



HELSINGIN KAUPUNGIN PELASTUSLAITOS
HELSINGFORS STADS RÄDDNINGSVERK

Antti Paajanen, Tuula Hakkarainen & Kati Tillander

ONNETTOMUUSVAHINGOT PELASTUSTOIMEN RISKIANALYYSITYÖSSÄ



Helsingin kaupungin pelastuslaitoksen julkaisu

ONNETTOMUUSVAHINGOT PELASTUSTOIMEN RISKIANALYYSITYÖSSÄ

Antti Paajanen & Tuula Hakkarainen
VTT

Kati Tillander
Helsingin kaupungin pelastuslaitos

ISBN 978-952-272-728-2
ISSN 2323-7899
Helsinki 2014

Kansikuva: VTT

Tiivistelmä

Onnettomuusvahingot pelastustoimen toimintavalmiuden suunnittelussa –tutkimushankkeen tavoitteena oli tunnistaa ja tarkastella onnettomuuksien seurauksia selittäviä tekijöitä ja luoda menettelyjä, joiden avulla onnettomuuksien todennäköiset seuraukset voidaan huomioida pelastustoimen riskianalyyseissä. Hankkeessa kehitettiin käytännön työvälineiksi mallit, joilla voidaan arvioida omaisuusvahinkoriskiä rakennuspaloissa, henkilövahinkoriskiä asuinrakennuspaloissa ja henkilövahinko-onnettomuusriskiä maanteillä. Ennusteet esitetään karttamuodossa, joten ne ovat suoraan hyödynnettävissä pelastuslaitosten riskianalyyseissä. Tulosten avulla pelastuslaitokset voivat tunnistaa alueensa onnettomuusriskejä entistä tarkemmin ja mitoittaa palvelunsa paremmin niitä vastaaviksi.

Rakennuspalojen omaisuusvahinkoriskimallissa yhdistetään rakennuskohtainen vahingon odotusarvo rakennustyyppin mukaiseen syttymistäajuuteen. Kussakin rakennustyyppissä vahingon odotusarvo saadaan mallista, joka ennustaa rakennuksen tuhoutumisastetta kerrosalan perusteella. Näiden yhden muuttujan vahinkomallien todettiin ennustavan omaisuusvahinkoja riittäväällä tarkkuudella. Mallia kehitettäessä havaittiin muutamissa tapauksissa jokin toinenkin vaikuttava suure, esimerkiksi toimintavalmiusaika ja nähtiin riippuvuus kerrosalan ja toimintavalmiusajan välillä. Muiden tarkasteltujen muuttujien vaikutus tuhoutumisasteeseen kuitenkin peittyi kerrosalan hallitsevan vaikutuksen alle, joten tuhoutumisaste ennustetaan mallissa vain kerrosalan perusteella. Työssä tarkasteltiin myös omaisuusvahinkomallin alueellista soveltuvuutta ja sprinklauksen vaikutusta omaisuusvahinkoihin.

Asuinrakennuspaloille kehitetty henkilövahinkomalli ennustaa henkilövahinkotaajuuden syttymistäajuustiheyden, rakennuksen kerrosalan ja henkilövahingon todennäköisyyden perusteella. Henkilövahingon todennäköisyydelle havaittiin riippuvuuksia kerrosalasta, rakennuksen iästä ja ilmoitusajasta. Riippuvuudet eri muuttujista vaihtelivat asuinrakennustyyppikohtaisesti, joten asuinrakennusten henkilövahinkomalli muodostettiin kullekin asuinrakennustyyppille erikseen.

Ennustettaessa henkilövahinko-onnettomuusriskiä maanteillä käytettiin aineistona VTT:n laatiman TARVA-ohjelman ennustamia nykyisiä henkilövahinko-onnettomuuksien määriä. TARVA-ohjelman ennustamat tiejaksokohtaiset onnettomuustiheydet muutettiin ruutukohtaisiksi onnettomuusmääriksi summamallilla kuhunkin ruutuun sijoittuvien tiejaksojen ennustetut onnettomuusmäärät.

Avainsanat: rakennuspalo, henkilövahinko, omaisuusvahinko, onnettomuusriski, pelastustoimi, riskianalyysi, toimintavalmius

Alkusanat

Tämä julkaisu on hankkeen ”Onnettomuusvahingot pelastustoimen toimintavalmiuden suunnittelussa”-loppuraportti. Hanke käynnistyi 1.12.2012 ja se päättyi 31.3.2014. Työ toteutettiin Helsingin, Pirkanmaan, Pohjanmaan ja Jokilaaksojen pelastuslaitosten sekä VTT:n yhteistyönä.

Hankkeen työryhmään kuuluivat Martti Honkala Pirkanmaan pelastuslaitokselta, Thomas Nyqvist Pohjanmaan pelastuslaitokselta, Jari Lepistö Jokilaaksojen pelastuslaitokselta, Kati Tillander, Ville Estlander, Ville Mensala ja Mikael Siitonen (22.11.2013 saakka) Helsingin pelastuslaitokselta sekä Antti Paajanen ja Tuula Hakkarainen VTT:stä.

