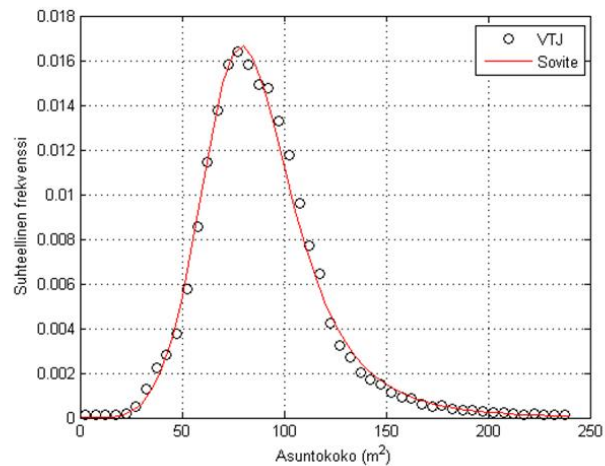
Rivi- ja ketjutilat:

Distribution: Log-Logistic
 Log likelihood: $-1.67385e+06$
 Domain: $0 < y < \infty$
 Mean: 89.7393
 Variance: 1021.2

Parameter	Estimate	Std. Err.
mu	4.44127	0.000530519
sigma	0.182885	0.000258038

Estimated covariance of parameter estimates:

	mu	sigma
mu	2.81451e-07	-1.86108e-09
sigma	-1.86108e-09	6.65835e-08



Kuva 15. Asuntokokojakauma rivi- ja ketjutiloille.

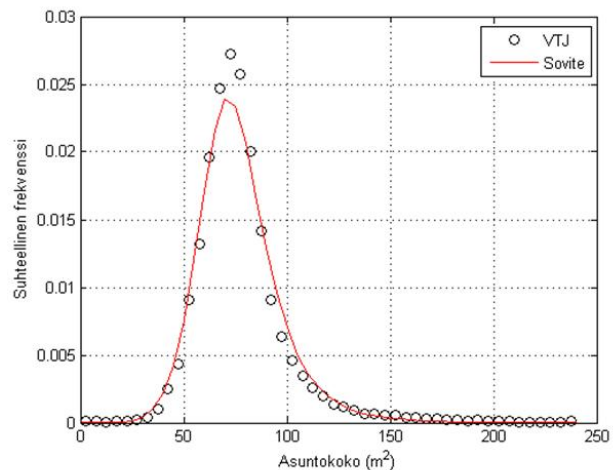
Asuinkerrostalot:

Distribution: Log-Logistic
 Log likelihood: $-5.03394e+06$
 Domain: $0 < y < \infty$
 Mean: 77.1043
 Variance: 431.876

Parameter	Estimate	Std. Err.
mu	4.31153	0.000226727
sigma	0.14251	0.000112893

Estimated covariance of parameter estimates:

	mu	sigma
mu	5.1405e-08	3.15638e-10
sigma	3.15638e-10	1.27449e-08

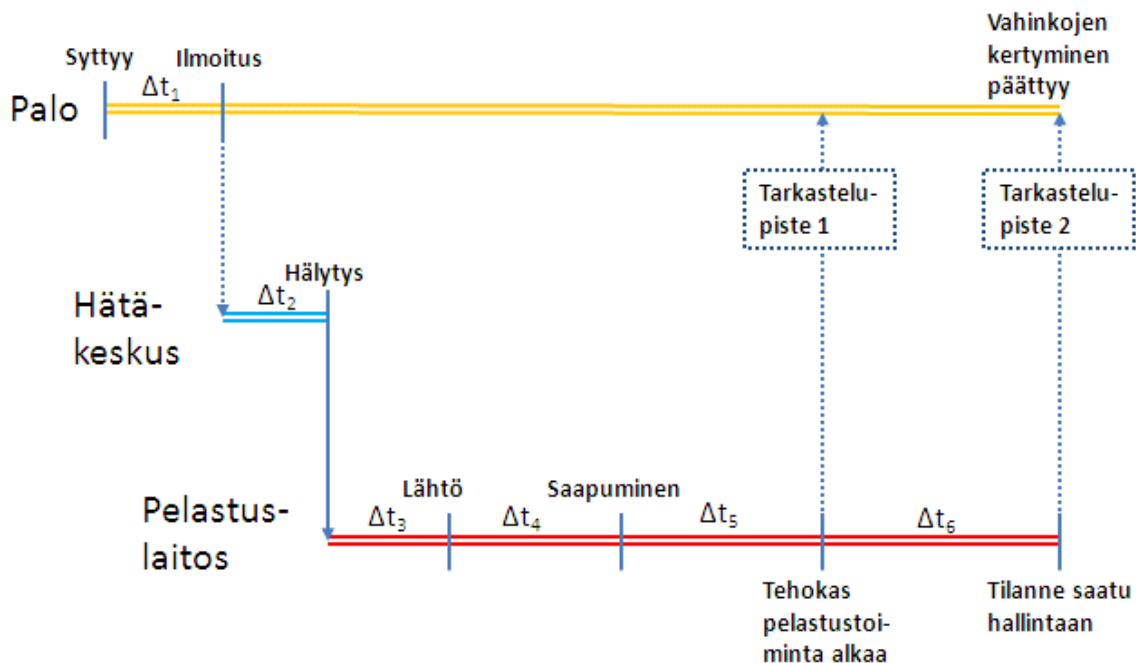


Kuva 16. Asuntokokojakauma asuinkerrostaloille.

6 Operaatioaikamallin soveltaminen asuntopaloihin

6.1 Mallin rakenne

Operaatioaikamallin rakenne on esitetty kuvassa 17. Mallissa jokaisella toimijalla (palo, hätäkeskus, pelastuslaitos) on oma aikajansansa, jossa aika kulkee vasemmalta oikealle. Mallissa palo nähdään yhtenä toimijana: palo aiheuttaa vahinkoja, joita muut toimijat (hätäkeskus ja pelastuslaitos) pyrkivät estämään. Tarkastelu alkaa palon syttymishetkestä. Kun palo havaitaan, ilmoitetaan siitä hätäkeskukseen, joka hälyttää pelastuslaitoksen. Pelastuslaitos lähtee kohteeseen ja saavuttuaan perille suorittaa ensitoimenpiteet (tiedustelu, selvitykset). Tehokas pelastustoiminta voi alkaa, kun paikalla on riittävä vahvuus (1+3) ja selvitykset on tehty. Tarkastelu päättyy, kun tilanne on ”saatu hallintaan”, mikä henkilövahinkojen yhteydessä tarkoittaa, että henkilöt on pelastettu (tai yritetty pelastaa), ja omaisuusvahinkojen yhteydessä, että palo on sammutettu ja savutuuletus suoritettu.



Kuva 17. Operaatioaikamallin rakenne. Kaaviossa jokaisella toimijalla (palo, hätäkeskus, pelastuslaitos) on oma aikajansansa, jossa aika kulkee vasemmalta oikealle. Informaatio kulkee pystysuoraan eri toimijoiden välillä nuolten suuntaisesti. Δt_1 =Ilmoitusaika, Δt_2 = Hälytysaika, Δt_3 = Lähtöaika, Δt_4 =Ajoaika, Δt_5 =Ensitoimenpiteisiin kuluva aika, Δt_6 =Tilanteen hallintaan saamiseen kuluva aika.

Malli laskee operaatioajan, jota voidaan yksinkertaistetusti kuvata seuraavalla kaavalla:

$$\Delta t = \sum_{i=1}^6 \Delta t_i \quad (10)$$

jossa Δt_1 =Ilmoitusaika, Δt_2 = Hälytysaika, Δt_3 = Lähtöaika, Δt_4 =Ajoaika, Δt_5 =Ensitoimenpiteisiin kuluva aika ja Δt_6 =Tilanteen hallintaan saamiseen kuluva aika. Mallilla laskettua operaatioaikaa voidaan verrata henkilö- ja omaisuusvahinkojen kertymiseen tarkastelupisteissä 1 ja 2 (kuva 17), jolloin voidaan arvioida

pelastuslaitoksen mahdollisuuksia vaikuttaa vahinkojen kertymiseen. Seuraavassa luvussa on kuvattu tarkemmin, miten eri aikaviiveet määritetään ja mitä muita ns. olosuhdeparametreja tarvitaan erilaisten tilanteiden kuvaamiseen.

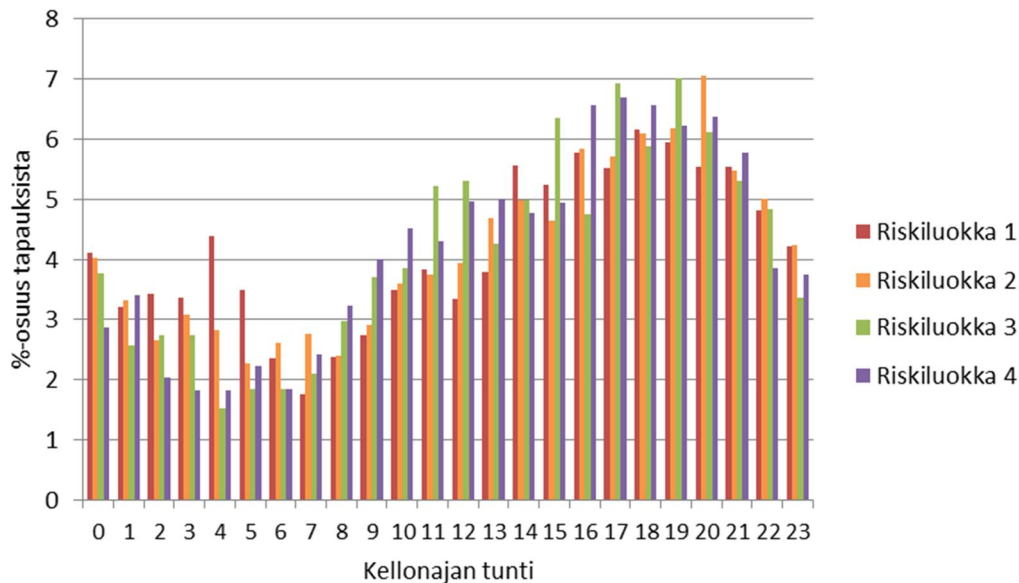
6.2 Mallin parametrit

6.2.1 Olosuhdeparametrit

Mallin olosuhdeparametreja ovat kellonaika, talotyyppi, kerrostalon kerrosluku ja palon sijaintikerros, palovaroittimen toiminta sekä herääminen palovaroittimeen. Olosuhdeparametreja kuvataan jakaumilla, joista jokaisessa realisaatiossa (ts. jokaista paloa kohden) arvotaan kullekin olosuhteelle arvo. Esim. yksi palon realisaatio voisi olla seuraava: palo tapahtuu klo 15 kerrostalon 3. kerroksessa, palovaroitin hälyttää.

6.2.1.1 Kellonaika

Kellonaikaa tarkastellaan tunnin tarkkuudella ja sen perusteella määritellään tapahtuuko palo yöllä (0-8) vai päivällä (9-23). Henkilöiden oletetaan nukkuvan yöllä ja olevan hereillä päivällä. PRONTO-tietokannan ilmoitusaikojen perusteella määritetyt sattuneiden palojen kellonaikojen jakaumat on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Sattuneiden palojen kellonajat tunnin tarkkuudella riskiluokittain.

6.2.1.2 Talotyyppi

Talotyypit jaetaan kolmeen kategoriaan: 1=erillinen pientalo, 2=rivi- tai ketjutalo, 3=asuinkerrostalo. Talotyypin perusteella määritellään ensitoimenpiteisiin kuuluva aika (vrt. luku 6.2.5) sekä omaisuusvahinkoja

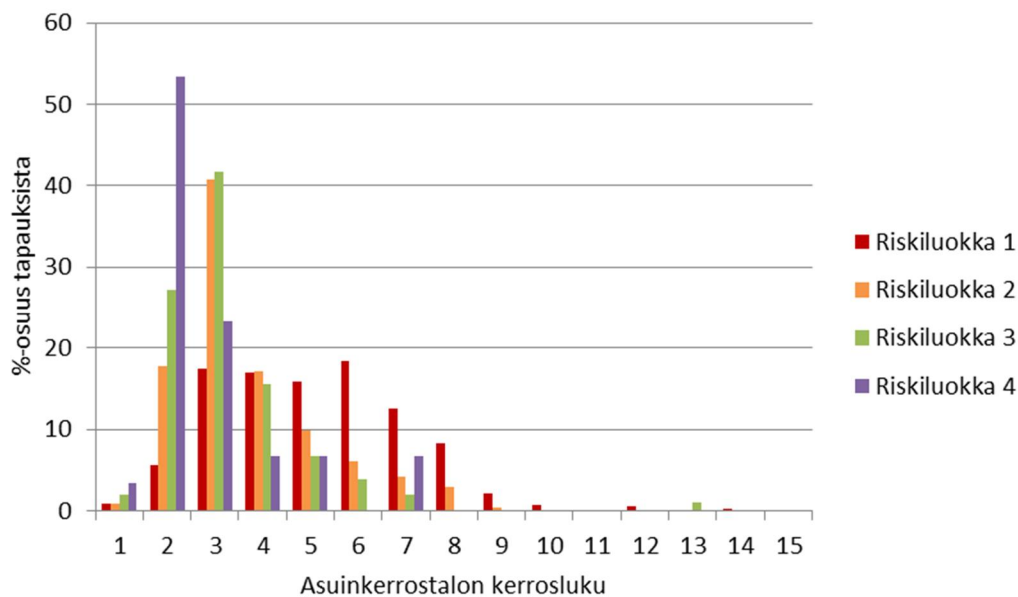
tarkasteltaessa vahinkojakaumat (vrt. luku 5.2). PRONTO-tietokannan perusteella rakennuspalot ja rakennuspalovaarat jakautuivat eri talotyyppien osalle taulukon 18 mukaisesti.

Taulukko 18. Talotyyppien osuus rakennuspaloissa ja rakennuspalovaaroissa riskiluokittain.

%-osuus Rakennustyyppi	Riskiluokka I	Riskiluokka II	Riskiluokka III	Riskiluokka IV
Erillinen pientalo	6	37	65	96
Rivi- tai ketjutalo	3	17	25	3
Asuinkerrostalo	90	46	10	1

6.2.1.3 Kerrostalon kerrosluku ja palon sijaintikerros

Mallissa kerrostalojen asuntopalojen yhteydessä määritetään palon sijaintikerros, jonka perusteella määrittyy edelleen selvitysaikajakauma. PRONTO-tietokannasta määritellyt kerroslukujen jakaumat kerrostalojen rakennuspaloissa ja rakennuspalovaaroissa on esitetty kuvassa 19. Kerrostalon kerrosluku määritellään tämän jakauman perusteella, jonka jälkeen palon oletetaan sijaitsevan yhtä todennäköisesti kussakin kerroksessa.



Kuva 19. Kerroslukujen jakauma asuinkerrostaloissa tapahtuneissa rakennuspaloissa ja rakennuspalovaaroissa (PRONTO).

6.2.1.4 Palovaroittimen toiminta

PRONTO-tietokannan rakennuspalot- ja rakennuspalovaaratietojen avulla määritettiin todennäköisyys sille, että asunnossa on palovaroitin ja että se hälyttää. Kuten taulukosta 19 nähdään, yli puolessa tapauksista oli raportoitu, ettei palovaroitin hälyttänyt. Palon havaitseminen ja siihen reagointi jaetaan erilaisiin ta-

pauksiin sen perusteella hälyttääkö palovaroitin ja onko päivä vai yö. Tämä on kuvattu tarkemmin luvussa 6.2.2 (ilmoitusaika).

Taulukko 19. Prosenttiosuus rakennuspaloista ja rakennuspalovaaroista, joissa palovaroitin hälytti.

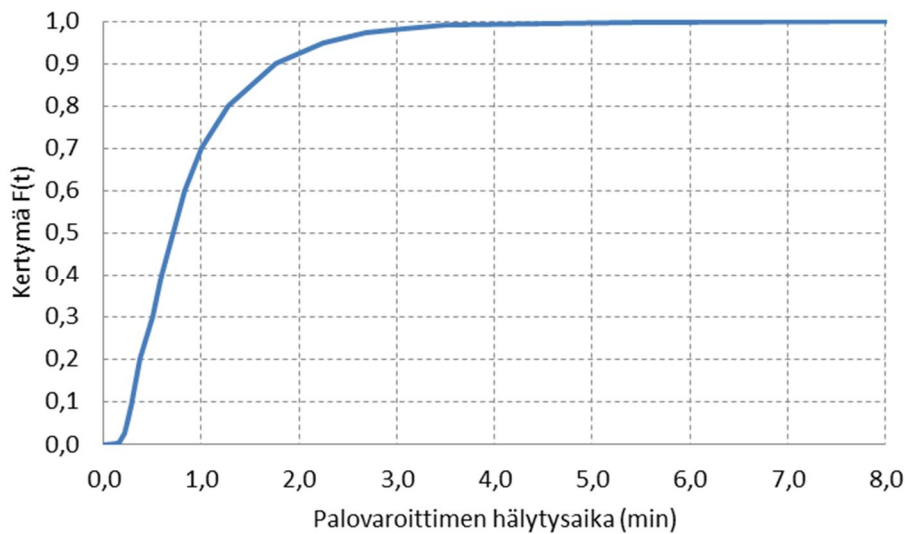
Kohteessa palovaroitin	Riskiluokka I	Riskiluokka II	Riskiluokka III	Riskiluokka IV
Kyllä	56	64	68	73
Ei	44	36	32	27
Palovaroitin toimi, jos sellainen oli	Riskiluokka I	Riskiluokka II	Riskiluokka III	Riskiluokka IV
Kyllä	77	73	69	63
Ei	23	27	31	37
Palovaroitin hälytti (Palovaroitin oli ja se toimi)	Riskiluokka I	Riskiluokka II	Riskiluokka III	Riskiluokka IV
Kyllä	43	47	46	46
Ei	57	53	54	54

6.2.2 Ilmoitusaika

Ilmoitusaika tarkoittaa aikaväliä palon syttymisestä siihen, että hätäkeskus on tietoinen palosta. Asukkaan tekemään ilmoitukseen liittyvä aikaviive lasketaan summana seuraavista: havaitsemisaika, heräämisaika, reagointiaika, soitto hätäkeskukseen, hätäkeskuksen vastausaika. Lisäksi arvioidaan aikaviive sille, että ilmoituksen tekee naapuri tai ohikulkija. Em. aikaviiveet selitetään tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

6.2.2.1 Havaitsemisaika

Jos palovaroitin hälyttää, havaitsemisaika on palovaroittimen hälytysaika (kuva 20), jonka jakauma määritetään ”Palokuolemien ehkäisykeinojen vaikuttavuuden arviointi” -projektissa (Keski-Rahkonen ym. 2011) tehtyjen simulointien perusteella.



Kuva 20. Palovaroittimen hälytysajan jakauma syttymisen jälkeen simuloitien perusteella.

Jos palovaroitin ei hälytä, oletetaan, että asukkaalta kuluu aikaa havaitsemiseen kaksinkertainen aika (kyseinen lisäviive jouduttiin määrittämään asiantuntija-arviona, koska muuta tietoa ei ollut käytettävissä).

6.2.2.2 Heräämisaika

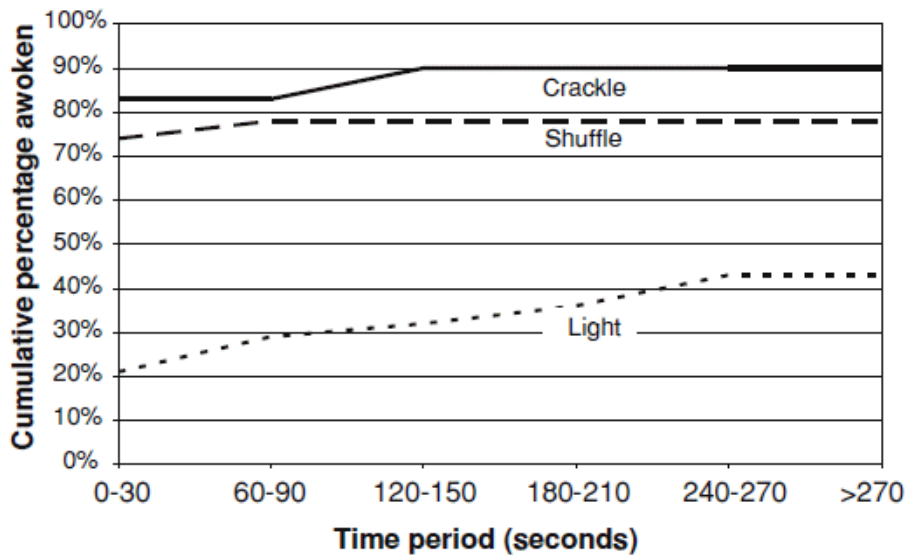
Jos on yö ja palovaroitin hälyttää, oletetaan, että asukas herää palovaroittimen ääneen taulukossa 20 esitetyn jakauman mukaisesti (Bruck & Thomas 2008). Jos on yö ja palovaroitin ei hälytä, oletetaan, että asukas herää palon ääniin kuvassa 21 esitetyn jakauman mukaisesti (Thomas & Bruck 2010). Jälkimmäisessä tapauksessa oletetaan, että herääminen tapahtuu kaksinkertaisen ajan kuluessa verrattuna palovaroittimeen heräämiseen (tästä lisäviiveestä ei ollut tutkimustietoa käytettävissä, joten käytettiin asiantuntija-arviota).

Bruck & Thomas (2008) ovat tutkineet nukkuvien henkilöiden heräämisaikoja (taulukko 20) erityyppisiin palovaroitinsignaaleihin. Tutkimusten mukaan matalataajuinen ääni (n. 500 Hz) on tehokkaampi herättäjä kuin korkeataajuinen (n. 3 kHz). Palovaroitinstandardi (SFS-EN 14604) edellyttää vain, että nimellistajuus on enintään 3,5 kHz. Palovaroittimessa ääni tuotetaan värähtelevän metallikalvon avulla, joka on halkaisijaltaan yleensä 34 mm. Äänen madaltaminen voisi johtaa siihen, että tuon kalvon pinta-alaa pitäisi kasvattaa. Tähän laitteen muut dimensiot asettavat omia rajoitteitaan (Viitala 2013). Suomessa palovaroittimien taajuus on yleensä 3 kHz (Latva 2013). Näin ollen em. tutkimuksen tuloksia 3 kHz osalta voidaan käyttää nukkuvien ihmisten heräämisajan määrittämiseen.