Hankkeen toteutusta ohjaamaan perustettiin ohjausryhmä, johon kuuluivat edustajat sisäasiainministeriöstä, Kuntaliitosta, Helsingin, Pirkanmaan, Pohjanmaan, Jokilaaksojen, Keski-Uudenmaan, Etelä-Pohjanmaan, Pohjois-Savon sekä Keski-Suomen pelastuslaitoksista.

Kiitämme Riikka Rajamäkeä VTT:stä maanteiden ruutukohtaisen henkilövahinko-onnettomuusmallin muodostamisesta.

Esitämme kiitokset hankkeen työ- ja ohjausryhmille, jotka omalla työllään ovat panostaneet hankkeeseen ja edistäneet sen toteutumista merkittäväällä tavalla.

Tekijät

Sisällys

1	Johdanto.....	8
	1.1 Tausta.....	8
	1.2 Tavoite.....	8
	1.3 Lähtökohdat ja rajaukset.....	8
2	Rakennuspalojen omaisuusvahinkoriski.....	10
	2.1 Käytetty aineisto.....	10
	2.1.1 Onnettomuustiedot.....	11
	2.1.2 Rakennuskanta.....	11
	2.2 Tuhoutumisaste.....	13
	2.3 Tuhoutumisasteen riippuvuus tarkastelluista muuttujista.....	14
	2.3.1 Asuinrakennukset.....	14
	2.3.1.1 Erilliset pientalot.....	14
	2.3.1.2 Rivi- ja ketjutilat.....	18
	2.3.1.3 Asuinkerrostalot.....	19
	2.3.2 Muut kuin asuinrakennukset.....	20
	2.3.2.1 Liikerakennukset.....	20
	2.3.2.2 Teollisuusrakennukset.....	20
	2.3.2.3 Rakennusluokkien D, E, F, G, H, K ja L rakennukset.....	21
	2.4 Omaisuusvahinkomallin muodostaminen.....	21
	2.5 Syttymistäajustiheysmalli.....	34
	2.6 Omaisuusvahinkoriski.....	36
	2.7 Omaisuusvahinkojen lisätarkastelut.....	37
	2.7.1 Omaisuusvahinkomallin alueellinen sovellettavuus.....	37
	2.7.2 Sprinklauksen vaikutus omaisuusvahinkoihin.....	39
	2.7.3 Toimintavalmiusajan merkitys omaisuusvahinkojen kannalta.....	41
3	Rakennuspalojen henkilövahinkoriski.....	43
	3.1 Käytetty aineisto.....	43
	3.1.1 Onnettomuustiedot.....	43

3.1.2 Rakennuskanta.....	43
3.2 Henkilövahinkoriskin riippuvuus tarkastelluista muuttujista.....	44
3.2.1 Erilliset pientalot.....	44
3.2.2 Rivi- ja ketjutilat.....	46
3.2.3 Asuinkerrostalot.....	48
3.3 Henkilövahinkomallin muodostaminen.....	50
3.4 Syttymistäajuustiheysmalli.....	54
3.5 Henkilövahinkoriskimalli.....	54
4 Henkilövahinko-onnettomuusriski maanteillä.....	55
4.1 Käytetty aineisto.....	55
4.2 Odotettu henkilövahinko-onnettomuuksien määrä maanteillä ruuduittain.....	56
5 Tulosten visualisointi.....	58
5.1 Omaisuusvahinkoriski.....	58
5.2 Henkilövahinkoriski.....	59
5.3 Henkilövahinko-onnettomuudet maanteillä.....	61
6 Yhteenveto.....	64
6.1 Hankkeen tavoite.....	64
6.2 Omaisuusvahinkoriski rakennuspaloissa.....	64
6.2.1 Tulokset.....	64
6.2.2 Tulosten tulkinta.....	65
6.3 Henkilövahinkoriski asuinrakennuspaloissa.....	66
6.3.1 Tulokset.....	66
6.3.2 Tulosten tulkinta.....	66
6.4 Henkilövahinko-onnettomuusriski maanteillä.....	67
6.5 Tulosten käyttö.....	67

Liite A: Rivi- ja ketjutilat

Liite B: Kerrostalot

Liite C: Liikerakennukset

Liite D: Teollisuusrakennukset

Liite E: Rakennusluokat D, E, F, G, H, K ja L

Symboli- ja lyhenneluettelo

A	pinta-ala (m^2)
A_{as}	asunnon pinta-ala (m^2)
A_{ra}	rakennuksen pinta-ala (m^2)
a	omaisuusvahinkomallin parametri
b	omaisuusvahinkomallin parametri
c	omaisuusvahinkomallin parametri
c_1, c_2	yleistetyn Barrois'n mallin parametri
d	omaisuusvahinkomallin parametri
f	syttymistaajuus (a^{-1})
f_m''	syttymistaajuustiheys ($m^{-2}a^{-1}$)
h	henkilövahinkojen lukumäärä
v	omaisuusvahingon odotusarvo (m^2)
p_i, q_i	mallin analyttisten funktioiden parametreja
PRONTO	pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilastojärjestelmä
R	ruutukohtainen omaisuusvahinkoriski tai henkilövahinkotaajuus
r, s	yleistetyn Barrois'n mallin parametri
VTJ	väestötietojärjestelmä
ξ	henkilövahingon todennäköisyys
$\chi, \bar{\chi}$	rakennuksen tai tyyppiasunnon tuhoutumisaste ja tuhoutumisasteen odotusarvo
ψ_A	skaalausfunktio henkilövahingon todennäköisyyden riippuvuudelle tyyppiasunnon pinta-alasta
ψ_t	skaalausfunktio henkilövahingon todennäköisyyden riippuvuudelle rakennuksen iästä

1 Johdanto

1.1 Tausta

Toimintavalmiusohje A:71 (Sisäasiainministeriö 2003) on ollut pohja, johon eri pelastustoimen alueiden riskianalyysit ovat joko kokonaan tai osittain perustuneet. Riskialuemäärittelyt on tehty yksinomaan rakennusten kerrosalaan ja asukaslukuun perustuen. Uudessa pelastustoimen toimintavalmiuden suunnitteluohjeessa (Sisäasiainministeriö 2012) on käytetty askeleen edistyneempää riskienarviointimallia (Tillander et al. 2010), joka kuitenkin vanhan mallin tavoin pohjautuu pelkästään rakennusten kerrosalaan ja asukaslukuun.

Pelastustoimen toimintavalmiuden suunnitteluohjeen riskiluokittelu ei nykyisessä muodossaan ota huomioon esim. onnettomuustyyppien eroja, uhattuja arvoja tai erilaisten ennaltaehkäisevien toimenpiteiden vaikutusta onnettomuuden seurauksiin. Onnettomuuksien esiintymiseen vaikuttavia taustamuuttujia on olemassa useissa eri tietokannoissa, mutta niitä ei ole hyödynnetty tehokkaasti eikä niiden käyttöön ole luotu vakioituja menettelyjä.

Pelkästään onnettomuustodennäköisyyteen tai onnettomuuksien esiintymistiheyteen perustuva riskinarviointi ei ole riittävän kattavaa. Onnettomuustodennäköisyyden ja onnettomuuksien esiintymistiheyden lisäksi riskinarvioinnissa tulisi huomioida onnettomuuksien todennäköiset seuraukset.

1.2 Tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on tunnistaa ja tarkastella onnettomuuksien seurauksia selittäviä tekijöitä ja luoda menettelyjä, joiden avulla onnettomuuksien todennäköiset seuraukset voidaan huomioida pelastustoimen riskianalyyseissä. Tutkimus laajentaa onnettomuuksien esiintymistiheyksiin perustuvaa riskinarviointia suuntaan, jossa huomioidaan myös uhatut arvot ja todennäköisten seurausten laajuus. Lisäksi tarkastellaan vuorokaudenajan vaikutusta riskin suuruuteen.

Tavoitteena on luoda konkreettisia työvälineitä, joita pelastuslaitokset voivat suoraan hyödyntää pelastustoimen toimintavalmiuden suunnitteluohjeen riskiluokitusten tarkentamiseen onnettomuuksien seurauksia koskevan tiedon avulla. Tulokset puetaan myös karttamuotoon, jolloin ne ovat suoraan hyödynnettävissä pelastuslaitosten riskianalyyseissä. Tulosten avulla pelastuslaitokset pystyvät tunnistamaan alueellaan vallitsevat riskit entistä tarkemmin ja mitoittamaan palvelunsa paremmin todellisia riskejä vastaaviksi.

1.3 Lähtökohdat ja rajaukset

Sisäasiainministeriö on ohjeistanut pelastustoimen toimintavalmiuden suunnittelua antamassaan suunnitteluohjeessa (Sisäasiainministeriö 2012). Suunnitteluohjeen riskien määrittely perustuu 1 km × 1 km ruudukkoon. Ruudut on niille määritetyn riskitason perustella luokiteltu neljään riskiluokkaan. Riskitason määrittämiseen käytetään regressiomallia (Tillander et al. 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. Riskiluokan määrittämisessä ei huomioida ruudussa uhattuna olevia arvoja tai tapahtuneita vahinkoja lainkaan.

Tutkimushankkeen pohja-aineistona käytetään edellä kuvattua riskiruutuaineistoa. Analysoimalla olemassa olevaa aineistoa tilastollisin menetelmin selvitetään erityyppisten onnettomuuksien seurausten riippu-



vuus riskiruutuaineistoon kiinnitettävissä olevista eri muuttujista. Seuraustarkastelussa pyritään huomioidaan myös erityyppisten ennaltaehkäisykeinojen vaikutus vahinkojen laajuuteen. Tuloksena tuodaan nykyiseen riskiruutulähestymistapaan onnettomuuksien seurauksia selittävät tekijät sekä määritetään seurausten odotusarvo ruututasolla. Seurauksina käsitellään henkilövahinkoja sekä rakennuspalojen osalta myös tuhoutunutta kerrosalaa.

Työssä keskitytään erityisesti rakennuspaloihin. Myös tieliikenneonnettomuudet ovat tärkeä tarkastelukohte, koska ne ovat pelastustoimen tehtävistä se onnettomuustyyppi, jossa tapahtuu eniten henkilövahinkoja.