Taulukko 20. Heräämisaika eri taajuisiin signaaleihin (Bruck & Thomas 2008).

Signaali	Keskiarvo [s] (keskihajonta)	Mediaani [s]	Vaihteluväli [s]
520 Hz vaihteleva ääni (square wave)	30,4 (38,5)	13,5	6–141
500 Hz tasainen ääni (pure tone)	51,2 (46,1)	21,5	5–156
3100 Hz tasainen ääni (pure tone)	108,0 (63,3)	85,5	11–246

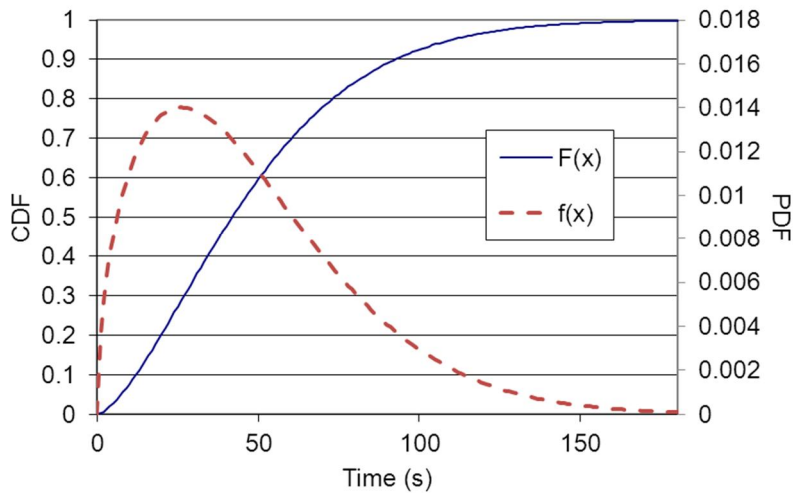
Oletetaan, että henkilön heräämisaikaa voidaan kuvata jakaumalla, jolle pätee: minimi=11 s, maksimi=246 s, mediaani= 85,5 s. Jakauma muodostetaan käyttämällä PFS-ohjelmassa käyttäjän määrittelemää ”Custom”-jakaumaa siten, että 50 % tapauksista sijoittuu tasaisesti välille 11–85,5 s ja loppuosa tasaisesti välille 85,5–246 s.



Kuva 21. Prosentuaalinen osuus ihmisistä, jotka heräävät tietyllä ajan hetkellä erityyppisten palojen ääniin (Thomas & Bruck 2010).

6.2.2.3 Reagoimisaika

Purser & Bensilum (2001) ovat määrittäneet kokeellisten tutkimusten perusteella jakauman (kuva 22) sille, paljonko aikaa kuluu palon havaitsemisen jälkeen siihen, että ihmiset ryhtyvät tilanteen vaatimiin toimenpiteisiin.



Kuva 22. Kokeellisiin tutkimuksiin (Purser & Bensilum 2001) perustuva reaktioajan jakauma (Weibull: $\alpha=1,517$, $\lambda=1/\beta=0,019$).

6.2.2.4 Asiointi hätäkeskuksen kanssa.

Asiantuntija-arvioiden perusteella hätäkeskukseen soittamiseen kuluu aikaa n. 1 min. Tämä on se aika, joka kuluu puhelimen esille ottamiseen, numeron 112 näppäilyyn ja puhelun kytkeytymiseen hätäkeskuksen ja soittajan välillä. Tämä on laajennettu mallissa kolmiojakaumaksi (0,5;1;1,5). Hätäkeskuksen vastausajan oletetaan olevan tasajakautunut 1–15 s (Hostikka ym. 2012b).

6.2.2.5 Naapuri tai ohikulkija

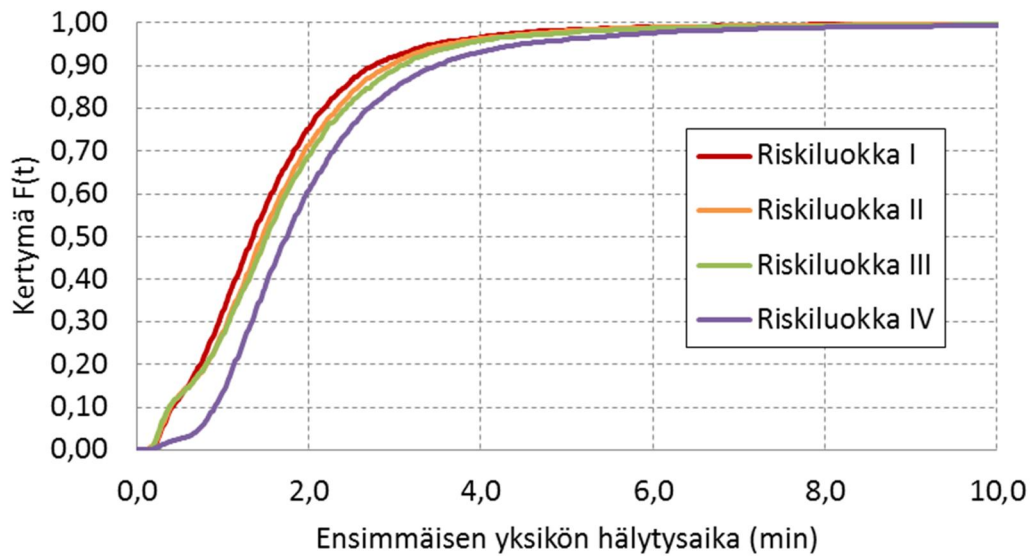
Asiantuntija-arvioiden perusteella naapurin tai ohikulkijan tekemään hätäkeskusilmoitukseen kuluva aika kuvataan taulukossa 21 esitetyillä kolmiojakaumilla.

Taulukko 21. Naapurin tai ohikulkijan ilmoitusaika.

Vuorokaudenaika	Kolmiojakauman parametrit (asiantuntija-arvio)		
	Minimi	Maksimi	Tyypillinen arvo
Päivä	4 min	6 min	5 min
Yö	5 min	15 min	10 min

6.2.3 Hälytysaika

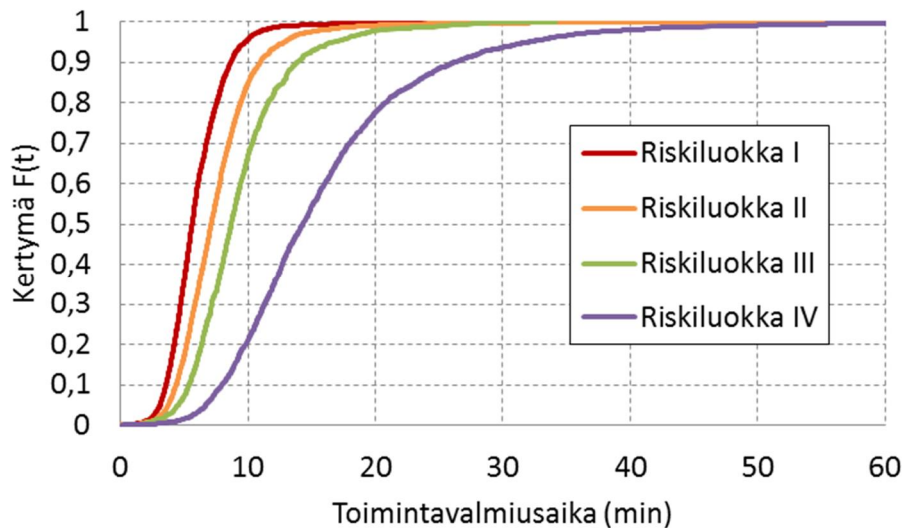
Ensimmäisen yksikön hälytysajan jakauma määritettiin PRONTO-tietojen perusteella (kuva 23).



Kuva 23. Ensimmäisen yksikön hälytysaika riskiluokittain PRONTO-tietojen perusteella (2009–2012, kiireellinen, rakennuspallo tai rakennuspalovaara).

6.2.4 Lähtöaika ja ajoaika

Lähtöajan ja ajoajan sijaan käytettiin PRONTO-tietokannan kenttää ”Toimintavalmiusaika A:71:n mukaan” (kuva 24). Tarkasteluissa huomioitiin vain ne tapaukset, joissa vahvuus 4 (1+3) täyttyi (muut tapaukset jätettiin tarkastelusta pois).



Kuva 24. Toimintavalmiusaika A:71:n mukaan niille tapauksille, joissa vahvuus 4 täyttyi (2009–2012, kiireellinen, rakennuspallo tai rakennuspalovaara).

6.2.5 Ensimmäisiin toimenpiteisiin kuuluva aika

6.2.5.1 Tiedustelu

Tiedusteluun kuluvan ajan oletettiin riippuvan talotyypistä taulukon 22 mukaisesti. Tiedot määritettiin palomestareista koostuvan asiantuntijaryhmän arviona.

Taulukko 22. Tiedusteluun kuuluva aika talotyypeittäin.

Talotyyppi	Kolmiojakauman parametrit			Lähde
	Minimi	Maksimi	Tyypillinen arvo	
Erillinen pientalo	0 min	1 min	1/3 min	Asiantuntija-arvio
Rivi- tai ketjutalo	0 min	2 min	2/3 min	Asiantuntija-arvio
Asuinkerrostalo	0 min	5 min	1 min	Asiantuntija-arvio

6.2.5.2 Selvitysaika

Selvitysaikamittausten tuloksia hyödynnettiin mallinnuksessa taulukon 23 mukaisesti. 5 %:ssa tapauksista arvioitiin (asiantuntija-arvio) aiheutuvan lisäviive (pidempi selvitysmatka, kulkutie-este, savua porraskäytävässä, letkurikko, liitinrikko, pumppu ei käynnisty tms.), jonka pituutta estimoitiin kolmiojakaumalla (minimi = 1/4 min, maksimi = 3 min, tyypillinen arvo = 2 min).

Taulukko 23. Selvitysaikamittausten hyödyntäminen mallinnuksessa.

Talotyyppi	Vaihe	Lähde
Erillinen pientalo, rivi- tai ketjutalo	Alku-sisään	Helsingin pelastuslaitoksen mittaukset (luku 4)
Kerrostalo	Alku-vesi jakoliittimellä	Helsingin pelastuslaitoksen mittaukset (luku 4)
Kerrostalo	Kerrokset 1-3	Yhdistetty Helsingin pelastuslaitoksen mittaukset (luku 4) ja Pelastusopiston mittaukset (Jäntti ym. 2009)
Kerrostalo	Kerrokset 3-6	Helsingin pelastuslaitoksen mittaukset (luku 4)
Kerrostalo	Kerrokset 6-n	Kuten kerrokset 3-6
Kerrostalo	Tasanteella n-sisään	Pelastusopiston mittaukset (Jäntti ym. 2009)

6.2.6 Tilanteen hallintaan saamiseen kuuluva aika

6.2.6.1 Henkilövahingot

Ihmisen pelastamiseen kuluvan ajan oletettiin riippuvan talotyypistä taulukon 24 mukaisesti. Taulukon arvot määritettiin palomestareista koostuvan asiantuntijaryhmän arviona. Aika alkaa siitä, kun pelastajat menevät asuntoon ja päättyy siihen, kun ihminen on saatu ulos asunnosta.

Taulukko 24. Ihmisen pelastamiseen kuluva aika talotyypeittäin.

Talotyyppi	Tasajakauman parametrit		Lähde
	Minimi	Maksimi	
Erillinen pientalo	0,5 min	5 min	Asiantuntija-arvio
Rivi- tai ketjutalo	0,5 min	5 min	Asiantuntija-arvio
Asuinkerrostalo	0,5 min	2 min	Asiantuntija-arvio

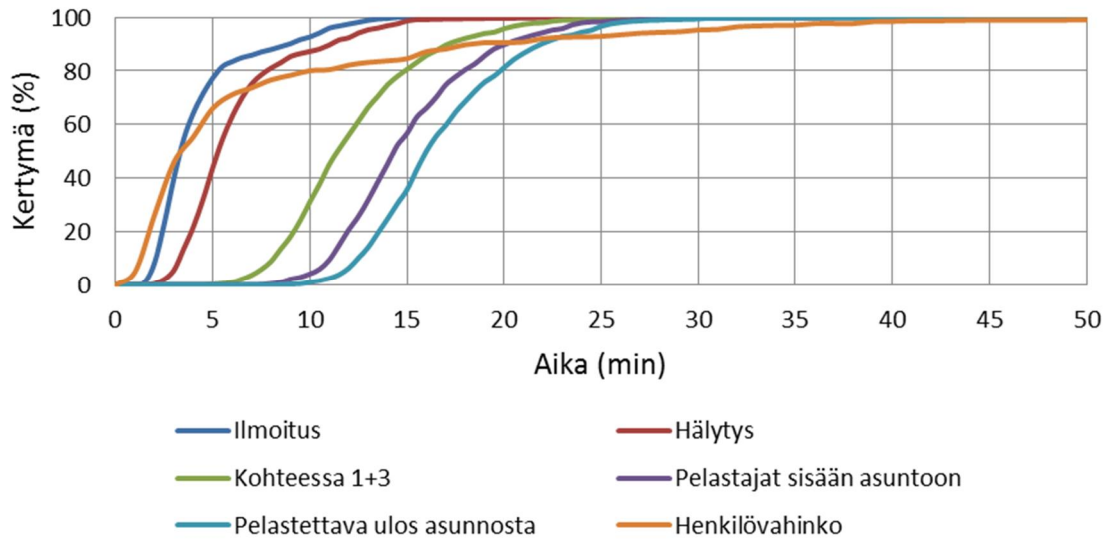
6.2.6.2 Omaisuusvahingot

Omaisuusvahinkojen yhteydessä palokunnan toimintaan liittyviä aikaviiveitä ei arvioitu palokunnan saapumisen jälkeen. Palon aiheuttamien vahinkojen kertymistä palokunnan saapumisen jälkeen tarkasteltiin tilastojen perusteella kuten on esitetty luvussa 5.2.

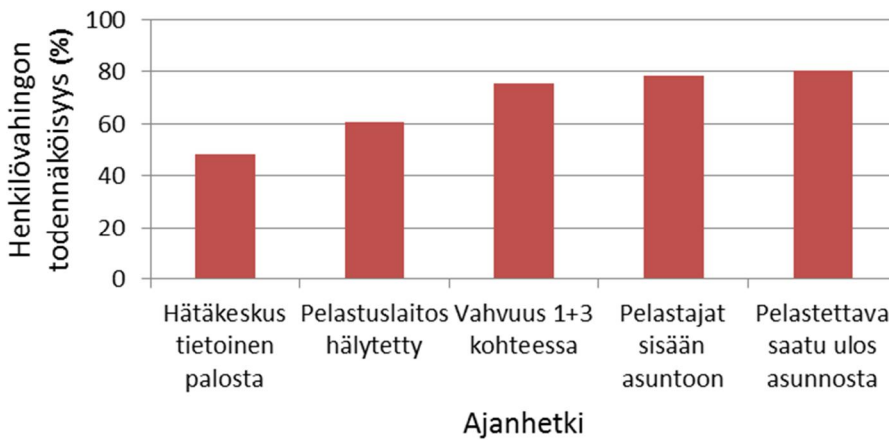
6.3 Tulokset

6.3.1 Henkilövahingot, riskiluokka I

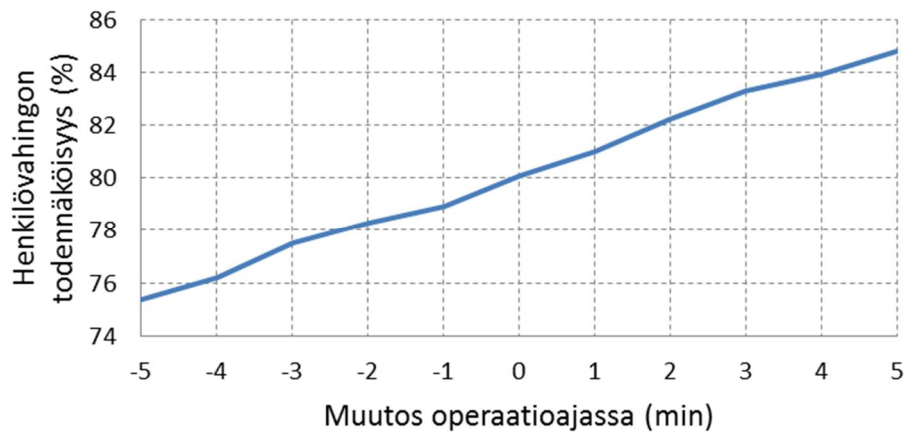
Kuvassa 25 on esitetty pelastustoiminnan eteneminen riskiluokan I alueella syttyvässä tulipalossa. Kuvassa olevat käyrät kuvaavat pelastustoiminnan eri vaiheiden ja henkilövahinkojen ajoittumisen jakaumaa 1000 realisaatiossa. Kuvasta nähdään mm. että 15 minuutin päästä palon syttymisestä pelastuslaitos on saanut henkilön ulos asunnosta 35 %:ssa tapauksista ja 20 minuutin kuluttua palon syttymisestä 80 %:ssa tapauksista. Tilanteen havainnollistamiseksi kuvassa 26 on esitetty samaan simulointiin perustuvat todennäköisyydet jo syntyneille henkilövahingoille pelastustoiminnan eri vaiheissa. Kuvasta nähdään mm. että siinä vaiheessa, kun pelastettava on saatu ulos asunnosta, vakava henkilövahinko (kuolema tai vakava loukkaantuminen) on syntynyt 80 %:ssa tapauksista. Simuloiduissa palotapauksissa (365 Monte Carlo -tekniikalla muodostettua palosimulointia, joiden parametrijakaumat perustuivat laajasti tilastoihin, kuten kappaleessa 2.2 ja liitteessä B on kerrottu) suuri osa henkilövahingoista syntyy jo niin varhaisessa vaiheessa, ettei pelastuslaitoksella ole mahdollisuutta niihin vaikuttaa. Kuvasta 27 nähdään, miten systemaattinen muutos operaatioajassa vaikuttaisi riskiluokan I asuntopaloissa vakavien henkilövahinkojen (kuolema tai vakava loukkaantuminen) syntymiseen. Jos operaatioaika lyhenisi tai pitenisi n. yhdellä minuutilla, vähenisi tai kasvaisi vastaavasti vakavien henkilövahinkojen todennäköisyys n. yhdellä prosenttiyksiköllä. Käytännössä tämän voi tulkita siten, että jos vakavien henkilövahinkojen kokonaismäärä jossakin aikayksikössä on 80, on vastaavassa aikayksikössä kuolemalta tai vakavalta loukkaantumiselta pelastettujen määrä 20, jolloin prosenttiyksikön muutos merkitsee kyseisen ajanjakson kuluessa 1 vakavaa henkilövahinkoa.



Kuva 25. Pelastustoiminnan eri vaiheiden ja vakavien henkilövahinkojen (kuolema tai vakava loukkaantuminen) muodostumisen aikariippuvuudet 1000 realisaatiossa riskiluokan I asuinrakennuksissa.



Kuva 26. Todennäköisyys sille, että vakava henkilövahinko (kuolema tai vakava loukkaantuminen) on jo syntynyt pelastustoiminnan eri vaiheissa, mikäli asukas ei poistu palavasta asunnosta riskiluokan I asuinrakennuksissa. Laskelma perustuu 1000 realisaatioon.

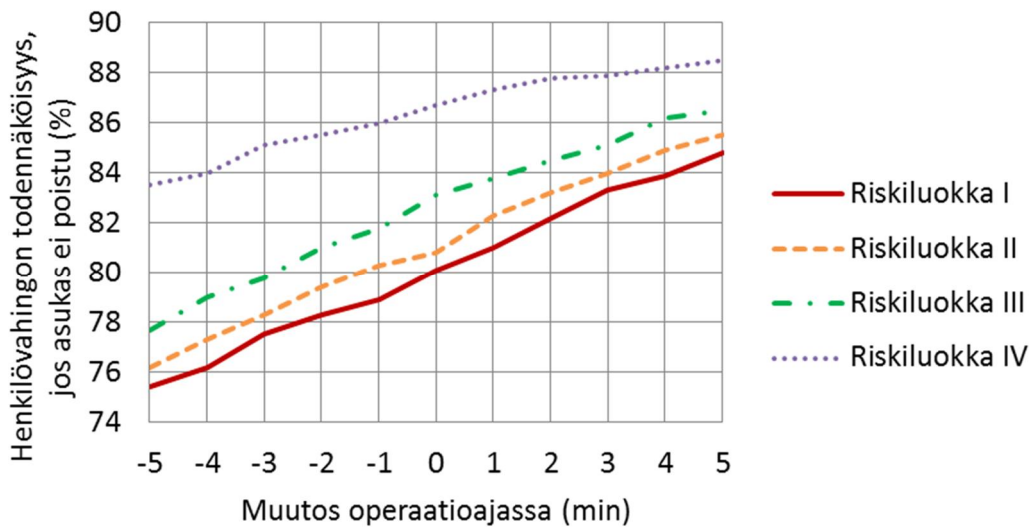


Kuva 27. Riskiluokan I operaatioajassa tapahtuva systemaattinen muutos vaikuttaa vakavien henkilövahinkojen (kuolema tai vakava loukkaantuminen) todennäköisyyteen kuvan esittämällä tavalla.

6.3.2 Henkilövahingot, vertailu riskiluokittain

Kullekin riskiluokalle simuloitiin 1000 realisaatiota, jolloin saatiin kuvan 28 mukainen tulos. Kuvasta nähdään, että vakavan henkilövahingon todennäköisyys asuntopalossa on riskiluokassa IV selvästi suurempi, kuin muissa riskiluokissa, mutta herkkyys operaatioajan pituudelle on vähäisempi. Esim. operaatioajan lyhentäminen 1 minuutilla vähentää henkilövahinkoriskiä IV riskiluokassa vain 0,7 prosenttiyksikköä, kun se I riskiluokassa vähentää henkilövahinkoriskiä 1,2 prosenttiyksikköä. Asian havainnollistamiseksi tehtiin seuraava laskelma:

PRONTO-aineiston perusteella (luku 6.5.1) vakavien henkilövahinkojen kokonaismäärä (asuntopaloissa kuolleet ja vakavasti loukkaantuneet) koko maassa vuosina 2009–2012 oli keskimäärin n. 120. Jos oletetaan, että kaikissa riskiluokissa operaatioajan muutoksen vaikutus olisi sama, eli n. 1 min vaikuttaisi vakaviin henkilövahinkoihin n. yhden prosenttiyksikön verran, tarkoittaisi tämä n. kahta henkilöä (taulukko 25).