2 Rakennuspalojen omaisuusvahinkoriski

Rakennuspalojen omaisuusvahinkomallin tavoitteena oli tuottaa kullekin rakennukselle luku, joka kuvaa odotettavissa olevien tuhojen laajuutta siinä tapauksessa, että kyseisessä rakennuksessa syttyy rakennuspalo. Rakennuskohtainen omaisuusvahinkoriski saadaan yhdistämällä edellä kuvattu omaisuusvahingon odotusarvo ja syttymistäajuus. Ruutukohtainen omaisuusvahinkoriski R [m^2/a] saadaan laskemalla yhteen ruudussa sijaitsevien rakennusten omaisuusvahinkoriskit:

$$R = \sum_{i=1}^N f_i \cdot v_i \quad (1)$$

missä f on syttymistäajuus [$1/\text{a}$] ja v on vahingon odotusarvo [m^2] (tarkempi käsittely ks. luku 2.6). Ruutukohtaisten vahinkoriskien avulla voidaan luoda vahinkoriskikartta.

2.1 Käytetty aineisto

Omaisuusvahinkotarkastelun lähtöaineistona käytettiin pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilastojärjestelmän (PRONTO) tietoja rakennuspaloista ja Väestörekisterikeskuksen ylläpitämän väestötietojärjestelmän (VTJ) tietoja rakennuksista.

Taulukkoon 1 on yhdistetty VTJ-aineiston (2013) ja PRONTO-järjestelmän (2009–2012) tiedot rakennusten lukumääristä ja kerrosaloista sekä tapahtuneista rakennuspaloista, tuhoutuneesta pinta-alasta ja henkilövahingoista rakennusluokittain (ks. rakennusten pääluokat taulukossa 2). Taulukosta nähdään eri rakennusluokille ominaisia piirteitä, jotka vaikuttavat vahinkomallien muodostamisedellytyksiin. Asuinrakennukset (luokka A) edustavat lukumääräisesti noin 40 % ja kerrosalaltaan yli 50 % rakennuskannasta. Niissä tapahtuu lähes puolet rakennuspaloista. Henkilövahingot (kuolemat ja vakavat loukkaantumiset) painottuvat erittäin voimakkaasti asuinrakennuksiin. Liikerakennuksia (luokka C) ja teollisuusrakennuksia (luokka J) on lukumääräisesti suhteellisen vähän, mutta niiden osuudet rakennuskannan kokonaiskerrosalasta ovat 5 % ja 9 % ja tulipaloissa tuhoutuneesta pinta-alasta peräti 9 % ja 20 %. Vapaa-ajan asuinrakennukset (luokka B), maatalousrakennukset (luokka M) ja muut rakennukset (luokka N) ovat lukumäärältään suurimmat rakennusluokat asuinrakennusten jälkeen. Vapaa-ajan rakennusten kokonaiskerrosala on kuitenkin suhteellisesti tarkasteluna pieni, samoin niiden tulipaloissa tuhoutunut pinta-ala. Maatalousrakennusten paloissa tuhoutunut pinta-ala on yli 10 % kokonaisalasta. Niiden tarkastelua vaikeuttavat kuitenkin vaihtelevat ominaispiirteet (koko, käyttötarkoitus) ja osin puutteelliset kirjaukset rakennuskantatietoihin. Rakennusluokka ”muut rakennukset” sisältää rakennusluokituksen määritelmän mukaisesti kaikki vähämerkityksiset, pienehköt rakennukset. Muiden rakennusten suureen lukumäärään suhteutettuna niiden tulipaloissa syntyviä vahinkoja voidaan pitää vähäisinä.

Taulukko 1. VTJ-aineiston rakennustiedot ja PRONTO-järjestelmän onnettomuustiedot (v. 2009–2012) rakennusluokittain.

Rak. luok.	Rak. lkm.	%	Kerrosala (m ²)	%	Palot	%	Tuhot (m ²)	%	Kuolleita	%	V. louk	%
A	1353674	40.6	297422038	52.0	3915	47.1	301685	34.6	244	93.1	161	84.7
C	47983	1.4	30155407	5.3	253	3.0	82230	9.4	2	0.8	3	1.6
D	11578	0.4	20101516	3.5	60	0.7	8554	1.00	1	0.4	1	0.5
E	61584	1.9	13237245	2.3	148	1.8	15557	1.8	1	0.4	3	1.6
F	9162	0.3	12412225	2.2	87	1.1	12809	1.5	2	0.8	6	3.2
G	15630	0.5	10110701	1.8	94	1.1	17702	2.0	0	0.0	0	0.0
H	9671	0.3	19139407	3.3	82	1.0	14622	1.7	0	0.0	1	0.5
J	47773	1.4	52314858	9.1	697	8.4	177943	20.4	0	0.0	3	1.6
K	37320	1.1	21981710	3.8	479	5.8	66824	7.7	1	0.4	3	1.6
L	2311	0.1	1417630	0.3	3	0.0	446	0.1	0	0.0	0	0.0
A, C-L	1596686	<u>47.9</u>	478292737	<u>83.6</u>	5818	<u>70.0</u>	698372	<u>80.1</u>	251	<u>95.8</u>	181	<u>95.3</u>
B	505277	15.2	21972777	3.8	453	5.5	17741	2.0	9	3.4	6	3.2
M	122709	3.7	35765954	6.3	470	5.7	93635	10.7	0	0.0	1	0.5
N	1083126	32.5	34976793	6.1	1574	18.9	61816	7.1	2	0.8	2	1.1
B, M-N	1711112	<u>51.3</u>	92715524	<u>16.2</u>	2497	<u>30.0</u>	173192	<u>19.9</u>	11	<u>4.2</u>	9	<u>4.7</u>

2.1.1 Onnettomuustiedot

PRONTO-tietokannasta poimittiin tiedot rakennuspaloista vuosilta 2009–2012. Rakennuspaloaarat jätettiin tarkastelun ulkopuolelle, koska tavoitteena oli malli rakennuspaloissa aiheutuvista vahingoista. Vahinkomallin muodostamisen kannalta olennaisimmat tiedot olivat rakennuksen käyttötarkoitus, kerrosala, asuntojen lukumäärä, vahingon pinta-ala, rakennuksen ikä, ilmoitusaika (so. vuorokaudenaika) ja toimintavalmiusaika.

2.1.2 Rakennuskanta

Omaisuuksivahinkomallin muodostamista varten tarvittavat tiedot rakennuksista saatiin VTJ-aineistosta vuodelta 2013 (aineisto kuvaa rakennuskannan tilannetta 22.5.2013). Näitä tietoja olivat rakennuksen käyttötarkoitus, kerrosala, asuntojen lukumäärä, rakennuksen ikä ja rakennuksen sijaintiruudun tunniste.

Rakennuskannan tietoihin lisättiin tiedot liike- ja teollisuusrakennusten sprinklauksesta Pirkanmaan osalta. Sprinklaustiedot saatiin Pirkanmaan pelastuslaitoksen palotarkastusohjelmistosta (Merlot Palotarkastus).

Tilastokeskuksen rakennusluokituksessa vuodelta 1994 rakennukset luokitellaan käyttötarkoituksen mukaan taulukossa 2 esitettyihin pääluokkiin (Tilastokeskus 1994). Omaisuusvahinkotarkasteluun valittiin asuinrakennukset (A), liikerakennukset (C), teollisuusrakennukset (J) sekä yhdistettynä rakennusluokat D, E, F, G, H, K ja L. Asuinrakennuksilla on suuri edustus rakennuskannassa. Liike- ja teollisuusrakennukset otettiin omiksi ryhmikseen niiden selkeästi eroavan käyttötavan ja suuren edustuksen vuoksi. Nämä luokat vastaavat yhteensä noin 80 % rakennuskannan kerrosalasta ja tulipaloissa tuhoutuneesta pinta-alasta. Henkilövahinkojen osalta kattavuus on yli 95 %.

Vapaa-ajan asuinrakennukset (B), maatalousrakennukset (M) ja muut rakennukset (N) jätettiin tarkastelun ulkopuolelle, koska näihin luokkiin kuuluvia rakennuksia ei ole kattavasti kirjattu rakennuskantaan ja syyntymistäajustiheyksien määrittäminen niille on käytännössä mahdotonta.

Taulukko 2. Rakennusluokitus 1994: rakennusten pääluokat.

Tunnus	Rakennustyyppi
A	Asuinrakennukset
B	Vapaa-ajan asuinrakennukset
C	Liikerakennukset
D	Toimistorakennukset
E	Liikenteen rakennukset
F	Hoitoalan rakennukset
G	Kokoontumisrakennukset
H	Opetusrakennukset
J	Teollisuusrakennukset
K	Varastorakennukset
L	Palo- ja pelastustoimen rakennukset
M	Maatalousrakennukset
N	Muut rakennukset

Vahinkomallien muodostamista varten asuinrakennukset jaoteltiin rakennusluokituksen mukaisesti alaluokkiin erilliset pientalot, rivi- ja ketjutilat sekä asuinkeuhkot. Asuinrakennusten tarkempi jaottelu oli tarpeen, koska alaluokilta odotettiin keskenään erilaista vahinkokäyttäytymistä. Asuinrakennustyyppit poikkeavat ominaisuuksiltaan merkittävästi toisistaan: erillisissä pientaloissa on tyypillisesti vain yksi tai korkeintaan kaksi palo-osastoa, kun taas asuinkeuhkoissa on useampia palo-osastoja, joihin palon vaikutukset (esim. savuvahinko) voivat levitä.

Koska saatavilla olevia rakennusten palo-osastojen pinta-alatietoja ei voitu pitää kaikilta osin luotettavina (aineistosta löytyi esim. 1 m²:n suuruisia palo-osastoja), määriteltiin asuinrakennuksiin ”tyyppiasunto”, jonka pinta-ala on rakennuksen koko kerrosala jaettuna asuntojen lukumäärällä.

Omaisuuksivahinkotarkastelun lähtöaineiston tiedot on koottu taulukkoon 3. Taulukosta ilmenevät rakennusluokittain tarkastelussa mukana olleiden rakennusten lukumäärät ja kerrosalat sekä tulipalojen lukumäärät ja vahingon pinta-alat. On huomattava, että aineistosta karsittiin pois rakennusluokkien määrittämien ulkopuolelle menevät tapaukset kuten yksikerroksiset keuhkot ja yli kahden asunnon erilliset pientalot, sekä epärealistisen pienet tai suuret rakennukset ja palo-osastokoot.