Kuva 28. Henkilövahinkojen todennäköisyyden riippuvuus riskiluokasta ja operaatioajasta.

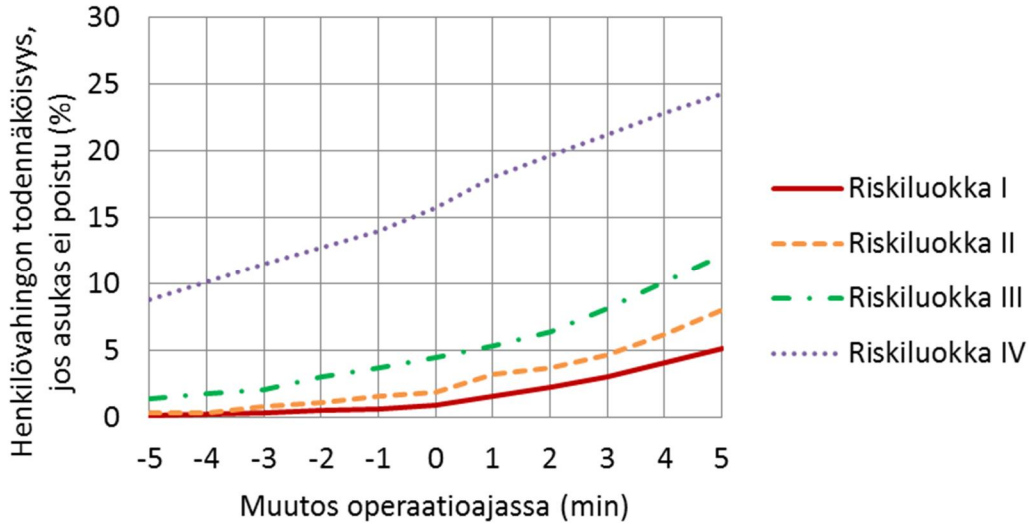
Taulukko 25. Laskelma operaatioajan lyhentämisen/pidentämisen vaikutuksesta, jos vakavien henkilövahinkojen kokonaismäärä ”nykytilanteessa” olisi 120.

Tapaus	%-osuudet:	Henkilömäärien suhde (esim.):
	henkilövahingot / pelastetut	henkilövahingot / pelastetut
”nykytilanne”	80 % / 20 %	120 / 30
operaatioaika lyhenee 1 minuutilla	79 % / 21 %	118,5 / 31,5
operaatioaika pitenee 1 minuutilla	81 % / 19 %	121,5 / 28,5

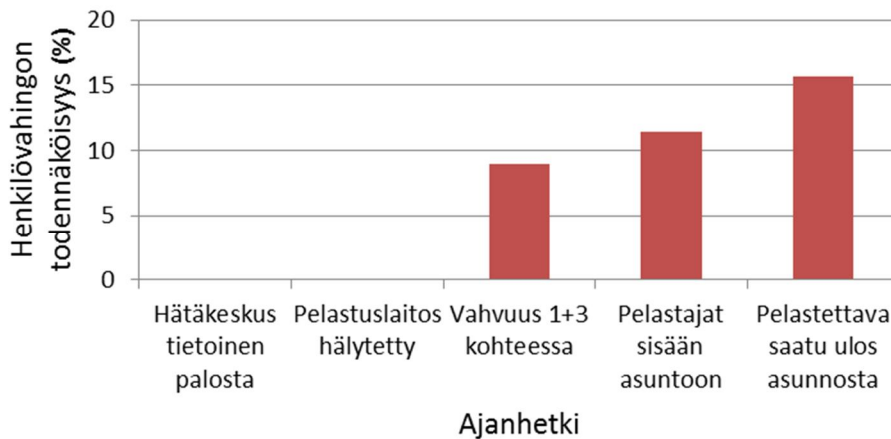
6.3.3 Henkilövahingot, sprinklattu

Perustapauksessa tarkasteltiin tilannetta, jossa asunnoissa ei ole sprinklausta, jolloin henkilövahinkojen oletettiin muodostuvan kuten kuvassa 7 on esitetty. Vertailun vuoksi tarkasteltiin tilannetta, jossa kaikissa asunnoissa oletettiin olevan toimiva sprinklaus, jolloin henkilövahinkojen oletettiin kertyvän kuvan 9 mukaisesti (FED=1). Lisäksi sprinklauksen oletettiin nopeuttavan palon havaitsemista osassa tapauksia: sprinklerille käytettiin samaa havaitsemisaikajakaumaa kuin palovaroittimelle ja havaitsemisen oletettiin tapahtuvan silloin, kun ensimmäinen näistä reagoi. Tulokset on esitetty kuvassa 29, josta havaitaan, että vakavien henkilövahinkojen todennäköisyys sprinklatussa tapauksessa on kaiken kaikkiaan huomattavasti alhaisempi kuin sprinklaamattomassa. Toisaalta havaitaan, että sprinklatussa tapauksessa riskiluokan IV alueilla vakavien henkilövahinkojen todennäköisyys on monikertainen muihin riskiluokkiin verrattuna ja myös herkkyys operaatioajan pituudelle on nyt suurempi kuin muissa riskiluokissa. Esim. operaatioajan lyhentäminen yhdellä minuutilla riskiluokassa IV pienentäisi vakavien henkilövahinkojen todennäköisyyttä 1,7 prosenttiyksikköä, mutta riskiluokassa I vain 0,3 prosenttiyksikköä. Kuvasta 30 nähdään, että

sprinklatussa riskiluokan IV asuinrakennuksessa vakavat henkilövahingot syntyvät pelastustoiminnan kokonaisaikaiviiveen loppupuolella, jolloin operaatioajan lyhentämisen vaikuttavuus on suurempi. 1,7 prosenttiyksikköä pienempi riski tarkoittaa 11 % pienempää riskiä, kun riski on 15,7 % ($1,7/15,7 = 0,11$).



Kuva 29. Vakavien henkilövahinkojen todennäköisyyden riippuvuus riskiluokasta sprinklatussa tapauksessa.

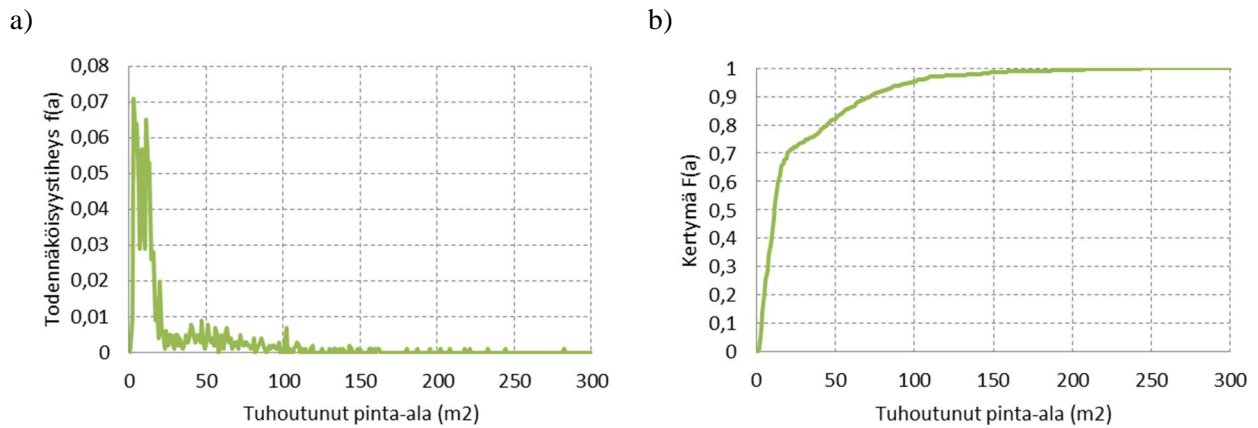


Kuva 30. Todennäköisyys sille, että vakava henkilövahinko on jo syntynyt pelastustoiminnan eri vaiheissa, mikäli asukas ei poistu palavasta asunnosta sprinklatuissa riskiluokan IV asuinrakennuksissa. Laskelma perustuu 1000 realisaatioon.

6.3.4 Omaisuusvahingot, riskiluokka I

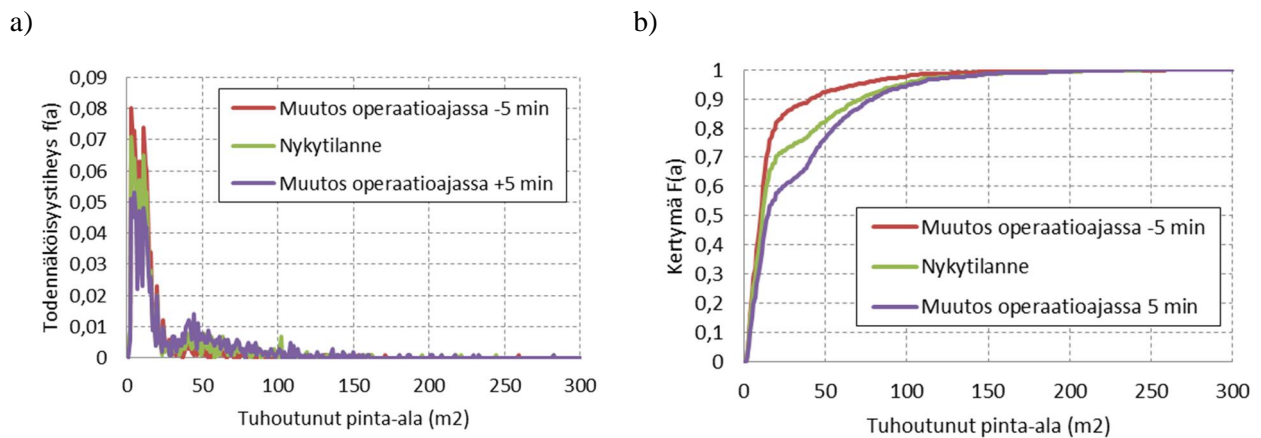
Kun riskiluokan I tiedoilla, jotka oli määritetty vuosien 2009–2012 PRONTO-tietojen perusteella, simuloitiin 1000 tapausta, saatiin omaisuusvahinkojen osalta kuvan 31 mukainen tulos. Vasemmanpuoleisesta

kuvasta (a) nähdään millaisia realisaatioita simulointi tuottaa. Oikeanpuoleisesta kuvasta (b) nähdään, että 70 %:ssa tapauksista asunnon tuhoutunut pinta-ala on alle 20 m² ja 80 %:ssa tapauksista alle 45 m². Palossa tuhoutuneiden huoneiden pinta-alat perustuivat ”Palokuolemien ehkäisykeinojen vaikuttavuuden arviointi” -hankkeessa luotuun asuntotietokantaan (luku 5.2.5) ja asuntojen kokonaispinta-alat Väestörekisterikeskuksen ylläpitämän väestötietojärjestelmän (VTJ) rakennuksia koskeviin tietoihin (luku 5.2.6). Sytymishuone (luku 5.2.4) ja palon ajallinen eteneminen asunnossa perustuivat PRONTO-tietoihin (luvut 5.2.2 ja 5.2.4).



Kuva 31. Asunnon tuhoutunut pinta-ala 1000 realisaatiossa (riskiluokka I).

Mikäli operaatioaika systemaattisesti pienenesi tai kasvaisi 5 min, saataisiin kuvan 32 mukainen tulos. Vasemmanpuoleisesta kuvasta 32a nähdään, miten operaatioajan systemaattinen kasvaminen vähentää niiden tapausten määrää, joissa tuhoutunut pinta-ala on pieni ja kasvattaa niiden tapausten määrää, jossa tuhoutunut pinta-ala on suuri. Oikeanpuoleisesta kuvasta 32b nähdään esim. että 50 %:ssa tapauksista tuhoutunut pinta-ala on operaatioajasta riippumatta (± 5 min) alle 15 m² ja loppuosassa tapauksista operaatioajalla on huomattava merkitys. Tarkemmin tämän operaatioajan systemaattisen muutoksen vaikutus näkyy kuvissa 33a ja 33b.

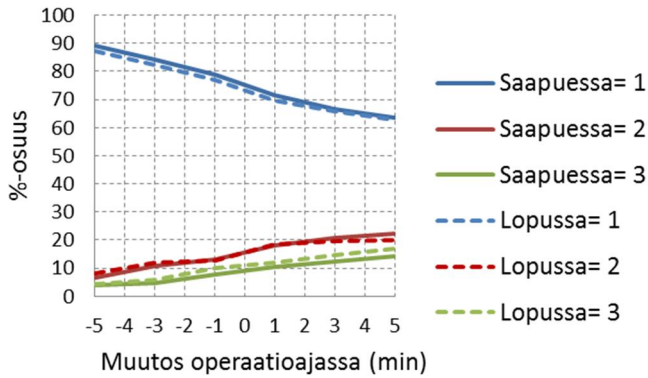


Kuva 32. Asunnon tuhoutunut pinta-ala 1000 realisaatiossa (riskiluokka I), kun operaatioaikaa systemaattisesti lyhennetään tai pidennetään.

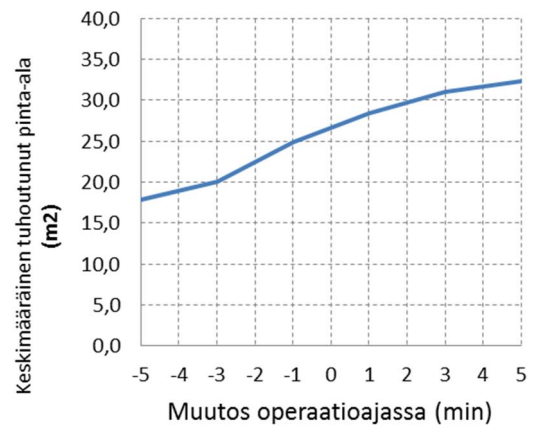
a)

Palon laajuus palokunnan saapuesssa ja tilanteen lopussa

- 1=Rajoittunut syttymishuoneeseen
- 2=Levinnyt syttymishuoneesta
- 3=Levinnyt vähintään koko palo-osastoon



b)



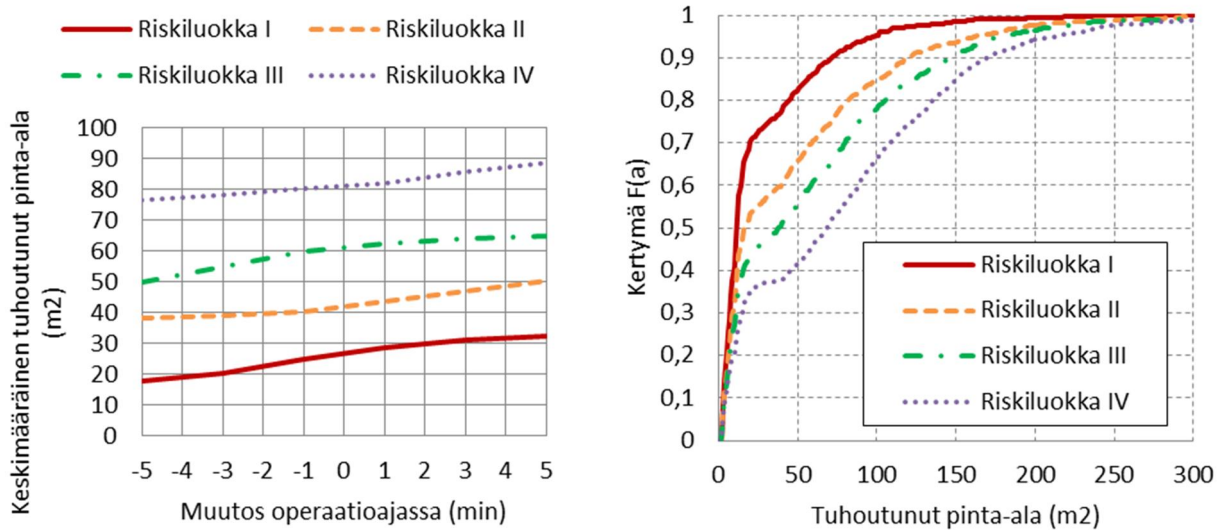
Kuva 33. Operaatioajan systemaattisen muuttamisen vaikutus riskiluokan I simuloinneissa: a) palon laajuus palokunnan saapuesssa ja tilanteen lopussa ja b) tuhoutunut pinta-ala eri simuloinneissa.

6.3.5 Omaisuuksvahingot, riskiluokkien vertailu

Kullekin riskiluokalle simuloitiin 5000 realisaatiota (vaihtelu oli niin suurta, että suurempi määrä realisatioita oli tarpeen), jolloin saatiin kuvan 34 mukaiset tulokset. Kuvasta 34a nähdään, että simuloinneissa ”nykytilanteessa” (2009–2012) keskimääräinen tuhoutunut pinta-ala riskiluokkien I, II, III ja IV alueilla on 27 m², 42 m², 61 m² ja 81 m² vastaavasti. Operaatioajan systemaattinen muutos ± 5min vaikuttaisi kussakin riskiluokassa n. ± 6–7 m². Kuvasta 34b nähdään, että riskiluokissa I, II, III ja IV alle 20 m²:n pinta-alojen osuus on 70 %, 53 %, 44 % ja 35 % vastaavasti; yli 100 m²:n pinta-alojen osuus on vastaavasti 5 %, 15 %, 22 % ja 34 % tapauksista.

a)

b)



Kuva 34. Simulointitulokset eri riskiluokille: a) keskimääräisen tuhoutuneen pinta-alan riippuvuus riskiluokasta ja operaatioajasta ja b) tuhoutuneen pinta-alan jakauma riskiluokittain.

6.4 Herkkyystarkastelut

Mallin parametreihin ja oletuksiin liittyvien epävarmuuksien vaikutuksia tutkittiin herkkyystarkastelujen avulla.

6.4.1 Ilmoitusaika

Käytettävissä ei ollut tilastotietoa siitä, kuinka palon aikaa kuluu palon syttymisestä siihen, että hätäkeskus on tietoinen palosta. Tämän vuoksi ilmoitusaikaan liittyviä aikaviiveitä jouduttiin arvioimaan kirjallisuustietojen ja asiantuntija-arvioiden perusteella. Herkkyystarkastelulla tutkittiin, miten suuri vaikutus ilmoitusajan eri osatekijöillä on tuloksiin. Tuloksista (taulukko 26) nähdään, että naapurin tekemän ilmoituksen aikaviiveen pituudella ei ole tilastollisesti kovin suurta merkitystä, mutta sillä on, tekeekö asukas lainkaan ilmoitusta vai ei. Jos asukas ei tee ilmoitusta ja lisäksi naapurin tekemän ilmoituksen aikaviive on kaksinkertainen, vaikuttaa se henkilövahinkojen todennäköisyyteen riskiluokasta riippuen 3–7 prosenttiyksikköä. Riskiluokassa IV vaikutus on vähäisin.

Taulukko 26. Herkkyystarkastelu ilmoitusajan osatekijöille.

Tapaus	Henkilövahingon todennäköisyys, jos asukas ei poistu			
	Riskiluokka I	Riskiluokka II	Riskiluokka III	Riskiluokka IV
Perustapaus	80,1	80,8	83,1	86,7
a) Asukas ei tee ilmoitusta (esim. muistisairas)	82,3	83,2	84,5	87,4
b) Naapurin ilmoitusaika kaksinkertainen	80,2	81	83,1	86,8
a)+b)	86,9	87,3	87,9	89,7

6.4.2 Sprinklauksen olemassaolo ja toimintavarmuus

Sprinklattuja asuinrakennuksia koskevassa tarkastelussa oletettiin, että kaikissa asunnoissa on palon sytyessä toimiva sprinklaus. Kuvan 35 herkkyystarkastelusta nähdään miten henkilövahingon todennäköisyys muuttuu, kun sprinklauksen todennäköisyys kasvaa tilanteesta, jossa yksikään asunto ei ole sprinklattu (0 %) tilanteeseen, jossa kaikki asunnot ovat sprinklattuja (100 %). Laskelma tehtiin käyttäen seuraavaa kaavaa:

$$p_{hvah} = p_{spr} * p_{hvah,spr} + (1 - p_{spr}) * p_{hvah,ei spr} \quad (11)$$

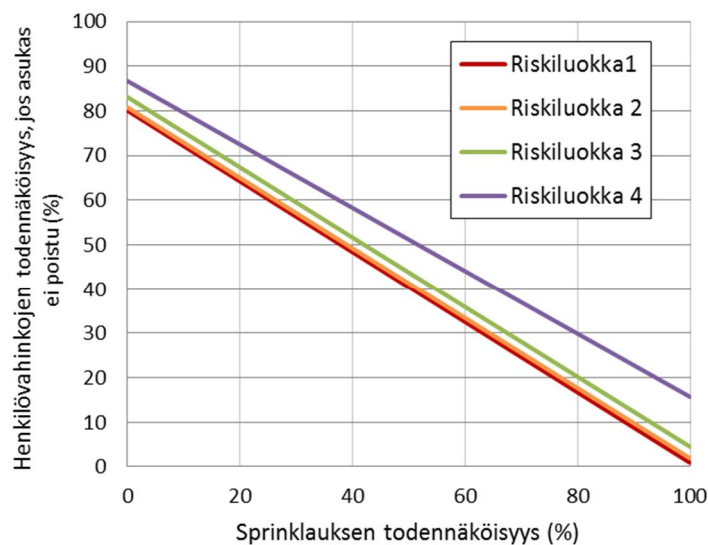
jossa

p_{hvah} on vakavan henkilövahingon todennäköisyys, jos asukas ei poistu

p_{spr} on todennäköisyys, että asunto on sprinklattu

$p_{hvah,spr}$ on vakavan henkilövahingon todennäköisyys, jos asukas ei poistu ja asunto on sprinklattu

$p_{hvah, ei spr}$ on vakavan henkilövahingon todennäköisyys, jos asukas ei poistu eikä asuntoa ole sprinklattu

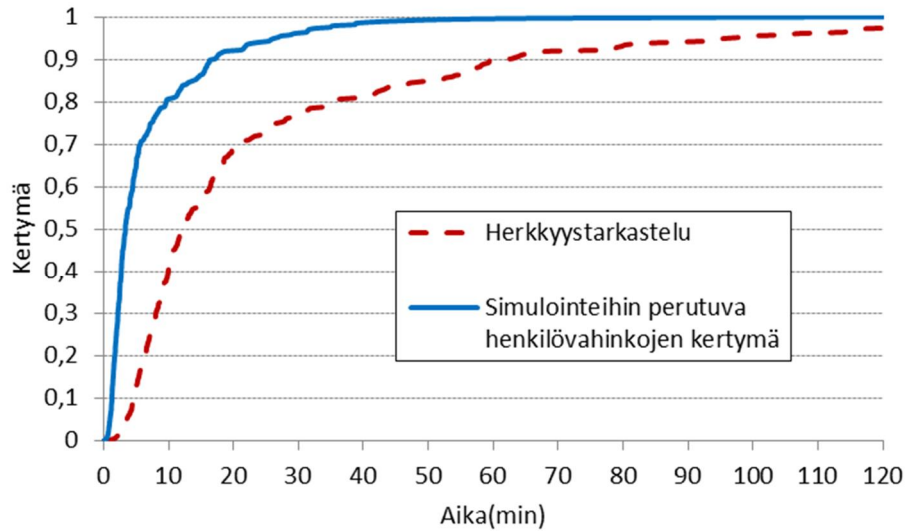


Kuva 35. Henkilövahinkojen todennäköisyyden riippuvuus sprinklauksen todennäköisyydestä tilanteessa, jossa asukas ei itsenäisesti poistu palavasta asunnosta.

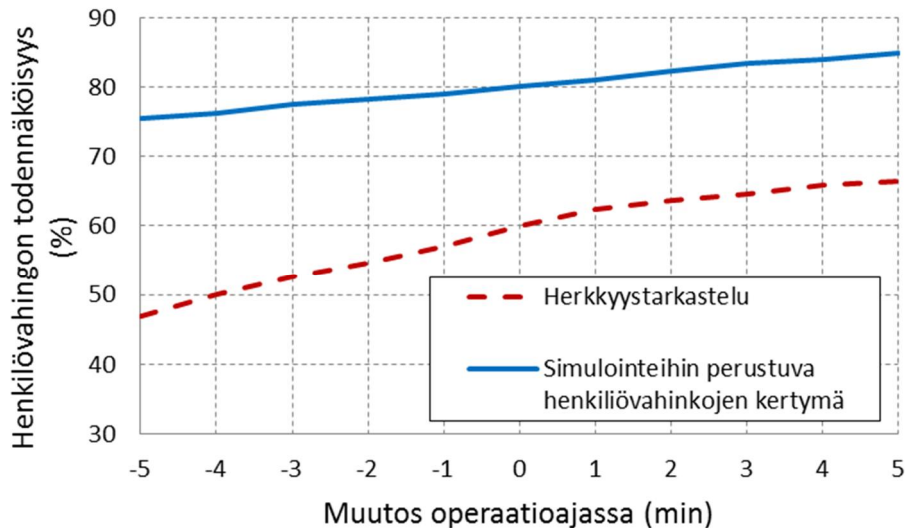
6.4.3 Henkilövahinkojen kertyminen

Henkilövahinkokertymät sprinklaamattomassa tapauksessa muodostettiin ”Palokuolemien ehkäisykeinojen vaikuttavuuden arviointi” -projektissa (Keski-Rahkonen ym. 2011) tehtyjen simulointien perusteella. Koska simulointeihin liittyy aina suuria epävarmuuksia, tehtiin herkkyystarkastelu, jossa henkilövahinkojen oletettiin muodostuvan hitaammin (kuva 36) kuin simuloituissa tapauksissa. Simuloituissa tapauksissa 80 % vakavista henkilövahingoista syntyi ensimmäisten 10 minuutin aikana palon syttymisestä. Herk-

kyystarkastelussa 80 % vakavista henkilövahingoista syntyi ensimmäisten 35 minuutin aikana. Tarkastelun tulokset riskiluokan I tapaukselle on esitetty kuvassa 37. Havaitaan, että kun henkilövahinkojen syntymisen aikariippuvuutta muutettiin siten, että kuolemalta ja vakavalta loukkaantumiselta pelastettujen osuus oli 20 % sijaan 40 %, minuutin muutos operaatioajassa muutti arviota vakavien henkilövahinkojen määrästä noin kolmella prosenttiyksiköllä.



Kuva 36. Henkilövahinkojen todennäköisyyden riippuvuus sprinklauksen todennäköisyydestä tilanteessa, jossa asukas ei itsenäisesti poistu palavasta asunnosta.

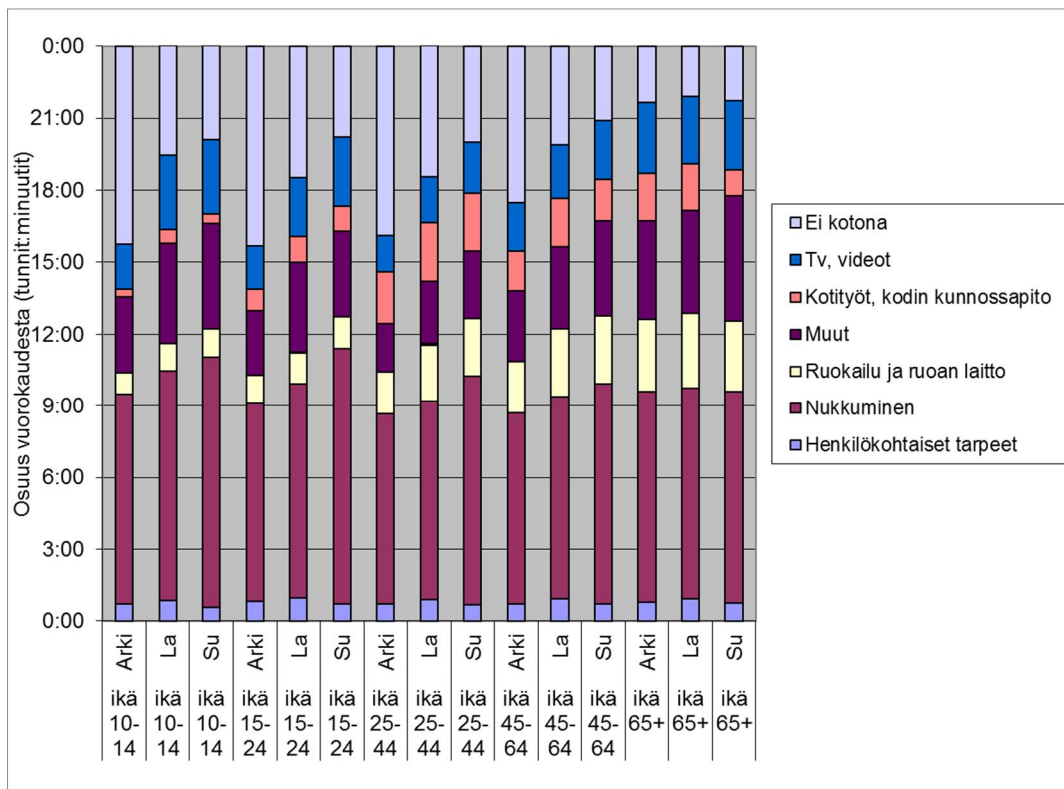


Kuva 37. Riskiluokan I operaatioajassa tapahtuvan systemaattisen muutoksen vaikutus henkilövahinkoihin herkkyystarkastelussa ja alkuperäisessä simulointeihin perustuvassa tarkastelussa.

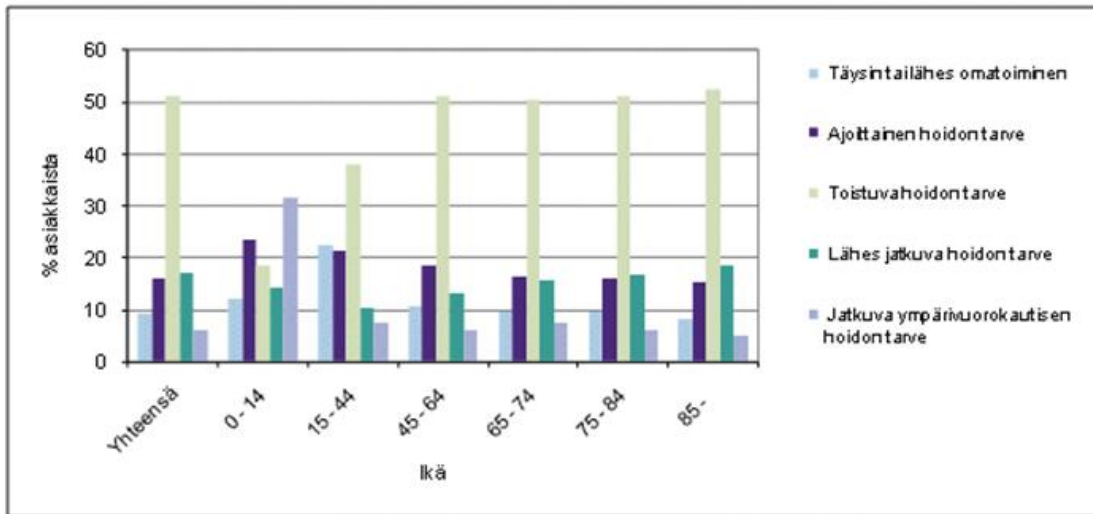
6.5 Tapahtumapuutarkastelut

Operaatioaikamallin avulla saadaan määrällinen arvio toimintavalmiuden vaikuttavuudesta yksilöriskiin, ts. siihen, millä todennäköisyydellä palavassa asunnossa oleva henkilö pelastetaan, mikäli hän ei itse jostakin syystä pysty poistumaan. Tapahtumapuiden avulla voidaan arvioida mitä em. yksilöriski tarkoittaa koko yhteisön kannalta, ts. voidaan arvioida toimintavalmiuden tai muiden seikkojen vaikutusta yhteisölliseen riskiin. Tapahtumapuusta olisi teoriassa mahdollista tehdä hyvinkin yksityiskohtainen, mutta käytännössä toteutusta rajoittaa tarvittavan yksityiskohtaisen tilastotiedon puute. Meillä on esimerkiksi käytettävissä tilastoaineistoa eri ikäluokkiin kuuluvien ihmisten ajankäytöstä (kuva 38) ja kotihoidon tarpeesta (kuva 39), mutta ei kotihoidon asiakasryhmien ajankäytöstä eli em. asioiden välisestä korrelaatiosta. Käytännössä tämä johtaa yksinkertaistuksiin, jolloin jätämme mahdollisen korrelaation huomioimatta. Meillä ei myöskään ole käytettävissä em. tilastotietoja riskiluokittain.

Seuraavissa luvuissa on kuvattu kaksi esimerkkiä tapahtumapuiden käytöstä yhteisöllisen riskin arvioinnissa. Tarkasteluvuodeksi on valittu 2010, koska tältä vuodelta oli käytettävissä eniten tilastoaineistoa. Koska tilastotietoja ei ole jaoteltu riskiluokittain, käytetään riskiluokka I:n operaatioaikamallia ja tehdään lopuksi herkkyystarkastelu riskiluokan vaikutukselle tapahtumapuutarkasteluun.



Kuva 38. Eri ikäluokkiin kuuluvien ihmisten ajankäyttö (Tilastokeskus 2009).

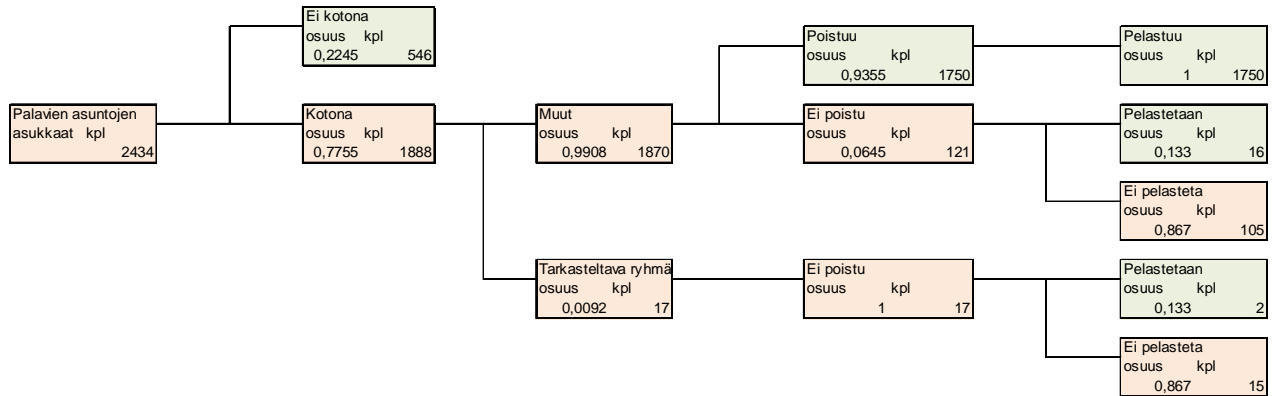


Kuva 39. Säännöllisen kotihoidon asiakkaiden hoidon tarve ikäryhmittäin vuonna 2010. Kyseisenä vuonna säännöllisen kotihoidon asiakkaita oli kaikkiaan 68 865 (THL 2010).

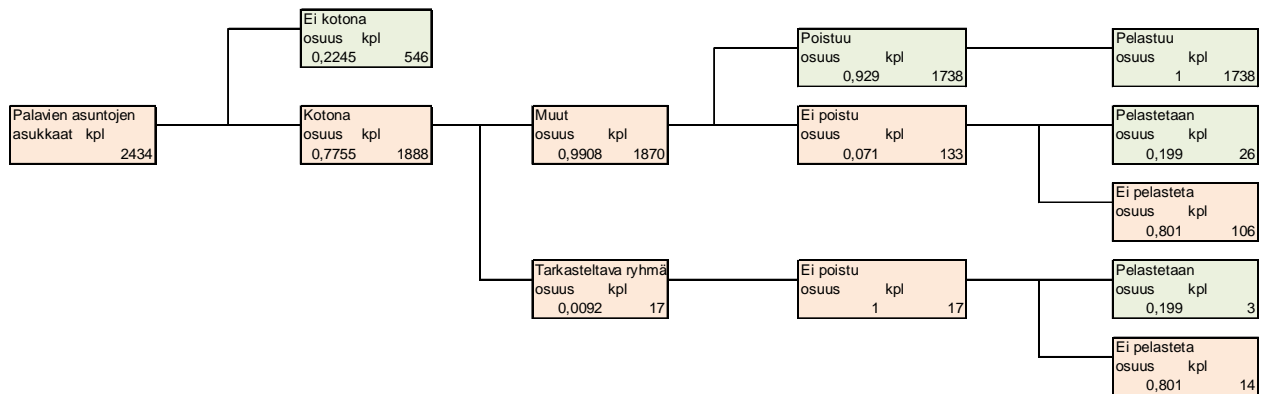
6.5.1 Esimerkki 1: Säännöllisen kotihoidon asiakkaat

Esimerkin tavoitteena on tarkastella säännöllisen kotihoidon asiakkaiden määrän ja laadun vaikutusta yhteisölliseen riskiin. Tarkasteluun valittiin säännöllisen kotihoidon asiakkaista koostuva henkilöryhmä, johon kuuluvat ”toistuvan”, ”lähes jatkuvan” tai ”jatkuvan” hoidon tarpeessa olevat säännöllisen kotihoidon asiakkaat. Oletetaan, että tarkasteltavaan ryhmään kuuluvat henkilöt eivät palotilanteessa pysty poistumaan itsenäisesti. Oletetaan myös, että muut säännöllisen kotihoidon asiakkaat pystyvät poistumaan itsenäisesti. (Asia ei tietenkään ole näin yksinkertainen, mutta ilman tällaista oletusta käyttämämme lähestymistapa ei sovellu asian tarkasteluun.) Kuvassa 40 on esitetty tilanteeseen liittyvä tapahtumapuu, taulukossa 27 tapahtumapuun lähtötiedot ja taulukossa 28 tapahtumapuutarkastelun tulokset. Koska operaatio-aikamalli laskettiin riskiluokittain ja nyt halutaan tarkastella tilannetta koko maan kannalta, lasketaan tapahtumapuut käyttäen eri riskialueiden pienintä (13,3 %) ja suurinta (19,9 %) arviota pelastettujen osuudelle asuntoon jäävistä. Seuraavissa kappaleissa kuvataan yksityiskohtaisesti miten tapahtumapuu muodostettiin, mitä tulokset tarkoittavat ja miten menetelmää voi käyttää tarkasteltavan ryhmän merkityksen arviointiin yhteisöllisen riskin muodostumisessa.

a) Pelastettujen osuus asuntoon jäävistä 13,3 %



b) Pelastettujen osuus asuntoon jäävistä 19,9 %



Kuva 40. Tapahtumapuu tarkasteltavan ryhmän osuudesta henkilövahinkojen muodostumisessa vuonna 2010, kun pelastettujen osuus asuntoon jäävistä on a) 13,3 % ja b) 19,9 %.

Taulukko 27. Tapahtumapuun lähtötiedot (vuosi 2010), kun pelastettujen osuus asuntoon jäävistä on a) 13,3 % ja b) 19,9 %. Lähteet: 1) Asuntopalojen määrä Suomessa vuonna 2010 PRONTO-tietojen perusteella; 2) Asuntopaloissa kuolleiden määrä em. PRONTO-aineistossa; 3) Vakavasti loukkaantuneiden määrä em. PRONTO-aineistossa; 4) Määritellään henkilövahingot = kuolleet + vakavasti loukkaantuneet; 5) Tilastokeskus: Asunnot ja asuinolot; 6) Laskettu seuraavalla kaavalla: Palavien asuntojen asukkaat yhteensä = Asuntopalojen määrä × Keskimääräinen asuntokunnan koko; 7) Tilastokeskus: Ajankäyttötutkimus; 8) Laskentatapa selitetty tekstissä; 9) Säädetty siten, että henkilövahinkojen kokonaismäärä vastaa PRONTO-tietoja; 10) Operaatioaikamallinnuksen tulos.

a) *Pelastettujen osuus asuntoon jäävistä 13,3 %*

Lähtötiedot	%	LKM	Lähde
Asuntopalot (koko maa) / vuosi		1176	1
Henkilövahingot		120	4
Keskimääräinen asuntokunnan koko		2,1	5
Palavien asuntojen asukkaat yhteensä		2434	6
Ei kotona	22,45		7
Tarkasteltavan ryhmän osuus asukkaista	0,92		8
Asuntoon jäävien osuus muista	6,45		9
Pelastettujen osuus asuntoon jäävistä	13,30		10

b) *Pelastettujen osuus asuntoon jäävistä 19,9 %*

Lähtötiedot	%	LKM	Lähde
Asuntopalot (koko maa) / vuosi		1176	1
Henkilövahingot		120	4
Keskimääräinen asuntokunnan koko		2,1	5
Palavien asuntojen asukkaat yhteensä		2434	6
Ei kotona	22,45		7
Tarkasteltavan ryhmän osuus asukkaista	0,92		8
Asuntoon jäävien osuus muista	7,10		9
Pelastettujen osuus asuntoon jäävistä	19,90		10

Taulukko 28. Tapahtumapuun tulokset (vuosi 2010), kun pelastettujen osuus asuntoon jäävistä on a) 13,3 % ja b) 19,9 %.

a) *Pelastettujen osuus asuntoon jäävistä 13,3%*

Tulokset	LKM	%
Yhteensä	2434	100,00
Ei kotona	546	22,43
Pelastuneet	1768	72,64
H-vahingot	120	4,93

Ryhmä	Tapahtuma	LKM	%
Muut	Poistui	1750	71,89
Muut	Pelastettiin	16	0,66
Muut	H-vahinko	105	4,30
Tarkasteltava ryhmä	Pelastettiin	2	0,09
Tarkasteltava ryhmä	H-vahinko	15	0,62

b) *Pelastettujen osuus asuntoon jäävistä 19,9 %*

Tulokset	LKM	%
Yhteensä	2434	100,00
Ei kotona	546	22,43
Pelastuneet	1768	72,64
H-vahingot	120	4,93

Ryhmä	Tapahtuma	LKM	%
Muut	Poistui	1738	71,39
Muut	Pelastettiin	26	1,09
Muut	H-vahinko	106	4,37
Tarkasteltava ryhmä	Pelastettiin	3	0,14
Tarkasteltava ryhmä	H-vahinko	14	0,57

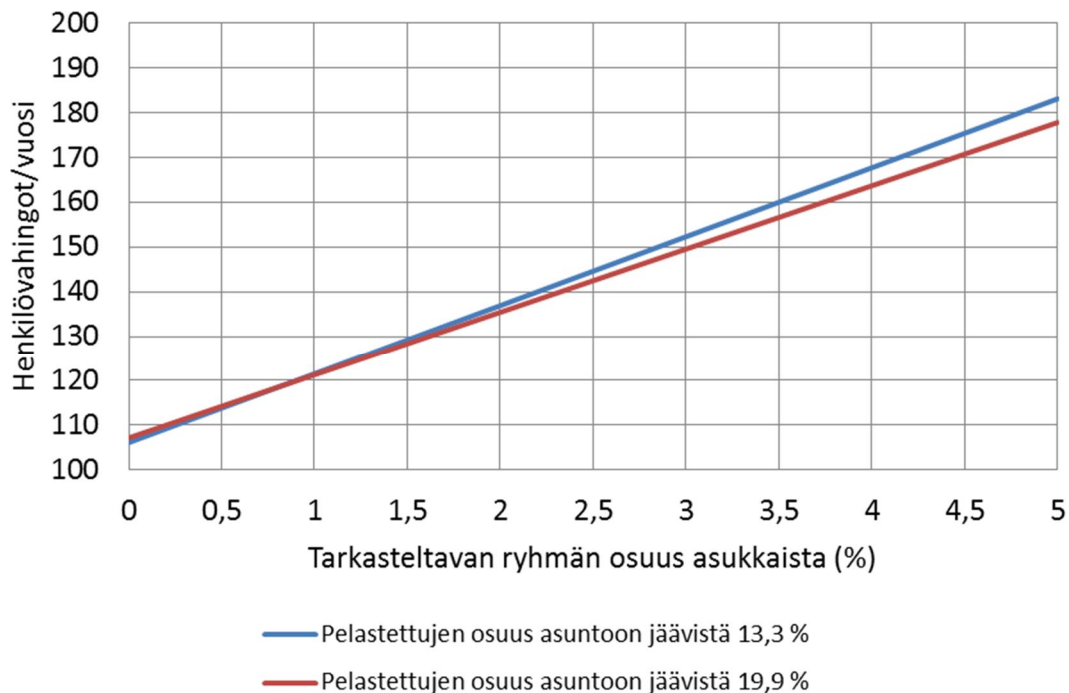
Asuntopalojen määrä sekä asuntopaloissa kuolleiden ja vakavasti loukkaantuneiden määrät koko maassa vuonna 2010 määritettiin PRONTO-aineistosta. Jos määritellään, että ”henkilövahinkojen” määrä tarkoittaa kuolleiden ja vakavasti loukkaantuneiden yhteismäärää, PRONTO-aineiston perusteella henkilövahinkojen määrä koko maassa vuosina 2009–2012 oli keskimäärin n. 120 (1176 asuntopaloa kohden). Tilastokeskuksen ”asunnot ja asuinolot” -vuositilaston perusteella (Tilastokeskus 2010) keskimääräinen asuntokunnan koko vuonna 2010 oli 2,1. Tiedot yhdistämällä saadaan arvio asukkaiden kokonaismäärästä niissä asunnoissa, joissa tulipalo syttyi vuonna 2010. Kokonaismääräksi määritettiin 2434 (taulukko 27). Tilastokeskuksen ajankäyttötutkimuksen (Tilastokeskus 2009) perusteella voidaan arvioida, että henkilö ei ole kotona keskimäärin 22 % todennäköisyydellä. Ottaen huomioon väestötilastot (Tilastokeskus 2012), Terveystieteiden tutkimuskeskuksen kotihoidon laskenta (THL 2010) sekä laitoksissa asuvien osuus ikääntyneistä (Sosiaali- ja terveysministeriö 2013), saadaan tulokseksi, että tarkasteltavan ryhmän osuus kotona asuvasta väestöstä oli 0,92 % vuonna 2010. Jos oletetaan, että muista kuin tarkasteltavan ryhmän jäsenistä 8,4 % (tämä luku ”kalibroitiin” siten, että henkilövahinkojen kokonaismääräksi tapahtumapuussa saatiin 120) ei poistu itsenäisesti palavasta asunnosta ja että pelastettujen osuus palavaan asuntoon jäävistä on 19,9 % (operaatioaikamallin tulos) saadaan taulukossa 28 esitetyt tulokset.