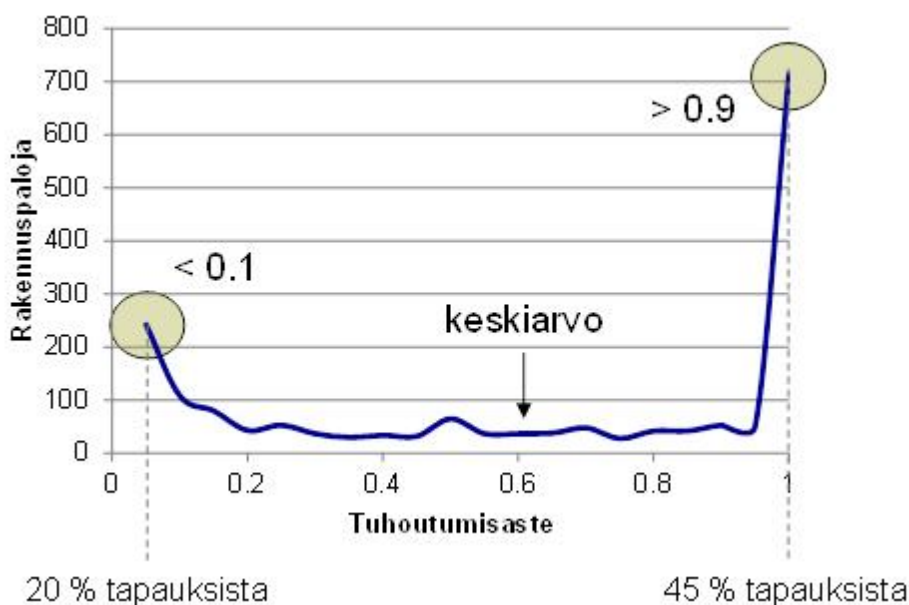
Taulukko 3. Omaisuusvahinkotarkastelun lähtöaineisto rakennusluokittain.

Rakennusluokka	Rakennuksia	%	Kerrosala (m ²)	%	Paloja	%	Tuhot (m ²)	%
Erilliset pientalot	1 214 338	36,4	163 493 406	28,6	2 378	28,6	190 542	21,9
Rivi- ja ketjutalot	79 872	2,4	39 011 539	6,8	346	4,16	26 706	3,1
Asuinkerrostalot	59 464	1,8	94 917 093	16,6	1 191	14,3	84 437	9,7
Liikerakennukset	47 983	1,4	30 155 407	5,3	253	3,0	82 230	9,4
Teollisuusrakennukset	47 773	1,4	52 314 858	9,1	697	8,4	177 943	20,4
Luokat D–H, K ja L	147 256	4,4	98 400 434	17,2	953	11,5	136 514	15,7
Luokat B, M–N	1 214 338	36,4	163 493 406	28,6	2 378	28,6	190 542	21,9

2.2 Tuhoutumisaste

Rakennuspalojen omaisuusvahinkomalliin valittiin tarkasteltavaksi suureeksi tuhoutumisaste, so. vahingon pinta-ala jaettuna rakennuksen kerrosalalla. PRONTO-tilastoissa vahinkotiedot ovat saatavilla pinta-alana ja euroina, mutta niitä ei voi suoraan hyödyntää vertailtaessa erikokoisten palo-osastojen vahinkoja. Tästä syystä tarkasteltiin tuhoutumisastetta.

Kuva 1 esittää erillisten pientalojen tuhoutumisasteen jakauman tulipaloissa. Kuvaajasta nähdään, että pientaloissa vahingot ovat tavallisimmin joko hyvin vähäisiä tai hyvin suuria. Noin 20 %:ssa tapauksista tuhoutumisaste on alle 0,1 ja 45 %:ssa tapauksista yli 0,9. Rakennuksen tuhoutumisasteen keskiarvo on 0,61, mutta paloja, joissa tämä keskimääräinen tuhoutumisaste on toteutunut, on lukumääräisesti vähän.



Kuva 1. Tuhoutumisasteen jakauma erillisten pientalojen tulipaloissa.

2.3 Tuhoutumisasteen riippuvuus tarkastelluista muuttujista

Omaisuuksivahinkomallin muodostamista varten tarkasteltaviksi muuttujiksi valittiin hankkeen ohjausryhmässä ja työryhmässä käytyjen keskustelujen pohjalta ilmoitusaika (vuorokaudenaika), toimintavalmiusaika, rakennuksen koko (kerrosala) ja rakennuksen ikä. On huomattava, että on myös muita omaisuusvahingon odotusarvoon vaikuttavia muuttujia ja muuttujat eivät välttämättä ole toisistaan riippumattomia. Edellä mainittuja muuttujia pidettiin kuitenkin aiempaan kokemukseen perustuen merkityksellisimpinä ja kiinnostavimpina.