Kun tapahtumapuun avulla suoritettu laskenta on tehty, voidaan tutkia minkä tahansa tapahtumapuussa esiintyvän parametrin vaikutusta lopputulokseen. Jos oletetaan, että väestö ja vähintään 65-vuotiaiden osuus väestöstä kasvavat ennustetulla tavalla (taulukko 29) ja muut asiat pysyvät samoina (eli ei oteta huomioon esimerkiksi kotona asuvien osuuden mahdollista kasvua) saadaan tarkasteltavan ryhmän osuudeksi 1,51 % väestöstä vuonna 2060. Jos lisäksi oletetaan, että asuntopalojen määrä pysyy samana (käytävissä ei ollut ennustetta asuntopalojen määrän muutoksesta vuoteen 2060 mennessä), saadaan tulokseksi, että henkilövahinkojen määrä kasvaisi tarkasteltavan ryhmän kasvun myötä n. 130:een. Jos tulipalojen määrä kasvaa, tapahtumapuun mukaan eri ryhmien prosenttiosuudet (taulukko 28) pysyvät samoina.

Taulukko 29. Väestö ikäryhmittäin Suomessa 2000–2060 (vuodet 2020–2060: ennuste; Tilastokeskus 2012).

Vuosi	Ikäluokat yhteensä	0–14	15–64	65-	0–14 %	15–64 %	65-%
2000	5 181 115	936 333	3 467 584	777 198	18,1	66,9	15,0
2010	5 375 276	887 677	3 546 558	941 041	16,5	66,0	17,5
2020	5 631 017	932 596	3 425 603	1 272 818	16,6	60,8	22,6
2030	5 847 678	936 712	3 415 342	1 495 624	16,0	58,4	25,6
2040	5 984 898	923 027	3 495 360	1 566 511	15,4	58,4	26,2
2050	6 095 858	940 800	3 515 618	1 639 440	15,4	57,7	26,9
2060	6 227 635	948 631	3 523 775	1 755 229	15,2	56,6	28,2

Ennusteisiin liittyy aina suuri epävarmuus, minkä vuoksi tapahtumapuulla tehtiin herkkyystarkastelu, jossa laskettiin henkilövahinkojen määrän riippuvuus tarkasteltavan ryhmän osuuden kasvusta muiden parametrien pysyessä samoina. Kuvasta 41 nähdään, miten henkilövahinkojen määrä muuttuu, kun tarkasteltavan ryhmän osuus asukkaista kasvaa.



Kuva 41. Henkilövahinkojen määrän riippuvuus tarkasteltavan ryhmän osuudesta, kun pelastettujen osuus asuntoon jäävistä on 13,3 % tai 19,9 %.

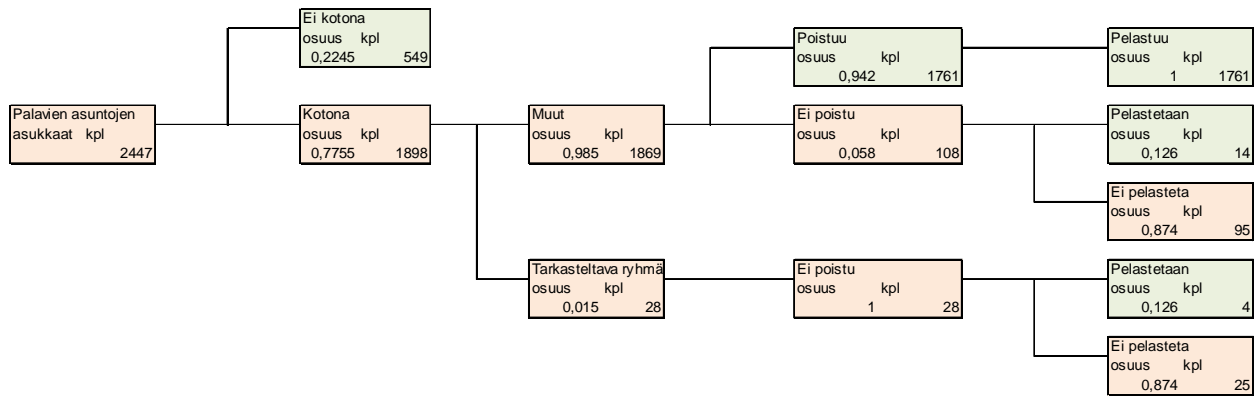
6.5.2 Esimerkki 2: Muistisairaat

Tarkastellaan muistisairaiden määrän vaikutusta henkilövahinkoihin. Suomessa on 120 000 muistisairasta, joista 80 000 (1,5 % väestöstä) asuu omassa kodissaan ja 40 000 laitoksissa. Muistisairaille on tyypillisesti seuraavia ominaisuuksia (Sulkava 2012):

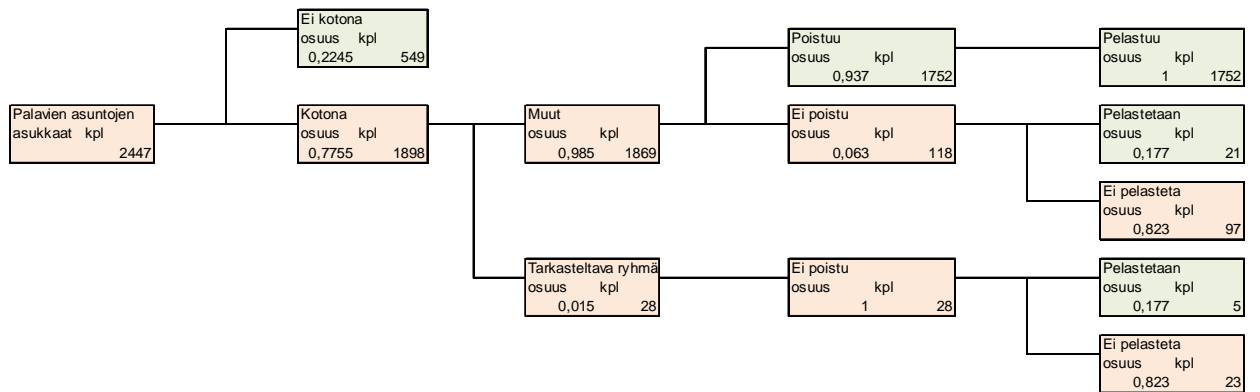
- Lähimuisti ja mieleen painaminen huono tai olematon
- Monia vaiheita sisältävät toiminnot eivät onnistu
- Hahmottaminen heikentynyt (eksymistaipumus)
- Kätevyys heikentynyt, kaatumistaipumus lisääntynyt
- Ei osaa itse hälyttää apua jos tulee vahinko

Jos oletetaan, että muistisairaat eivät kykene tekemään ilmoitusta palosta eivätkä itsenäisesti poistumaan, voidaan tehdä vastaavanlainen tarkastelu kuin edellä. Tällöin pelastamisen todennäköisyys pienenee 12,6–17,7 %:iin riskiluokasta riippuen (taulukko 26). Näillä luvuilla lasketut tulokset on esitetty kuvassa 42 ja taulukossa 30. On ennustettu, että kotona asuvien muistisairaiden määrä kaksinkertaistuu vuoteen 2025 mennessä (Sulkava 2012). Ottaen huomioon ennustettu väestönkasvu, kotona asuvien muistisairaiden osuus väestöstä olisi tällöin 2,8 %. Tapahtumapuun avulla voidaan laskea, että tämä muutos aiheuttaa henkilövahinkojen kasvun 120:stä n. 140:een. Ennusteen epävarmuuden vuoksi tehdään herkkyystarkastelu kotona asuvien muistisairaiden määrän kasvun vaikutuksesta henkilövahinkoihin. Tulokset on esitetty kuvassa 43.

a)



b)



Kuva 42. Tapahtumapuun tarkasteltavan ryhmän (muistisairaat) osuudesta henkilövahinkojen muodostumisessa vuonna 2010, jos pelastettujen osuus asuntoon jäävistä on a) 12,6 % ja b) 17,7 %.

Taulukko 30. Tapahtumapuun tulokset, kun tarkasteltava ryhmä on muistisairaat ja pelastettujen osuus asuntoon jäävistä on a) 12,6 % ja b) 17,7 %.

a)

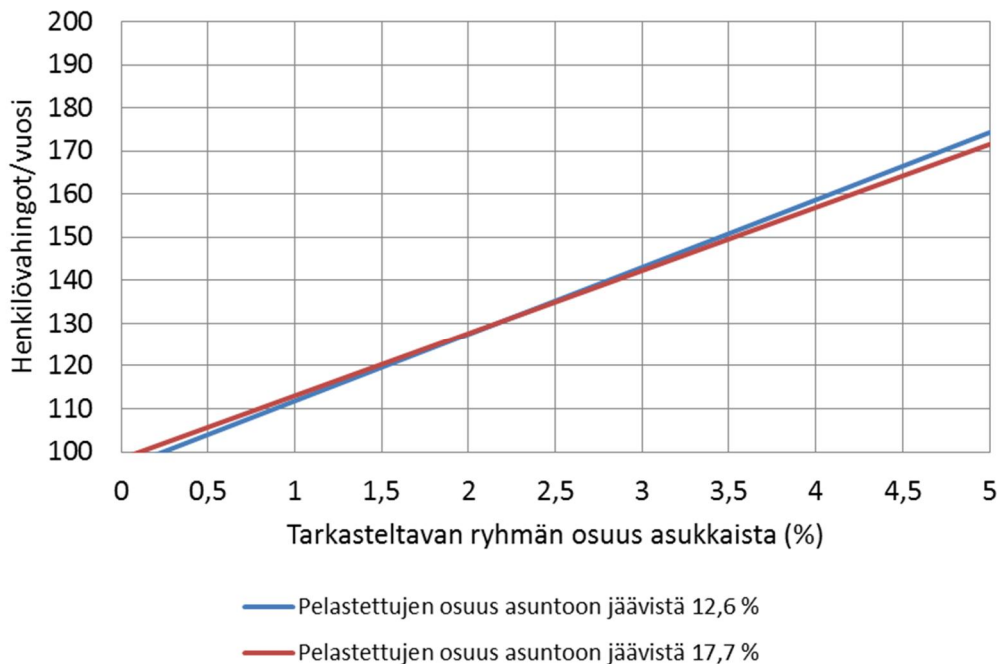
Tulokset	LKM	%
Yhteensä	2447	100,00
Ei kotona	549	22,44
Pelastuneet	1778	72,66
H-vahingot	120	4,90

Ryhmä	Tapahtuma	LKM	%
Muut	Poistui	1761	71,97
Muut	Pelastettiin	14	0,56
Muut	H-vahinko	95	3,87
Tarkasteltava ryhmä	Pelastettiin	4	0,15
Tarkasteltava ryhmä	H-vahinko	25	1,02

b)

Tulokset	LKM	%
Yhteensä	2447	100,00
Ei kotona	549	22,44
Pelastuneet	1778	72,66
H-vahingot	120	4,90

Ryhmä	Tapahtuma	LKM	%
Muut	Poistui	1752	71,58
Muut	Pelastettiin	21	0,85
Muut	H-vahinko	97	3,96
Tarkasteltava ryhmä	Pelastettiin	5	0,21
Tarkasteltava ryhmä	H-vahinko	23	0,96



Kuva 43. Muistisairaiden osuuden vaikutus henkilövahinkojen määrään olettaen että pelastettujen osuus asuntoon jäävistä on 12,6 % tai 17,7 %. Suorien meneminen ristiin johtuu siitä, että kussakin laskennassa asuntoon jäävien osuus muista kuin tarkasteltavan ryhmän jäsenistä säädettiin siten, että tulokset vastasivat PRONTO-tietoa henkilövahinkojen määrästä nykyisessä tilanteessa, eli jos pelastettujen osuuden oletettiin oleva suurempi, pelastettavien osuuden oletettiin olevan vastaavasti pienempi. Kuvan kaksi käyrää edustavat siten kahta vaihtoehtoista mallia tilanteelle ja kuvasta nähdään, että pelastettujen osuuden ollessa pienempi henkilövahinkojen määrä kasvaa voimakkaammin tarkasteltavan ryhmän osuuden kasvaessa.

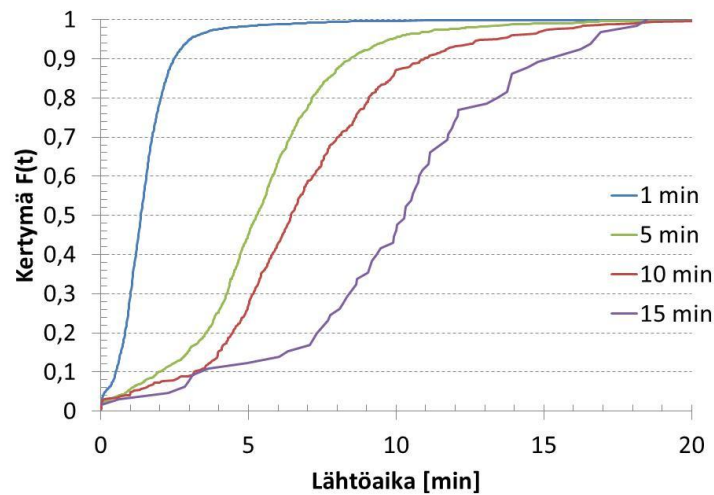
6.6 Lähtöajan vaikutus

Lähtöaikojen suhteen tehtiin erilaisia tarkasteluja, joiden avulla voidaan vertailla eroavaisuuksia erityyppisillä alueilla, kuten kaupunkikeskittymissä, joissa pääosa pelastuslaitoksista on päätoimisia ja haja-asutusalueilla, joissa pääosa on sopimuspalokuntia.

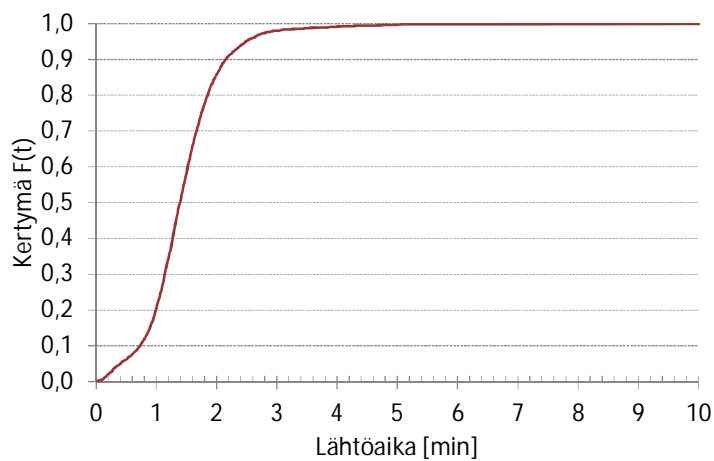
Asiaa tarkasteltiin selvittämällä Pirkanmaan pelastuslaitoksen alueella eri lähtöaikavaatimuksilla toimivien pelastusyksiköiden toteutuneita lähtöaikoja rakennuspaloissa ja rakennuspalovaaroissa vuosina 2009–2012. Lähtöaikojen kertymäkuvaajat on esitetty kuvassa 44a. Lähtöaikojen mediaanit on esitetty taulukossa 31. Vertailun vuoksi lähtöajat määritettiin samalta aikaväliltä ja samojen onnettomuustyyppien osalta myös Helsingin pelastuslaitoksen pelastusyksiköille kuvassa 44b. Helsingin pelastuslaitoksen pelastusyksiköiden lähtöajan mediaani oli 83 s.

Taulukko 31. Pirkanmaan pelastuslaitoksen alueella eri lähtöaikavaatimuksella toimivien pelastusyksiköiden lähtöaikojen mediaanit.

Lähtöaikavaatimus	Lähtöajan mediaani
1 min	82 s
5 min	5,3 min
10 min	6,4 min
15 min	10,3 min



a)



b)

Kuva 44. a) Pirkanmaan pelastuslaitoksen alueella eri lähtöaikavaatimuksella toimivien pelastusyksiköiden lähtöaikajakaumat. b) Helsingin pelastuslaitoksen pelastusyksiköiden lähtöaikajakauma.

Jos tulos on, että esim. A:n ja B:n lähtöaikojen välillä on eroa keskimäärin X min, niin kuvasta 28 nähdään mitä tämä merkitsee henkilövahinkojen todennäköisyyden kannalta ja kuvasta 34a, mitä tämä merkitsee omaisuusvahinkojen kannalta. Esim. 3 min lisäys lähtöaikaan riskiluokassa 1 kasvattaa operaatio-aikaa vastaavasti 3 min, mikä lisää vakavien henkilövahinkojen todennäköisyyttä n. 3,5 %-yksikköä ja kasvattaa keskimääräistä tuhoutunutta pinta-alaa n. 5 m².

6.7 Henkilövahingot PRONTO:ssa

PRONTO:n tilastoaineistoa käytiin läpi Helsingin ja Pirkanmaan rakennuspaloista vuosilta 2009–2012 tavoitteena selvittää, kuinka paljon pelastuslaitos on pelastanut ihmisiä asuntopaloissa ja kuinka paljon niissä tilastojen mukaan on tapahtunut henkilövahinkoja. Henkilövahingoilla tarkoitettiin tässä yhteydessä kuolleiden ja vakavasti loukkaantuneiden määrää. Erityisesti pyrittiin selvittämään PRONTO:on kirjattu-

jen tietojen perusteella se, kuinka moni pelastetuista ja kuolleista tai vakavasti loukkaantuneista henkilöistä on palokunnan saapuessa ollut asunnossa. Arviot tehtiin perustuen PRONTO:n vapaisiin tekstikenttiin, joissa pelastustoiminnan johtaja kirjaa kuvauksen onnettomuustilanteen kehittymisestä sekä selvityksen pelastuslaitoksen toiminnasta ja tuloksellisuudesta. Lisäksi hyödynnettiin pelastustoiminnan johtajan tekemiä kirjauksia onnettomuudessa kuolleiden, vakavasti loukkaantuneiden sekä pelastettujen lukumääristä. Tarkastelussa huomioitiin vain ne tulipalot, jotka olivat syttyneet asuinhuonetiloissa tai levinneet niihin.

Henkilö katsottiin pelastuslaitoksen pelastamaksi, mikäli PRONTO:on täytettyjen tietojen perusteella voitiin arvioida, että ilman pelastuslaitoksen toimintaa henkilö olisi tilanteen edetessä todennäköisesti kuollut tai loukkaantunut vakavasti. Tällaisiksi määritettiin vain ne tapaukset, joissa asia oli pääteltävissä tekstikenttiin tehtyjen kirjausten perusteella. Mikäli kirjaus puuttui, henkilöitä ei merkitty pelastuslaitoksen pelastamiksi. Pelastuslaitoksen pelastamiksi ei katsottu myöskään sellaisia tapauksia, joissa asukkaita oli kehoitettu pysymään omissa asunnoissaan tai joissa henkilö poistui omatoimisesti tai esim. naapurin auttamana ilman pelastuslaitoksen toimenpiteitä tai pelastettiin ensihoitohenkilöstön toimesta. Eri viranomaisen vastaa ensihoidosta, jonka vuoksi ensihoitohenkilöstön pelastamat henkilöt rajattiin tarkastelun ulkopuolelle. Eri puolilla maata on erilaisia käytäntöjä siinä, toimiiko pelastuslaitos ensihoitopalvelun tuottajana vai ei.

Vakavasti loukkaantuneiksi kirjattiin sekä Pirkanmaan että Helsingin osalta kaikki ne henkilöt, jotka pelastustoiminnan johtaja oli merkinnyt vakavasti loukkaantuneiksi. Näiden kirjausten lisäksi Helsingin alueen osalta vakavasti loukkaantuneiden lukumäärää täydennettiin sellaisilla tapauksilla, joissa kohteeseen oli hälytetty päivystävä ambulanssilääkäri tai lääkinnän kenttäjohtaja tai pelastettu henkilö oli kuljettu tulipalossa saatujen vammojen vuoksi Meilahden tai Töölön sairaalaan. Näitä henkilöitä oli yhteensä 6 kpl.

Tarkastelun perusteella Pirkanmaan pelastuslaitoksen alueella vuosina 2009–2012 tapahtuneissa asuinrakennuspaloissa syttymisasunnossa kuoli 12 henkilöä ja loukkaantui vakavasti 8 henkilöä (yhteensä 20 henkilöä). Vakavasti loukkaantuneiden lisäksi asuinrakennuspaloista pelastettiin syttymisasunnosta 11 henkilöä. Kun pelastettujen lukumäärässä huomioidaan myös vakavasti loukkaantuneet, pelastettujen prosentuaalinen lukumäärä syttymisasuntoon jääneistä henkilöistä oli 61 % (19/31) ja kuolleiden vastaavasti 39 % (12/31). Tässä tutkimushankkeessa laskennalliset henkilövahingot kattavat sekä kuolleet että vakavasti loukkaantuneet, jolloin tulosten vertailu tehdään kuolleiden ja vakavasti loukkaantuneiden prosentuaaliseen osuuteen, joka oli tilastotarkasteluissa 65 % (20/31) syttymisasuntoon jääneistä henkilöistä. Tarkastelussa ei ole huomioitu muualla kuin syttymisasunnossa tapahtuneita kuolemia, vakavia loukkaantumisia ja pelastettuja.

Tarkastelun perusteella Helsingin pelastuslaitoksen alueella vuosina 2009–2012 tapahtuneissa asuinrakennuspaloissa syttymisasunnossa kuoli 11 henkilöä ja loukkaantui vakavasti 23 henkilöä (yhteensä 34 henkilöä). Vakavasti loukkaantuneiden lisäksi asuinrakennuspaloista pelastettiin syttymisasunnosta 16 henkilöä. Kun pelastettujen lukumäärässä huomioidaan myös vakavasti loukkaantuneet, pelastettujen prosentuaalinen lukumäärä syttymisasuntoon jääneistä henkilöistä oli 78 % (39/50) ja kuolleiden vastaavasti 22 % (11/50). Tässä tutkimushankkeessa laskennalliset henkilövahingot kattavat sekä kuolleet että vakavasti loukkaantuneet, jolloin tulosten vertailu tehdään kuolleiden ja vakavasti loukkaantuneiden prosentuaaliseen osuuteen, joka oli tilastotarkasteluissa 68 % (34/50) syttymisasuntoon jääneistä henkilöistä. Tar-



kastelussa ei ole huomioitu muualla kuin syttymisasunnossa tapahtuneita kuolemia, vakavia loukkaantumisia ja pelastettuja.

PRONTO:on täytettyjen tietojen perusteella ei useissa tapauksissa pystytty kuitenkaan yksiselitteisesti todentamaan oliko pelastettu ollut asunnossa vai sen ulkopuolella, mikä vaikeuttaa johtopäätösten tekemistä. Tilastotulokset poikkeavat mallin antamista tuloksista, mutta todellisen eron selvittämiseksi tarvittaisiin tarkempaa tilastoitua tietoa pelastetuista. Lisäksi tarkasteluun tulisi ottaa mukaan useampia erilaisia pelastustoimen alueita Helsingin ja Pirkanmaan lisäksi.

7 Yhteenveto ja johtopäätökset

7.1 Tulokset

7.1.1 Tavoite ja rajaukset

Tässä tutkimuksessa muodostettiin arvio vakavien henkilövahinkojen (sis. kuolleet ja vakavasti loukkaantuneet) ajalliselle kertymiselle asuntopaloissa sekä omaisuusvahinkojen laajuuden riippuvuudelle palokunnan saapumishetkestä. Lisäksi rakennettiin operaatioaikamalli pelastustoiminnan ajalliselle etenemiselle. Edellä mainitut mallit yhdistämällä muodostettiin ennusteita asuntopalojen henkilö- ja omaisuusvahinkojen todennäköisyyksille erilaisissa tilanteissa sekä arvioita toimintavalmiuden vaikutuksesta näihin todennäköisyyksiin.

Tarkastelu rajattiin koskemaan asuntopaloja. Laskennallisessa mallissa käsiteltiin vain syttymisasuntoa ja syttymisasunnossa tapahtuneita henkilövahinkoja. Esimerkiksi porraskäytävässä ja rakennuksen muissa asunnoissa mahdollisesti muodostuvien uhkaavien olosuhteiden tai henkilövahinkojen syntyminen oli rajattu tutkimuksen ulkopuolelle.

Pelastustoimen tilastoissa (PRONTO) aikajaksolla 2009–2012 asuinrakennuspalojen osuus oli noin 1,5 % pelastustoimen tehtävistä. Pelastustoimen tehtävissä kirjatuista vakavista henkilövahingoista 6 % tapahtui rakennuspalloissa. Rakennuspalloissa kirjatuista vakavista henkilövahingoista noin 88 % ja omaisuusvahingoista noin 37 % tapahtui asuinrakennusten paloissa.

7.1.2 Henkilövahingot

7.1.2.1 Laskennallisen mallin tulokset, sprinklaamaton tapaus

Vakavien henkilövahinkojen (sis. kuolleet ja vakavasti loukkaantuneet) kertyminen ajan suhteen syttymisasunnossa arvioitiin tutkimusohjelmassa ”Palokuolemien ehkäisykeinojen vaikuttavuuden arviointi” (Keski-Rahkonen ym. 2009a) FDS-ohjelmalla tehtyjen asuntopalosimulointien tulosten perusteella. Vakavan henkilövahingon kriteerinä pidettiin arvoja $FED \geq 1$ tai $T \geq 200^\circ\text{C}$ mittapisteen ollessa 1,6 m korkeudella lattiatasosta. Arvo $FED = 1$ kuvaa altistusta, jossa n. puolet ihmisistä saa poistumista vakavasti haittaavia vaikutuksia palokaasuista. Yli 200°C lämpötilat aiheuttavat ihmisen hengitysteiden vahingoittumisen. Yleisesti ottaen tässä hankkeessa käytetyt simuloidut tulipalot vastasivat asuntopaloja, jotka leviävät syttymiskohdastaan ja etenevät lieskahdukseen jollakin aikavälillä. Palojen vakavuutta kuvaa se, että simulointien perusteella muodostetun vakavien henkilövahinkojen (kuolleet ja vakavasti loukkaantuneet) kertymäkäyrän kuvaamassa otoksessa 65 %:ssa asuntopaloista poistumista haittaavat olosuhteet syntyivät ensimmäisten 5 min aikana ja 80 %:ssa ensimmäisten 10 min aikana.

Riskiluokan I alueille muodostetun operaatioaikamallin tulosten perusteella pelastuslaitos sai henkilön ulos asunnosta 50 %:ssa tapauksista alle 17 min kuluttua palon syttymisestä. Todennäköisyys sille, että hetkellä jolloin pelastuslaitos tuo henkilön ulos asunnosta, vakava henkilövahinko (kuolema tai vakava loukkaantuminen) on jo syntynyt, on n. 80 %. Jos operaatioaika lyhenisi tai pitenisi yhdellä minuutilla, vakavien henkilövahinkojen (sis. kuolleet ja vakavasti loukkaantuneet) todennäköisyys vähenisi tai kasvaisi vastaavasti n. yhdellä prosenttiyksiköllä. Operaatioaika tarkoittaa nyt koko aikaviivettä palon syttymisestä siihen, että henkilö on saatu ulos asunnosta. Tulokset laskettiin vastaavalla tavalla muillekin riski-

luokille. Mallin antamien vakavien henkilövahinkojen (sis. kuolleet ja vakavasti loukkaantuneet) todennäköisyydet riskiluokissa I, II, III ja IV hetkellä, jolloin henkilö on pelastuslaitoksen toimesta saatu ulos asunnosta, ovat n. 80 %, 81 %, 83 % ja 87 %. Vakavien henkilövahinkojen (sis. kuolleet ja vakavasti loukkaantuneet) todennäköisyyden riippuvuus operaatioajasta on muissa riskiluokissa noin prosenttiyksikön luokkaa minuuttia kohden, riskiluokassa IV hieman vähäisempi kuin muissa.

7.1.2.2 Laskennallisen mallin tulokset, sprinklattu tapaus

Sprinklatussa tapauksessa vakavien henkilövahinkojen (sis. kuolleet ja vakavasti loukkaantuneet) kertyminen ajan suhteen arviointiin tutkimushankkeen Asuntosprinklaus Suomessa. Vaikuttavuuden arviointi. Osa 2 (Vaari ym. 2010) yhteydessä tehtyjen täyden mittakaavan kokeiden mittaustulosten perusteella. Vakavan henkilövahingon kriteerinä pidettiin arvoja $FED \geq 1$ tai $T \geq 200^\circ\text{C}$ mittapisteen ollessa 1,8 m korkeudella lattiatasosta.

Vakavien henkilövahinkojen todennäköisyys osoittautui sprinklatussa tapauksessa kaiken kaikkiaan huomattavasti alhaisemmaksi kuin sprinklaamattomassa. Kun sprinklaamattomassa tapauksessa vakavan henkilövahingon todennäköisyydeksi hetkellä, jolloin henkilö on saatu ulos asunnosta, saatiin riskiluokan I alueilla 80 %, sprinklatussa tapauksessa se oli 0,9 %. Tulokset laskettiin vastaavalla tavalla muillekin riskiluokille ja todennäköisyydet olivat vastaavasti riskiluokan II alueilla 1,9 %, riskiluokan III alueilla 4,5 % ja riskiluokan IV alueilla 16 %. Tuloksista nähdään, että sprinklatussa tapauksessa riskiluokassa IV henkilövahinkojen todennäköisyys on monikertainen muihin riskiluokkiin verrattuna ja myös herkkyys operaatioajan pituudelle on nyt suurempi kuin muissa riskiluokissa. Esim. operaatioajan lyhentäminen yhdellä minuutilla riskiluokassa IV pienentäisi henkilövahinkojen todennäköisyyttä 1,7 prosenttiyksikköä ja riskiluokassa I vain 0,3 prosenttiyksikköä. Sprinklatussa riskiluokan IV asuinrakennuksessa henkilövahingot syntyivät pelastustoiminnan kokonaisaikaviiveen loppupuolella, jolloin operaatioajan lyhentämisen vaikuttavuus oli suurempi.

7.1.2.3 Kuolleiden ja vakavasti loukkaantuneiden osuus asuntoon jääneistä henkilöistä pelastustoimen tilastoissa (PRONTO)

Kun PRONTO:n tilastoaineistoa käytiin läpi Helsingin ja Pirkanmaan rakennuspaloista vuosilta 2009–2012, havaittiin, että pelastuslaitoksen pelastamia henkilöitä, jotka eivät kuolleet tai loukkaantuneet vakavasti, oli näissä paloissa noin 32–35 % asuntoon jääneistä henkilöistä. Tarkastelussa eivät olleet mukana rakennuspaloaaroista pelastetut. Kun pelastettujen lukumäärässä huomioidaan myös vakavasti loukkaantuneet, pelastettujen prosentuaalinen osuus asuntoon jääneistä henkilöistä oli 61–78 %.

Tässä tutkimushankkeessa laskennalliset henkilövahingot kattoivat sekä kuolleet että vakavasti loukkaantuneet, jolloin tulosten vertailu tehdään kuolleiden ja vakavasti loukkaantuneiden prosentuaaliseen osuuteen, joka tilastotarkasteluissa oli Helsingissä 68 % ja Pirkanmaalla 65 %. PRONTO:on täytettyjen tietojen perusteella ei useissa tapauksissa pystytty yksiselitteisesti todentamaan, oliko pelastettu ollut asunnossa vai sen ulkopuolella, mikä vaikeuttaa johtopäätösten tekemistä.

7.1.2.4 Laskennallisen mallin tulosten ja pelastustoimen tilastoista saatujen tulosten vertailu

Operaatioaikamallin tulosten perusteella pelastuslaitos ehtii simulointien kaltaisissa asuntopaloissa pelastaa nopealla toiminnallaan riskiluokasta riippuen noin 13–20 % asuntopaloissa syttymisasuntoon jääneistä henkilöistä kuolemalta tai vakavalta loukkaantumiselta. Minuutin muutos operaatioajassa vastaa noin yhtä prosenttiyksikköä. Tilastotarkastelu osoitti, että Helsingissä ja Pirkanmaalla niiden osuus, jotka pelastuslaitos pelastaa kuolemalta tai vakavalta loukkaantumiselta, on laskennallisen mallin arvioimaa tulosta jonkin verran suurempi (32–35 %). Ero voi johtua esimerkiksi laskennallisessa mallissa käytettyjen henkilövahinkojen syntymismallin tai arvioitujen pelastuslaitoksen aikaviiveiden konservatiivisuudesta, joka johtaa konservatiiviseen arvioon laskennallisesta pelastettujen osuudesta. Toisaalta, jotta valtakunnallisen laskennallisen mallin tuloksia voitaisiin kattavasti verrata todelliseen tilanteeseen, tarvittaisiin tarkempaa, useampia erilaisia pelastustoimen alueita kattavaa tilastoitua tietoa pelastetuista sekä arviot siitä, miten simuloitut tulipalot vastaavat todellisuudessa tapahtuneita tulipaloja.

Herkkyystarkastelussa riskiluokan I alueille muodostettua mallia muutettiin siten, että laskennallisten vakavien henkilövahinkojen osuus syttymisasuntoon jääneistä henkilöistä olisi 40 %. Tässä tapauksessa 1 min muutos operaatioajassa kasvattaisi tai vähentäisi kuoleman tai vakavan loukkaantumisen todennäköisyyttä noin 3 prosenttiyksikköä.

7.1.2.5 Johtopäätökset henkilövahingoista

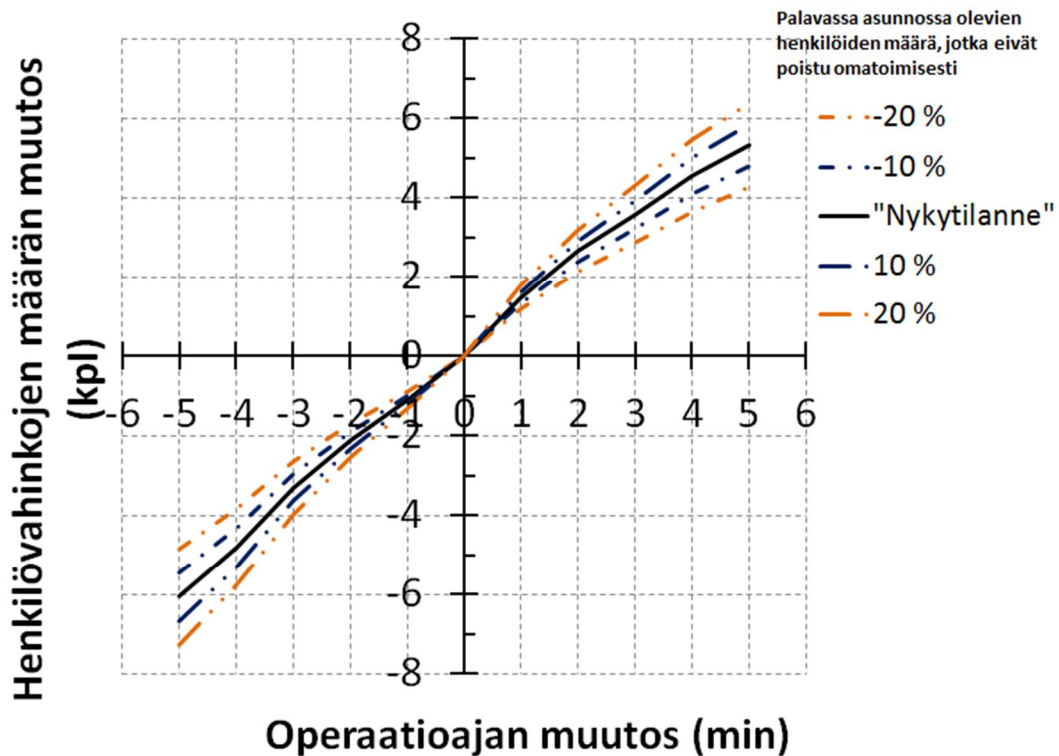
Laskennallisessa mallissa käsiteltiin syttymisasuntoa ja syttymisasunnossa tapahtuneita henkilövahinkoja. Operaatioaikamallin tulosten perusteella pelastuslaitos ehtii simulointien kaltaisissa tulipaloissa pelastaa nopealla toiminnallaan riskiluokasta riippuen noin 13–20 % asuntopaloissa syttymisasuntoon jääneistä henkilöistä kuolemalta tai vakavalta loukkaantumiselta. Tilastotarkastelujen perusteella prosenttiosuus oli noin 32–40 %. Laskennallisten mallien antamiin tuloksiin sisältyy aina epävarmuutta eikä todellisista tulipaloista ole käytettävissä sellaisia tilastotietoja, että voitaisiin arvioida, vastaavatko simuloitut tulipalot vakavuudeltaan tilastoissa rakennuspaloiksi kirjattuja asuntopaloja. Simuloitujen tulipalojen vakavuudesta kertoo se, että 65 %:ssa asuntopaloista poistumista haittaavat olosuhteet syntyivät ensimmäisten 5 minuutin aikana ja 80 %:ssa ensimmäisten 10 min aikana. Näin ollen laskennallisen mallin antamaan, kuolemalta tai vakavalta loukkaantumiselta pelastettujen henkilöiden prosentuaalisen osuuden absoluuttiseen arvoon tulee suhtautua kriittisesti, huomioiden laskelmissa tehdyt lähtöoletukset. Laskennallisen mallin tulosten perusteella minuutin muutos operaatioajassa muuttaa arviota vakavien henkilövahinkojen määrästä noin yhdellä prosenttiyksiköllä. Jos henkilövahinkojen syntymisen aikariippuvuutta muutetaan riskialueella I siten, että 40 % syttymisasuntoon jääneistä henkilöistä ehditään pelastaa kuolemalta tai vakavalta loukkaantumiselta, minuutin muutos operaatioajassa muuttaa arviota vakavien henkilövahinkojen määrästä noin kolmeen prosenttiyksikköön.

Kuolemien ja vakavien loukkaantumisten määrä asuntopaloissa on ollut vuosina 2009–2012 keskimäärin 120 henkilöä vuodessa. Henkilövahingoista 22 % tapahtui riskiluokan I alueilla, 41 % riskiluokan II, 9 % riskiluokan III ja 29 % riskiluokan IV alueilla. Mikäli oletetaan vuotuisten vakavien henkilövahinkojen olevan 120 henkilöä ja että ne jakautuisivat riskialueittain edellä mainitulla tavalla, 1 min muutos operaatioajassa kasvattaisi/vähentäisi vakavien henkilövahinkojen määrää riskialueella I noin 0,3–0,4 henkilöllä. Kaikki riskiluokat huomioiden 1 min vaikutus vakavien henkilövahinkojen määrään olisi siten 1–2 henki-

lää. Operaatioajan muutosten vaikutus vuotuisten henkilövahinkojen määrän muutokseen on esitetty kuvassa 45.

Herkkyystarkasteluissa mallia muutettiin siten, että riskialueella I 40 % syttymisasuntoon jääneistä henkilöistä ehdittiin pelastaa kuolemalta tai vakavalta loukkaantumiselta. Tässä tapauksessa 1 min muutos operaatioajassa kasvattaisi/vähentäisi vakavien henkilövahinkojen määrää riskialueella I noin 0,7–0,9 henkilöä.

Sprinklauksen huomioiminen laskennallisessa mallissa pudotti vakavan henkilövahingon todennäköisyyden merkittävästi alemmaksi antaen lisää aikaa asuntoon jääneiden henkilöiden pelastamiseksi.



Kuva 45. Operaatioajan muutosten vaikutus vuotuisten vakavien henkilövahinkojen (sis. kuolleet ja vakavasti loukkaantuneet) määrään olettaen, että vuotuinen vakavien henkilövahinkojen kokonaismäärä on 120 kpl. Eri käyrät kuvaavat tuloksen muuttumista, mikäli niiden asukkaiden määrä, jotka eivät poistu palavasta asunnosta pienenee tai kasvaa.

Johtopäätöksiä tulkittaessa on huomattava, että tarkastelu kattaa asuntopalot, jotka kehittyvät simuloituja tilanteita vastaavasti. Simuloinneissa huomioitiin erilaisia, hitaammin ja nopeammin kehittyviä asuntopaloja, mutta niiden jakauma ja vastaavasti poistumista haittaavien olosuhteiden muodostumista kuvaava jakauma eivät välttämättä täysin vastaa todellisuutta.

7.1.2.6 Esimerkkilaskelma kotihoidon asiakkaiden ja muistisairaiden lukumäärien muutosten vaikutuksesta henkilövahinkojen määrään

Operaatioaikamallin avulla saadaan määrällinen arvio toimintavalmiuden vaikuttavuudesta yksilöriskiin, ts. siihen, millä todennäköisyydellä palavassa asunnossa oleva henkilö pelastetaan kuolemalta tai vakavalta loukkaantumiselta, mikäli hän ei itse jostakin syystä pysty poistumaan. Tapahtumapuiden avulla voidaan arvioida mitä em. yksilöriski tarkoittaa koko yhteisön kannalta; ts. voidaan arvioida toimintavalmiuden tai muiden seikkojen vaikutusta yhteisölliseen riskiin.

Esimerkkeinä tällaisista tarkasteluista tutkittiin kotihoidon asiakkaiden ja keskivaikeasti tai vaikeasti muistisairaiden määrän vaikutusta vakavien henkilövahinkojen kokonaismäärään vuoden aikana koko Suomessa. Vakavilla henkilövahingoilla tarkoitettiin nyt palokuolemia tai vakavia loukkaantumisia, joiden määrä PRONTO-tietojen perusteella oli vuosina 2009–2012 vuotta kohden keskimäärin 120.