2.3.1 Asuinrakennukset

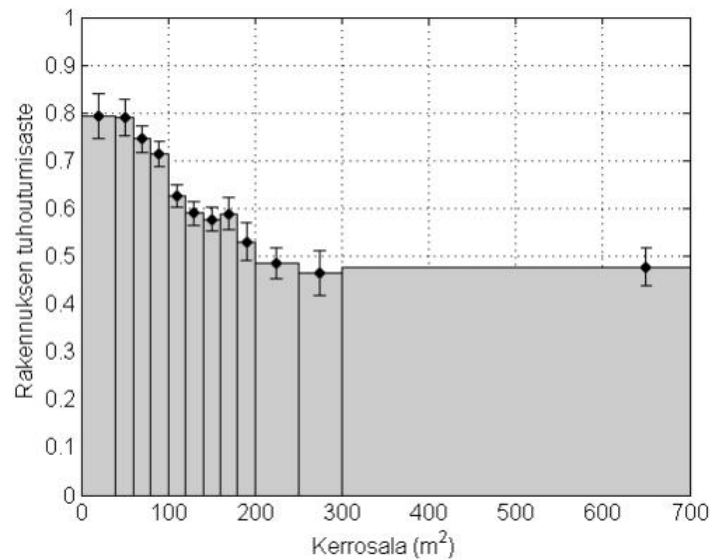
2.3.1.1 Erilliset pientalot

Erillisten pientalojen vahinkomallin muodostamiseen käytetyssä lähtöaineistossa vuosilta 2009–2012 oli yhteensä 1815 paloa, joista 1655 yhden asunnon pientaloissa ja 160 kahden asunnon pientaloissa. Alkuperäisestä tilastoaineistosta (2378 paloa) poistettiin tapaukset, joissa rakennus ei sopinut pientalon määrittelyyn (esim. enemmän kuin kaksi asuinhuoneistoa), tai keskeisen suureen kirjauksessa oli ilmeinen virhe. Tarkastellut suureet ja niiden keskiarvot ja keskihajonnat on esitetty taulukossa 4. Rakennuksen tuhoutumisaste laskettiin jakamalla vahingon pinta-ala rakennuksen kerrosalalla ja tyyppiasunnon tuhoutumisaste jakamalla vahingon pinta-ala rakennuskohtaisen tyyppiasunnon pinta-alalla.

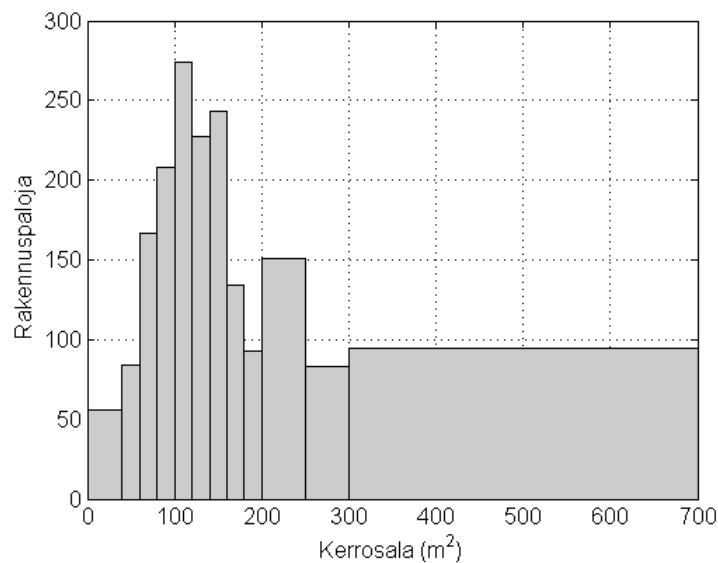
Taulukko 4. Erillisten pientalojen tarkastellut suureet.

Suure	Keskiarvo	Keskihajonta
Kerrosala (m ²)	144	86
Tyyppiasunnon pinta-ala (m ²)	135	77
Vahingon pinta-ala (m ²)	82	76
Ikä (a)	50	30
Toimintavalmiusaika (s)	629	355
Rakennuksen tuhoutumisaste	0,61	0,39
Tyyppiasunnon tuhoutumisaste	0,66	0,45

Kuva 2 esittää erillisten pientalojen keskimääräisen tuhoutumisasteen kerrosalaluokittain. Tarkasteltavat rakennukset jaettiin kerrosalaluokkiin, jotka valittiin siten, että jokaiseen luokkaan kuuluu vähintään noin 50 rakennuspaloa. Luokkajako aloitettiin kerrosalaltaan pienimmistä rakennuksista. Rakennuspalojen lukumäärä erillisten pientalojen kerrosalaluokissa ilmenee kuvasta 3. Kuvassa 2 pylvään korkeus esittää kerrosalaluokan tuhoutumisasteen keskiarvoa ja virhepalkki keskiarvon keskivirhettä. Kuvasta 2 havaitaan, että keskimääräinen tuhoutumisaste kasvaa rakennuksen kerrosalan pienentyessä.