Kotihoidon asiakkaiden oletettiin olevan kykenemättömiä itsenäiseen poistumiseen, jos he olivat ”toistuvan”, ”lähes jatkuvan” tai ”jatkuvan” hoidon tarpeessa. Tapahtumapuutarkastelun avulla määritettiin se, miten vakavien henkilövahinkojen (kuolemat ja vakavat loukkaantumiset) määrä kasvaa suhteessa tarkasteluryhmään kuuluvien asukkaiden määrän kasvuun. Esimerkiksi kun oletettiin, että tämän tarkasteltavan ryhmän osuus väestöstä kasvaa samassa suhteessa kuin vähintään 65-vuotiaiden osuus ennusteissa ja muut asiat (kotona asuvien osuus, palojen määrä) pysyvät samoina, saatiin tulokseksi, että vakavien henkilövahinkojen määrä kasvaisi tarkasteltavan ryhmän kasvun myötä vuoteen 2060 mennessä 120:stä 130:een. Muidenkin em. seikkojen (kotona asuvien osuus, palojen määrä) vaikutusta voitaisiin tarkastella vastaavalla tavalla, jos niistä olisi olemassa ennuste.

Keskivaikeasti tai vaikeasti muistisairaiden osalta oletettiin lisäksi, etteivät he myöskään kykene soittamaan hätäkeskukseen, mistä aiheutuu lisäviive operaatioaikaan. Kyseiseen ryhmään kuuluvien henkilöiden määrän kaksinkertaistuminen, jonka on oletettu tapahtuvan vuoteen 2025 mennessä, aiheuttaisi tapahtumapuutarkastelun perusteella vakavien henkilövahinkojen (kuolemat ja vakavat loukkaantumiset) kasvun 120:stä 140:een.

7.1.3 Omaisuusvahingot

7.1.3.1 Laskennallisen mallin tulokset

Omaisuusvahinkojen kertymisen aikariippuvuutta arvioitiin PRONTO-tietojen perusteella. Toisin kuin henkilövahinkojen yhteydessä tarkasteluissa jätettiin huomioimatta aika palon syttymisestä siihen, kun ilmoitus tulee hätäkeskukseen.

PRONTO:n tiedot syttymishuoneista ja laadulliset arviot palon leviämisestä palokunnan saapuessa ja tilanteen lopussa yhdistettiin ”Palokuolemien ehkäisykeinojen vaikuttavuuden arviointi” -hankkeessa kerättyyn tietoon huoneiden pinta-aloista ja Väestörekisterikeskuksen ylläpitämän väestötietojärjestelmän (VTJ) tietoihin asuntojen pinta-aloista. Näiden tietojen avulla tuotettiin omaisuusvahingon määrällinen arvio.

Tarkasteluissa keskimääräinen tuhoutunut pinta-ala riskiluokissa I, II, III ja IV oli 27 m², 42 m², 61 m² ja 81 m² vastaavasti. Operaatioajan systemaattinen muutos ± 5 min vaikuttaisi em. keskiarvoon kussakin

riskiluokassa $n. \pm 6-7 \text{ m}^2$, mikä riskiluokissa I, II, III ja IV vastaa 22–26 %, 14–17 %, 9–11 % ja 7–9 % keskimääräisestä tuhoutuneesta pinta-alasta. Omaisuusvahinkojen määrällisiin arvioihin sisältyy epävarmuutta, joka liittyy mm. operaatioajan alkuosan (syttyminen–ilmoitus hätäkeskukseen) huomiotta jättämiseen, asuntojen pinta-alojen ja syttymistiheyden välisen korrelaation huomiotta jättämiseen sekä siihen, että ”Palokuolemien ehkäisykeinojen vaikuttavuuden arviointi” -hankkeen asuntotietokannan huonepinta-alojen jakauma ei välttämättä vastaa kaikkien palon kohteena olevien asuntojen huonepinta-aloja.

Laadullisten palon leviämisarvioiden tarkastelusta nähdään, että palon laajuus (tila) riippuu operaatioajasta. Operaatioajan systemaattinen kasvattaminen vähentää niiden tapausten määrää, joissa tuhoutunut pinta-ala on pieni ja kasvattaa niiden tapausten määrää, joissa se on suuri. Suurimmassa osassa tapauksia palo ei enää leviä palokunnan saapumisen jälkeen, joten palokunnan toiminnalla leviäminen saadaan pysäytettyä. Palokunnan saapumishetkellä on näin ollen oleellinen merkitys palon laajuuden kannalta.

7.1.3.2 Johtopäätökset omaisuusvahinkomallista

Kun tarkasteltiin omaisuusvahinkojen kertymisen riippuvuutta operaatioajasta pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilastojärjestelmään kirjattujen laadullisten arvioiden avulla, havaittiin, että palon laajuuden ja operaatioajan välillä on yhteys: operaatioajan systemaattinen kasvattaminen vähentää niiden tapausten määrää, joissa tuhoutunut pinta-ala on pieni ja kasvattaa niiden tapausten määrää, joissa se on suuri. Suurimmassa osassa tapauksista omaisuusvahinkojen määrä jäi sille tasolle, jossa se oli palokunnan saapessa, eli palokunnan toiminnalla pystyttiin useimmiten estämään palon leviäminen laajemmalle. Tarkasteluissa keskimääräinen tuhoutunut pinta-ala riskiluokissa I, II, III ja IV oli 27 m^2 , 42 m^2 , 61 m^2 ja 81 m^2 . Operaatioajan systemaattinen muutos ± 5 min muuttaisi edellä mainittua keskimääräistä tuhoutunutta pinta-alaa riskiluokassa I 22–26 %, riskiluokassa II 14–17 %, riskiluokassa III 9–11 % ja riskiluokassa IV 7–9 %. Tutkimuksessa tehtyihin määrällisiin arvioihin omaisuusvahinkojen suuruudesta tulee suhtautua kriittisesti tarkastelujen sisältämien epävarmuustekijöiden vuoksi.

7.2 Mihin mallia voi käyttää

Kuten edellä esitetyistä esimerkeistä nähdään, operaatioaikamallia voidaan käyttää henkilövahinkojen todennäköisyyden ja omaisuusvahinkojen pinta-alajakauman määrittämiseen tietyytyppisten palojen yhteydessä. Lisäksi operaatioaikamallilla voidaan arvioida erilaisten seikkojen (riskiluokka, sprinklaus, lähtöaika, ilmoitusaika) vaikutusta em. vahinkotodennäköisyyksiin ja -jakaumiin.

7.3 Mallin epävarmuudet

Henkilövahinkojen osalta tarkastelun kohteena olivat nyt ”Palokuolemien ehkäisykeinojen vaikuttavuuden arviointi” -projektissa simuloitut palot. Simulointeihin liittyy aina suuria epävarmuuksia. Tässä projektissa henkilövahinkojen ajallinen kertyminen sekä paloilmaisimen ja sprinklerin reagointiaika (=havaitsemisaika) määritettiin palosimulointien perusteella. Näiden aikojen muodostuminen yksittäisen deterministisen palosimuloinnin yhteydessä sisältää jo itsessään epävarmuutta, joka johtuu parametrien vaihteluun sekä laskentaan ja valittuihin kriteereihin sisältyvästä epätarkkuudesta. Suurempi epävarmuus kuitenkin aiheutuu siitä, kuvaako todennäköisyyspohjaisesti simuloitu otos haluttua todellisuutta; ts. vastaa ko simuloitu jakauma asuntojen todellista jakaumaa kohdealueella ja vastaavatko kyseisissä asunnoissa simuloitut palot niitä paloja, jotka ovat tutkimuksen kohteena. Esim. kuvan 7 henkilövahinkokertymä kuvaa sellaista jakaumaa paloja, joista 8,2 %:ssa henkilövahinkoja ei valittujen kriteerien perusteella syn-

ny ja lopuissa 91,8 %:ssa paloista henkilövahinko syntyy kahden tunnin aikana kuvassa esitetyn kertymäkäyrän mukaisesti.

PFS-työkalussa on mahdollisuus tehdä sisäkkäisiä Monte Carlo -simulointeja siten, että esimerkiksi ensimmäisellä tasolla arvotaan palosimuloinnin realisaatiot ja toisella tasolla kullekin palosimuloinnin realisaatiolle pelastustoiminnan eli operaatioaikamallin realisaatiot. Tätä ominaisuutta ei kuitenkaan nyt voitu soveltaa, koska palosimuloinnit oli suoritettu etukäteen ja niistä hyödynnettiin vain valmiit jakaumat (paloilmaisimen ja sprinklauksen reagointiajat sekä henkilövahinkojen kertyminen). Em. seikasta johtuen kyseisten jakaumien välistä korrelaatiota ei voitu huomioida.

Henkilövahinkojen muodostumista sprinklatussa tilanteessa arvioitiin Asuntosprinklaus II –projektissa suoritettujen kokeiden perusteella. Kokeita oli rajallinen määrä, eikä niiden perusteella muodostettu henkilövahinkokertymä kuvaa kovin laajaa otosta sprinklatuista asunnoista, varsinkin, kun koe suoritettiin yhdessä huoneessa eikä erilaisissa asunnoissa. Muodostetun jakauman perusteella saadaan kuitenkin jonkin verran käsitystä sprinklatun ja sprinklaamattoman tilanteen eroista ja voidaan havainnollista mallin käyttötapaa erilaisten tilanteiden ja vaikuttavien tekijöiden arvioinnissa.

Vaikka olosuhteet palavassa asunnossa tunnettaisiin tarkasti, henkilövahinkojen syntymishetkeä ei voida tarkasti määrittää. Esim. jos henkilövahinko määritellään siten, että se on ”kuolema tai vakava loukkaantuminen” on vaikea asettaa tarkka raja sille mikä on ”vakava loukkaantuminen”. Lisäksi ihmiset ovat yksilöitä ja reagoivat olosuhteisiin eri tavoin. FED-indeksi, jota käytettiin yhtenä henkilövahingon kriteerinä, kertoo vain altistumisesta ja tutkimusten perusteella voidaan arvioida millä todennäköisyydellä ko. altistuminen aiheuttaa poistumista vakavasti haittaavia vaikutuksia. Tässä projektissa kriteerinä henkilövahingolle käytettiin arvoa FED=1, mikä vastaa tasoa, jolla 50 % altistuneista saa poistumista vakavasti haittaavia vaikutuksia.

Myös tilastotietoihin sisältyy korrelaatioita, joita valitussa lähestymistavassa ei voitu huomioida. Esim. ihmisten ajankäytön ja toimintakyvyn välillä olevaa yhteyttä ei voitu huomioida, koska ajankäyttöä ei ollut tutkimuksessa jaoteltu toimintakyvyn vaan iän perusteella. Tapahtumapuita käytettäessä perusongelmana onkin usein se, että kaikkien haarojen todennäköisyyksien määrittämiseen ei ole käytettävissä riittävän yksityiskohtaisia tilastotietoja, minkä vuoksi tilannetta joudutaan usein yksinkertaistamaan huomattavasti.

PRONTO-tietoihin liittyy asioiden kirjaamiseen/kirjaamatta jättämiseen sekä oikeaan kirjaamiseen liittyvää epävarmuutta. Tätä epävarmuutta on käsitelty Pelastusopiston raportissa ”PRONTO:n luotettavuus” (Majuri & Kokki 2010), jossa todetaan mm. seuraavaa: ”Tulokset olivat pääosin hyviä, mutta joitakin ongelmakohtia löydettiin. Useimmiten virheitä oli onnettomuustyyppin valinnassa sekä vaarassa olleiden ja palokunnan pelastamien ihmisten kirjaamisessa. Rakennuspalot oli kirjattu pääosin oikein, mutta rakennuspalovaaroissa ja muissa tarkastus-/varmistustehtävissä havaittiin virheitä”. Tämän projektin yhteydessä havaittiin, että pienessä osassa tapauksista palon laajuuden kehittymistä oli PRONTO-tiedoissa kuvattu siten, että se oli palokunnan paikalla ollessa ”pienentynyt”; näissä tapauksissa palon aiheuttamien vahinkojen oletettiin pysyneen siinä laajuudessa, jossa ne olivat palokunnan saapuessa.

Ilmoitusaikaan (aika palon syttymisestä siihen, että tieto tulee hätäkeskukseen) sisältyvissä aikaviiveissä on suuret epävarmuudet, koska näistä aikaviiveistä ei ollut käytettävissä tilastotietoa. ”Ilmoitusaika” muodostettiin funktiona havaitsemisajasta, heräämisajasta, reagointiajasta ja hätäpuheluun kuluvasta ajas-

ta sekä naapurin ilmoitusajasta. Paloilmaisimen ja sprinklerin reagointiaikoja pystyttiin arvioimaan simulointien perusteella ja ihmisten heräämis- ja reagointiajoista oli käytettävissä tutkimuksiin perustuvaa kirjallisuustietoa, mutta muut aikaviiveet kuten havaitsemisaika ilman paloilmaisua, hätäpuheluun kuluva aika ja naapurin tai ohikulkijan ilmoitusaika jouduttiin muodostamaan asiantuntija-arviona. Naapurin tai ohikulkijan ilmoitusajalla on huomattavan suuri merkitys tuloksiin siinä tapauksessa, että asukas ei syystä tai toisesta itse pysty ilmoittamaan palosta hätäkeskukseen (taulukko 26).

7.4 Mallin rajoitukset

Henkilövahinkomallissa huomioitiin nyt vain asunnon sisällä tapahtuva palo ja vahinkojen kertyminen. Esim. palon ja/tai savun leviämistä kerrostalon rappukäytävää ja siitä aiheutuvaa henkilöriskiä ei huomioitu lainkaan. Tämän riskin huomioiminen valittua lähestymistapaa käyttäen edellyttäisi kokonaisten kerrostalojen palosimulointia vastaavalla tavalla todennäköisyyspohjaisesti, jolloin saataisiin henkilövahinkojen ajallinen kertymä kerrostalon käytävillä. Tämän lisäksi pitäisi simuloida todennäköisyyspohjaisesti kaikkien otoksessa olevien talojen asukkaiden poistumista asunnoistaan käytävään, jolloin em. tulokset yhdistämällä saataisiin ajasta riippuva todennäköisyysjakauma henkilövahinkojen syntymiselle käytävällä. Kun tämä yhdistettäisiin pelastustoiminnan operaatioaikamalliin, päästäisiin vastaavanlaisiin tuloksiin kuin nyt päästiin asunnossa tapahtuvien henkilövahinkojen osalta.

Henkilövahinkojen osalta tarkastelematta jätettiin myös ihmisten väliset yhteydet ja niiden vaikutus. Asuntojen asukkaat oletettiin yksilöiksi, jotka toimivat toisistaan riippumatta. Vastaavanlainen oletus tehdään yleensä myös esim. evakuointitarkasteluja tehtäessä, kun ryhmäkäyttäytymisestä ei ole olemassa tarpeeksi tietoa tai simulointimallissa ei ole välineitä ryhmäkäyttäytymisen huomioimiseen. Teoriassa olisi mahdollista luoda erillinen operaatioaikamalli jokaisen yksittäisen asukkaan käyttäytymiselle. Mallin rakentamiseen tarvittaisiin kuitenkin myös tutkittua tietoa asukkaiden käyttäytymisestä osana jotakin ryhmää, esim. perheessä tai tilanteessa, jossa toinen asukas on toimintakyvytön ja toinen omaishoitaja. Vaikka tällaista tietoa olisikin saatavilla, tämän asian syvempi tutkiminen ei tämän projektin puitteissa ollut mahdollista.

Käytetystä asuntopalojen simulointiaineistosta ei saatu omaisuusvahinkojen ajallisesta kertymisestä selkeää tietoa, että sitä olisi voitu käyttää operaatioaikamallin yhteydessä. Tämän vuoksi omaisuusvahinkojen kertymisen riippuvuutta pelastustoiminnan aikaviiveistä arvioitiin PRONTO-tietojen perusteella. PRONTO-tiedoista puuttuvat hätäkeskusilmoitusta edeltävät aikaviiveet sekä ensitoimenpiteisiin kuluva aika, joten näiden aikaviiveiden vaikutus jouduttiin tarkastelussa jättämään huomiotta.

Operaatioaikamallissa huomioitiin pelastustoimintaan liittyvät aikaviiveet aina siihen asti, kun kohteessa on vahvuus 1+3, jolloin varsinainen pelastustoiminta voidaan aloittaa. Tämän lisäksi huomioitiin asiantuntija-arvioiden perusteella henkilöiden pelastamiseen kuluva aika. Palon sammuttamiseen liittyvää toimintaa operaatioaikamallissa ei kuvattu, vaan arvio omaisuusvahinkojen lopputilanteesta perustui PRONTO:on kirjattuihin tietoihin palon laajuudesta palokunnan saapumishetkellä sekä tilanteen lopussa. Jos tarkastelu haluttaisiin tehdä simulointien perusteella, olisi simuloinneissa pystyttävä huomioimaan myös palokunnan toiminta ja sen vaikutus palon leviämiseen tai sen estämiseen. Tällöin operaatioaikamallissa pitäisi vastaavasti kuvata palontorjuntaan liittyviä aikaviiveitä. Muussa tapauksessa mallilla pystyttäisiin kuvaamaan tilannetta vain palokunnan saapumishetkeen asti.

Omaisuusvahingoissa rajoituttiin tarkastelemaan palon leviämistä. Savu- ja vesivahingot sekä murtautumiseen tai raivaukseen liittyvät vahingot jätettiin huomiotta. Savuvahinkojen osalta nyt tehdyn kaltainen tarkastelu PRONTO-tietojen perusteella olisi teoriassa mahdollinen.

7.5 Tarvittava jatkokehitys

Rakennetulla mallilla tehtiin projektin puitteissa rajallinen määrä tarkasteluja. Jatkotarkasteluja voidaan tehdä, kunhan määritetään kyseiseen tarkasteluun tarvittavat parametrit. Seuraavassa on lueteltu esimerkkejä mahdollisista jatkotarkasteluista sekä pohdittu mitä se kussakin tapauksessa käytännössä tarkoittaisi:

- Henkilövahinkojen ajallista kertymistä tarkasteltiin käyttäen ”Palokuolemien ehkäisykeinojen vaikuttavuuden arviointi” -projektissa tehtyjen simulointien perusteella muodostettua jakaumaa. Jos myöhemmin määritetään henkilövahinkojen ajallinen kertyminen jollakin muulla menetelmällä tai jollekin muulle otokselle asuntopaloja, voidaan kyseinen jakauma liittää operaatioaikamalliin vastaavalla tavalla kuin nyt tehtiin.
- Jos olosuhteiden muodostumisesta sprinklatussa palavassa asunnossa tai omaisuusvahinkojen ajallisesta kertymisestä asuntopaloissa saadaan uutta tietoa, voidaan tämä tieto liittää operaatioaikamalliin vastaavalla tavalla.
- Kustannusvaikutusanalyysi eri kehittämissivaihtoehtojen välillä. Tällaista tarkastelua voisi käyttää päätöksenteon apuvälineenä.

Mallia voidaan päivittää minkä tahansa parametriarvojen osalta vain yksinkertaisesti vaihtamalla kyseisen parametrin jakauma mallissa ja laskemalla tulokset uudestaan.

7.6 Muut mahdolliset sovellutuskohteet

Kehitettyä lähestymistapaa voitaisiin soveltaa muihinkin rakennuspaloihin. Esimerkiksi tarkasteltaessa palo- ja poistumisturvallisuutta kauppakeskusten, koulujen, toimistorakennusten ym. suurten kohteiden yhteydessä, olisi tarkempi tieto pelastuslaitoksen toimintaan liittyvistä aikaviiveistä tarpeen. Myös muidenkin onnettomuustyyppien tarkasteluun menetelmää voitaisiin soveltaa edellyttäen, että tilanteen ajallisesta kehityksestä on käytettävissä riittävästi tietoa. Esim. liikenneonnettomuudessa tapahtuvien henkilövahinkojen yhteydessä tämä tarkoittaisi, että pystyttäisiin kuvaamaan potilaan voinnin kehitystä ajan suhteen todennäköisyyspohjaisesti.

Lähdeluettelo

- Bruck, D. & Thomas, I., 2008. Towards a Better Smoke Alarm Signal – an Evidence Based Approach. In: Karlsson, B. (ed.). *Fire Safety Science – Proceedings of the Ninth International Symposium*. Karlsruhe, Germany, 21–26 September, 2008. International Association for Fire Safety Science. Pp. 403–414. doi:10.3801/IAFSS.FSS.9-403
- Bryan, J. L., 1986. Damageability to buildings, contents and personnel from exposure to fire. *Fire Safety Journal*, vol. 11, issues 1–2, July–September 1986, pp. 15–31. doi: 10.1016/0379-7112(86)90050-0
- Fitzgerald, R. W., 2005. *Fire Service Manual Suppression*. In: *Building Fire Performance Analysis*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. Pp. 229–268. doi: 10.1002/0470863285.ch12
- Heskestad, G. & Delichatsios, M. A., 1978. The initial convective flow in fire. In: *Proceedings of the Seventeenth Symposium (International) on Combustion*. Combustion Institute. Vol. 17, issue 1, pp. 1113–1123. doi: 10.1016/S0082-0784(79)80106-X
- Hostikka, S. & Keski-Rahkonen, O., 2003. Probabilistic simulation of fire scenarios. *Nuclear Engineering and Design*, vol. 224, no. 3, pp. 301–311. doi:10.1016/S0029-5493(03)00106-7
- Hostikka, S., 2008. *Development of fire simulation models for radiative heat transfer and probabilistic risk assessment*. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland. 103 p. + app. 82 p. (VTT publications 683.) ISBN 978-951-38-7099-7 (soft back ed.)
- Hostikka, S., Kling, T., Mangs, J. & Matala, A., 2010. *Implementation of Quantitative Fire Risk Assessment in PSA (FIRAS)*. FIRAS summary report. In: Puska, E.-K. & Suolanen, V. (Eds.). *SAFIR2010. The Finnish Research Programme on Nuclear Power Plant Safety 2007–2010. Final Report*. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland. Pp. 538–548. (VTT Research Notes 2571.) ISBN 978-951-38-7689-0 (soft back ed.)
- Hostikka, S., Kling, T. & Paajanen, A., 2012a. Simulation of fire behaviour and human operations using a new stochastic operation time model. In: *The Eleventh International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference and the Annual European Safety and Reliability Conference 2012 (PSAM11 ESREL 2012)*. Helsinki, Finland, 25–29 June, 2012. IAPSAM & ESRA. Pp. 1550–1559. ISBN 978-1-62276-436-5
- Hostikka, S., Kling, T., Vaari, J., Rinne, T. & Ketola, J., 2012b. *Pelastustoimen vasteen simulointi suurpalossa. SIREENI-projektin tulokset*. Espoo: VTT. 77 s. + liitt. 13 s. (VTT Technology 61.) ISBN 978-951-38-7895-5
- ISO 13571. 2007. *Life-Threatening Components of Fire – Guidelines for the Estimation of Time Available for Escape Using Fire Data*. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization. 20 p.
- Jäntti, J., Miettinen, P. & Tillander, K., 2009. *Pelastusyksikön ensimmäisiin toimenpiteisiin kohteessa kuluva aika*. Kuopio: Pelastusopisto. 90 s. + liitt. 28 s. (Pelastusopiston julkaisu, B-sarja: Tutkimusraportit, 3/2009.) ISBN 978-952-5515-74-9 (nid.)

Karhula, T., Ryytänen, J. & Keski-Rahkonen, O., 2011. Miten tulipalo näkee Suomen asuntokannan? Palotutkimuksen päivät 2011, Espoo, 23.–24.8.2011. Pelastustieto, Palontorjuntatekniikka-erikoisnumero, vol. 62, ss. 12–16.

Karhula, T., Sikanen, T., Hostikka, S. & Keski-Rahkonen, O., 2012. A Monte Carlo simulation platform of housing fires in Finland forecasting life and property loss. In: The Eleventh International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference and the Annual European Safety and Reliability Conference 2012 (PSAM11 ESREL 2012). Helsinki, Finland, 25–29 June, 2012. IAPSAM & ESRA. Pp. 1584–1593. ISBN 978-1-62276-436-5

Ketola, J., 2012. PRONTO pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilastojärjestelmä. Pelastusopisto 27.7.2012. Esittelykalvot. 18 s. Viitattu 4.11.2013.

http://www.pelastusopisto.fi/download/35548_PRONTO_n_esittely_2012.pdf?ff0e50f66c65d088

Keski-Rahkonen, O., Karhula, T. & Hostikka, S., 2009a. Palokuolemien ehkäisykeinojen arviointiohjelma – tuloksia esitutkimuksesta. Pelastustieto, vol. 60, nro 6, ss. 28–33.

Keski-Rahkonen, O., Karhula, T. & Hostikka, S., 2009b. Palokuormien jakaumat palokuoleman ehkäisykeinojen arviointiohjelmassa. Palotutkimuksen päivät 2009, Espoo, 25.–26.8.2009. Pelastustieto, Palontorjuntatekniikka-erikoisnumero, vol. 60, ss. 108–114.

Keski-Rahkonen, O., Karhula, T., Sikanen, T. & Hostikka, S., 2011. Palokuolemien ehkäisykeinojen arviointiohjelma pilottina tulevaisuuteen. Palotutkimuksen päivät 2011, Espoo, 23.–24.8.2011. Pelastustieto, Palontorjuntatekniikka-erikoisnumero, vol. 62, ss. 22–26.

Keski-Rahkonen, O. & Karhula, T., 2012. Palokuolemalle altistavista käyttäytymistavoista. Kyselyiden tulokset simuloinnin olioiden kvantitatiivisiksi ominaisuuksiksi. Espoo: VTT. 51 s. + liitt. 24 s. (VTT Technology 56.) ISBN 978-951-38-7885-6

Kling, T., Hostikka, S., Rinne, T., Vaari, J. & Hakkarainen, T., 2013. Stochastic operation time modelling of rescue situations. In: Interflam 2013, Proceedings of the thirteenth international conference, Vol. 2. Royal Holloway College, University of London, UK, 24–26th June, 2013. London, England: Interscience Communications Limited. Pp. 1347–1358. ISBN 978-0-9556548-9-3 (set)

Latva, R., 2013. Puhelinkeskustelu palovaroittimien äänen taajuudesta, 23.1.2013. Risto Latva, VTT Expert Services Oy – Tuula Hakkarainen, VTT.

Majuri, M. & Kokki, E., 2010. PRONTO:n luotettavuus. Kuopio: Pelastusopisto. 60 s. + liitt. 4 s. (Pelastusopiston julkaisu, B-sarja: Tutkimusraportit, 4/2010.) ISBN 978-952-5515-97-8 (pdf)

McGrattan, K., McDermott, R., Hostikka, S. & Floyd, J., 2010. Fire Dynamics Simulator (Version 5). User's Guide. Gaithersburg, MD, USA: National Institute of Standards and Technology. 246 p. (NIST Special Publication 1019-5.)

Miettinen, P., 2007. Pelastusyksikön ensitoimenpiteisiin kuuluvat selvitykset vedenkuljetuksessa. Kuopio: Pelastusopisto. 44 s. (Pelastusopiston julkaisu, A-sarja: Oppimateriaalit, 2/2007.) ISBN 978-952-5515-28-2

Paajanen, A., Hakkarainen, T. & Tillander, K., 2014. Onnettomuusvahingot pelastustoimen riskianalyysityössä. Helsinki: Helsingin kaupungin pelastuslaitos. 88 s. (Helsingin kaupungin pelastuslaitoksen julkaisuja.) ISBN 978-952-272-728-2

Purser, D. A. & Bensilum, M., 2001. Quantification of Behaviour for Engineering Design Standards and Escape Time Calculations. Safety Science, vol. 38, pp. 157–182.

SFS-EN 14604. 2006. Palovaroitinmet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 115 s.

Sisäasiainministeriö, 2012. Pelastustoimen toimintavalmiuden suunnitteluohje. Helsinki: Sisäasiainministeriö. 24 s. (Sisäasiainministeriön julkaisut 21/2012.) ISBN 978-952-491-748-3 (nid.)

Sosiaali- ja terveysministeriö, 2013. Laatusuositus hyvän ikääntymisen turvaamiseksi ja palvelujen parantamiseksi. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö. 69 s. + liitt. 9 s. (Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 2013:11.) ISBN 978-952-00-3415-3 (pdf)

Spielth, H. H., Gaume, J. G., Luoto, R. E. & Klinck, D. M., 1982. A combined hazard index fire test methodology for aircraft cabinet materials. Vols. I and II. Long Beach, CA, USA: Mc Donnell Douglas Corporation & Atlantic City, NJ, USA: Federal Aviation Administration. 168 p. (Vol. 1) + 217 p. (Vol. 2) (DOT/FAA/CT-82/36-1 (Vol. 1); DOT/FAA/CT-82/36-2 (Vol. 2))

Sulkava, R., 2012. Turvallista asumista kaikille – muistisairaajat ja muut paloturvallisuuden riskiryhmät. Seminaariesitys. Asuntomessut Tampereella, Turvallisen asumisen seminaari, 7.8.2012.

Tilastokeskus, 2009. Ajankäyttötutkimus 2009. Suomen virallinen tilasto (SVT): Ajankäyttötutkimus [verkkojulkaisu]. ISSN=1799-5639. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 16.6.2014]. Saantitapa: <http://www.stat.fi/til/akay/2009/04/index.html>

Tilastokeskus, 2010. Asunnot ja asuinolot. Suomen virallinen tilasto (SVT): Asunnot ja asuinolot [verkkojulkaisu]. ISSN=1798-6745. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 16.6.2014]. Saantitapa: <http://www.stat.fi/til/asas/tau.html>

Tilastokeskus, 2012. Väestötilastot. Suomen virallinen tilasto (SVT): Väestörakenne [verkkojulkaisu]. ISSN=1797-5379. 2012. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 16.6.2014]. Saantitapa: http://tilastokeskus.fi/til/vaerak/2012/vaerak_2012_2013-03-22_tie_001_fi.html

Tillander, K., Matala, A., Hostikka, S., Tiittanen, P., Kokki, E., Taskinen, O. 2010, Pelastustoimen riskianalyysimallien kehittäminen, Espoo, VTT, 117 s. + liitt. 9 s. (VTT Tiedotteita - Research Notes; 2530.) ISBN 978-951-38-7573-2, <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2530.pdf>

THL, 2010. Kotihoidon laskenta 30.11.2010. Helsinki: Terveystieteiden tutkimuskeskus. 83 s. (THL / SVT Tilastoraportti 22/2011.)

Thomas, I. & Bruck, D., 2010. Awakening of Sleeping People: A Decade of Research. Fire Technology, vol. 46, pp. 743–761.



Vaari, J., Tillander, K., Rinne, T. & Paloposki, T., 2010. Asuntosprinklaus Suomessa. Vaikuttavuuden arviointi. Osa 2. Espoo: VTT. 134 s. (VTT Tiedotteita – Research Notes 2527.) ISBN 978-951-38-7566-4 (nid.)

Viitala, H., 2013. VS: Kysymys palovaroittimien äänen taajuudesta [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Tuula Hakkarainen. Lähetetty 22.1.2013. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes, pelastustoimen laitteet ja rakennustuotteet.

Liite A. Syttymistilojen jakaumat riskiluokittain.

Kaikki asuinrakennukset

Syttymistila	Ei tiedossa	1	2	3	4	Yhteensä
01 Keittiö	1	1833	2086	402	509	4831
02 Makuuhuone		124	197	57	158	536
03 Olohuone		306	441	121	256	1124
04 Lastenhuone		2	11	4	14	31
05 Muu asuin- ja oleskelutila		14	18	18	45	95
06 Ullakko		27	72	25	109	233
07 Kellari, muu maanalainen rakennustila		54	67	8	48	177
08 Pesuhuone, kylpyhuone		99	140	33	65	337
09 Sauna		137	304	87	136	664
10 Kuivaushuone		5	5	2		12
11 Parveke		166	146	15	9	336
12 Porrashuone/portaikko		55	53	2	16	126
13 Kattilahuone		5	50	32	173	260
14 Hissi		14	7		1	22
15 Autotalli		15	64	23	53	155
16 Savuhormi/nokipalo		21	198	136	665	1020
17 Roskakaatikko, jätekatos tai jätehuone		17	10	2		29
20 Tuotantotila		4			2	6
21 Varastotila		49	84	20	40	193
22 Ulkovarastotila		11	27	8	17	63
23 Asiakaspalvelutila tai myymälätila		33	11	2	1	47
24 Toimistotila		3	3			6
25 Sosiaalitala		4	1		1	6
26 Majoitustila, majoitushuone		2	1	2	4	9
27 Luokkahuone tai kokoustila		2				2
28 Ravintolatila		2				2
30 Kodinhoituhuone		12	58	29	61	160
31 Pukuhuone			11	7	13	31
32 Takkahuone		4	25	6	21	56
33 Terassi, kuisti		17	85	27	74	203
34 Tuulikaappi tai uloskäytävä		6	12	4	7	29
35 Eteinen tai aula		68	132	43	143	386
36 WC		42	48	15	38	143
37 Ilmastointikonehuone		1	1	2	1	5
38 Parvi		2	1	1	3	7
39 Polttoainevarasto					9	9
40 Lämmönjakohuone		2	16	4	33	55
41 Sähkötila		9	15	3	12	39
89 Muu rakennustila		47	70	23	88	228
98 Ei voida arvioida		27	85	42	192	346
99 Rakennuksen ulkopuolella (tyhjä)		44	103	37	115	299
Yhteensä	1	3286	4661	1243	3138	12329

Asuinkerrostalot

Syttymistila	1	2	3	4	Yhteensä
01 Keittiö	1752	1245	65	10	3072
02 Makuuhuone	109	78	7	3	197
03 Olohuone	274	217	15	3	509
04 Lastenhuone	1		1		2
05 Muu asuin- ja oleskelutila	10	4	1		15
06 Ullakko	17	4	1		22
07 Kellari, muu maanalainen rakennustila	36	27		1	64
08 Pesuhuone, kylpyhuone	86	68	2		156
09 Sauna	116	96	7	4	223
10 Kuivaushuone	4	3			7
11 Parveke	161	134	8		303
12 Porrashuone/portaikko	54	42		1	97
13 Kattilahuone	2	2	1	2	7
14 Hissi	14	7		1	22
15 Autotalli	10	4			14
16 Savuhormi/nokipalo		4	2	6	12
17 Roskalaatikko, jätekatos tai jätehuone	17	5			22
20 Tuotantotila	4				4
21 Varastotila	45	37	4	1	87
22 Ulkovarastotila	5	3			8
23 Asiakaspalvelutila tai myymälätila	32	10	1		43
24 Toimistotila	3	2			5
25 Sosiaalitila	3				3
26 Majoitustila, majoitushuone	2				2
27 Luokkahuone tai kokoustila	2				2
28 Ravintolatila	2				2
30 Kodinhoituhuone	6	2	1		9
31 Pukuhuone		1	1		2
32 Takkahuone	1				1
33 Terassi, kuisti	7	6			13
34 Tuulikaappi tai uloskäytävä	5	6	1		12
35 Eteinen tai aula	57	39	2	1	99
36 WC	38	27	1	2	68
37 Ilmastointikonehuone	1	1			2
40 Lämmönjakuhuone	1	2		1	4
41 Sähkötila	8	8			16
89 Muu rakennustila	38	13	4	1	56
98 Ei voida arvioida	16	12	1		29
99 Rakennuksen ulkopuolella (tyhjä)	28	26	1		55
		1	1		2
Yhteensä	2967	2136	128	37	5268

Rivi- ja ketjutilat

Syttymistila	1	2	3	4	Yhteensä
01 Keittiö	43	461	183	49	736
02 Makuuhuone	4	30	15		49
03 Olohuone	11	77	23	13	124
04 Lastenhuone		1			1
05 Muu asuin- ja oleskelutila		2	1	1	4
06 Ullakko	1	7	2		10
07 Kellari, muu maanalainen rakennustila			1		1
08 Pesuhuone, kylpyhuone	8	34	7	5	54
09 Sauna	12	76	29	4	121
10 Kuivaushuone	1		1		2
11 Parveke	2	5	1		8
12 Porrashuone/portaikko		1			1
13 Kattilahuone		1	2		3
15 Autotalli	2	2			4
16 Savuhormi/nokipalo	1	4	2	1	8
17 Roskalaatikko, jätekatos tai jätehuone		4	2		6
21 Varastotila	2	6	3	2	13
22 Ulkovarastotila	3	8	2		13
23 Asiakaspalvelutila tai myymälätila				1	1
26 Majoitustila, majoitushuone		1			1
30 Kodinhoituhuone		8	3		11
31 Pukuhuone		1	1		2
32 Takkahuone		2		1	3
33 Terassi, kuisti	2	20	5	1	28
34 Tuulikaappi tai uloskäytävä	1				1
35 Eteinen tai aula		16	8	1	25
36 WC		6	4		10
38 Parvi				1	1
40 Lämmönjakuhuone		1			1
41 Sähkötila	1	3		2	6
89 Muu rakennustila	3	13	2	2	20
98 Ei voida arvioida	1	4	4	2	11
99 Rakennuksen ulkopuolella (tyhjä)	7	11	6	2	26
Yhteensä	106	805	307	88	1306

Erilliset pientalot

Syttymistila	Ei tiedossa	1	2	3	4	Yhteensä
01 Keittiö	1	38	380	154	450	1023
02 Makuuhuone		11	89	35	155	290
03 Olohuone		21	147	83	240	491
04 Lastenhuone		1	10	3	14	28
05 Muu asuin- ja oleskelutila		4	12	16	44	76
06 Ullakko		9	61	22	109	201
07 Kellari, muu maanalainen rakennustila		18	40	7	47	112
08 Pesuhuone, kylpyhuone		5	38	24	60	127
09 Sauna		9	132	51	128	320
10 Kuivaushuone			2	1		3
11 Parveke		3	7	6	9	25
12 Porrashuone/portaikko		1	10	2	15	28
13 Kattilahuone		3	47	29	171	250
15 Autotalli		3	58	23	53	137
16 Savuhormi/nokipalo		20	190	132	658	1000
17 Roskakaatikko, jätekatos tai jätehuone			1			1
20 Tuotantotila					2	2
21 Varastotila		2	41	13	37	93
22 Ulkovarastotila		3	16	6	17	42
23 Asiakaspalvelutila tai myymälätila		1	1	1		3
24 Toimistotila			1			1
25 Sosiaalutila		1	1		1	3
26 Majoitustila, majoitushuone				2	4	6
30 Kodinhoituhuone		6	48	25	61	140
31 Pukuhuone			9	5	13	27
32 Takkahuone		3	23	6	20	52
33 Terassi, kuisti		8	59	22	73	162
34 Tuulikaappi tai uloskäytävä			6	3	7	16
35 Eteinen tai aula		11	77	33	141	262
36 WC		4	15	10	36	65
37 Ilmastointikonehuone				2	1	3
38 Parvi		2	1	1	2	6
39 Polttoainetarasto					9	9
40 Lämmönjakuhuone		1	13	4	32	50
41 Sähkötila			4	3	10	17
89 Muu rakennustila		6	44	17	85	152
98 Ei voida arvioida		10	69	37	190	306
99 Rakennuksen ulkopuolella (tyhjä)		9	66	30	113	218
Yhteensä	1	213	1720	808	3013	5755

Liite B. FDS-simuloinnit

Hankkeessa ”Toimintavalmiuden vaikuttavuus asuntopaloissa” hyödynnettiin tutkimusohjelmassa ”Palo-kuolemien ehkäisykeinojen vaikuttavuuden arviointi” (Keski-Rahkonen ym. 2009a, 2009b; Karhula ym. 2011) simuloituja asuntopaloja. Projektissa tehtiin FDS-ohjelmalla Monte Carlo -tekniikalla n. 365 asuntopalosimulointia, joissa tarkasteltiin kuolettavien olosuhteiden muodostumiseen kuluvaan aikaan kuudessa eri mittapisteessä eri puolilla asuntoa. Kuvassa 46 on esitetty visualisointi savun leviämisestä esimerkkipalossa 1,5 minuutin kuluttua palon syttymisestä.



Kuva 46. Visualisointi savun leviämisestä FDS:llä simuloidussa palossa 1,5 minuutin kuluttua palon syttymisestä.

Simuloinnin periaate oli seuraava:

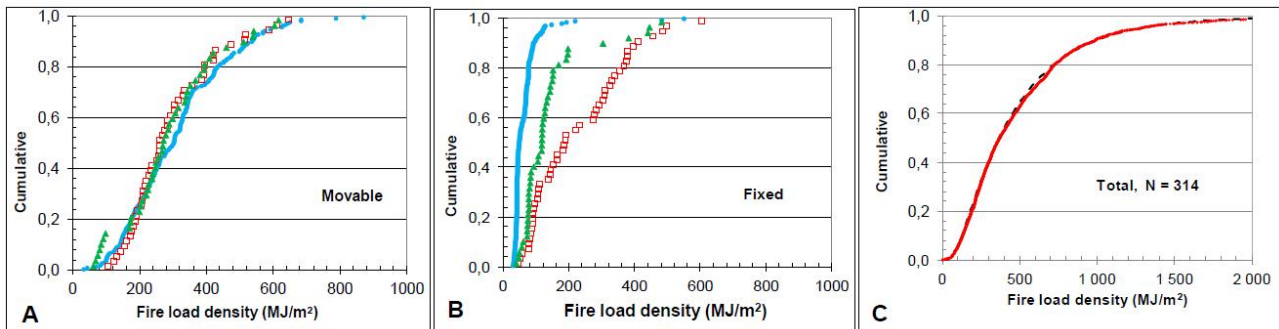
- PRONTO:n tilastoja mallittamalla konstruointiin yksinkertainen tilastollinen malli, josta on laskettavissa palon keskimääräinen leviämisenopeus eri ajanhetkillä liekkiin leimahtamisen jälkeen.
- Paloteho määritettiin simuloinneissa kolmessa jaksossa ja eri periaatteella niistä kussakin:
 1. Liekkiin leimahtamisesta vakiintuneeseen syttymään (0,3 m korkea avoliekki, Fitzgerald 2005) käytettiin PRONTO:n tilastojen perusteella määritettyä leviämisenopeutta;
 2. Vakiintuneesta syttymästä lieskahdukseen käytettiin t^2 -parametrimallia (Heskestad & Delichatsios 1978), jossa ominaiskasvu-aika ja hiipumisaika arvottiin mitatusta tilastojakaumasta;
 3. Lieskahduksen jälkeen käytettiin FDS-ohjelman pyrolyysimallilla määrittämää palotehoa.

Asuntojen palokuormat (taulukko 32, kuva 47) määritettiin kahden lognormaalien jakauman summana seuraavasti:

$$F(x; \mu, \sigma) = (1 - c)F_1(x; \mu_1, \sigma_1) + cF(x; \mu_2, \sigma_2) \quad (11)$$

Taulukko 32. Simuloinneissa käytetyt jakaumat kiinteälle ja liikkuvalla palokuormalle. N on otoskoko, jonka perusteella jakaumat on määritetty (Karhula ym. 2012).

Asuntotyyppi	N	Keskiarvo	Keskihajonta	μ_1	σ_1	c	μ_2	σ_2
		MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²		MJ/m ²	
Kaikki yhteensä	314	492	346	250	0.70	0.60	630	0.59
-Liikkuva	314	348	364	10	0.95	0.06	255	0.86
-Kiinteä	314	146	73	60	0.30	0.75	340	0.55
Kerrostaloasunnot	206	372	142	120	0.28	0.05	360	0.37
-Liikkuva	206	309	145	75	0.30	0.05	290	0.45
-Kiinteä	206	63	27	52	0.38	0.97	260	0.55
Omakotitalot	50	520	180	470	0.36	0.80	580	0.25
-Liikkuva	50	292	127	135	0.20	0.05	275	0.42
-Kiinteä	50	225	80	95	0.28	0.43	300	0.36
Rivitaloasunnot	46	433	171	380	0.40	0.90	900	0.26
-Liikkuva	46	292	135	120	0.80	0.15	290	0.40
-Kiinteä	46	145	83	100	0.40	0.90	300	0.26



Kuva 47. Palokuormien jakaumat havaintoaineistossa (Karhula ym. 2012). (A) Liikkuva ja (B) Kiinteä: pallo = kerrostaloasunnot, kolmio = rivitaloasunnot, neliö = omakotitalot. (C) Kaikki yhteensä: pallo = havainnot, katkoviiva = sovite.