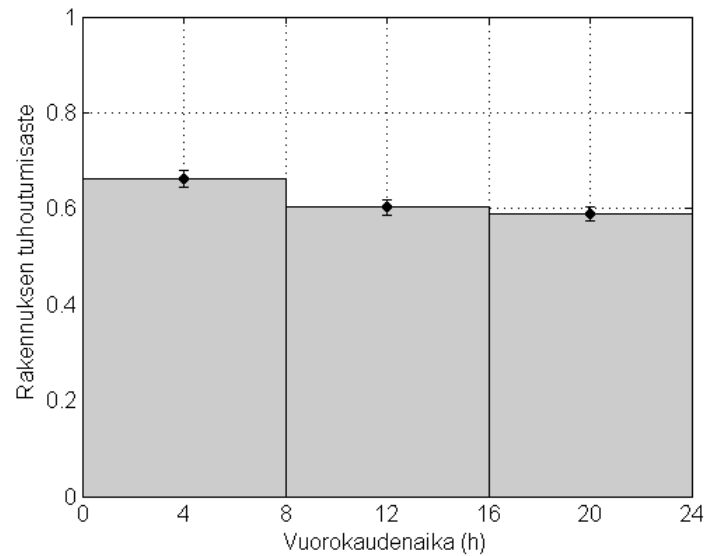


Kuva 2. Erillisten pientalojen keskimääräinen tuhoutumisaste kerrosalaluokittain.

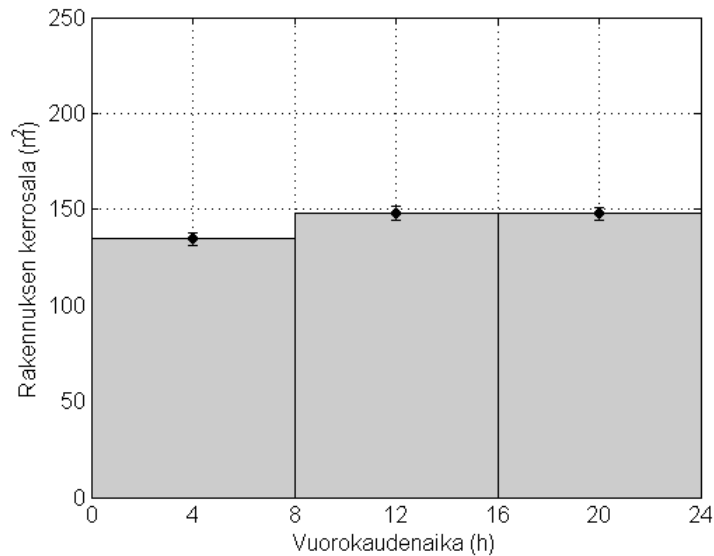


Kuva 3. Rakennuspalojen lukumäärä erillisten pientalojen kerrosalaluokissa.

Ilmoitusaikatarkastelua varten vuorokausi jaettiin kolmeen jaksoon, jotka olivat klo 0–8, 8–16 ja 16–24. Erillisten pientalojen keskimääräiset tuhoutumisasteet näillä luokitteluväleillä esitetään kuvassa 4. Tarkastelussa havaittiin, että ilmoitusaikajaksolla klo 0–8 erillisten pientalojen keskimääräinen tuhoutumisaste on noin 7 % korkeampi kuin muihin vuorokaudenaikoihin. Samalla kuitenkin havaittiin, että rakennusten keskimääräinen kerrosala kyseisellä ilmoitusaikavälillä tapahtuneissa tulipaloissa on pienempi kuin muina aikoina (kuva 5). Kun otetaan huomioon kuvassa 2 esitetty kerrosalan ja keskimääräisen tuhoutumisasteen välinen riippuvuus, näyttää mahdolliselta, että kerrosala olisi merkittävä selittävä tekijä ilmoitusajan suhteen havaitussa vaihtelussa.

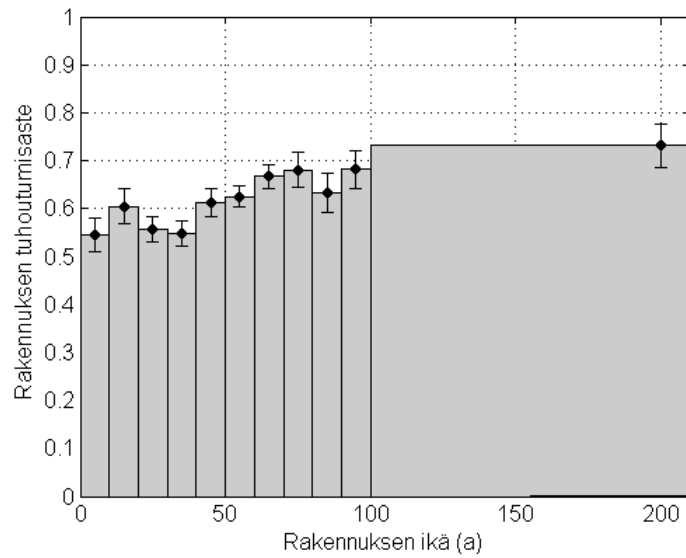


Kuva 4. Erillisten pientalojen keskimääräinen tuhoutumisaste ilmoitusaikaluokittain. Vuorokausi on jaettu luokitteluväleihin klo 0–8, klo 8–16 ja klo 16–24.

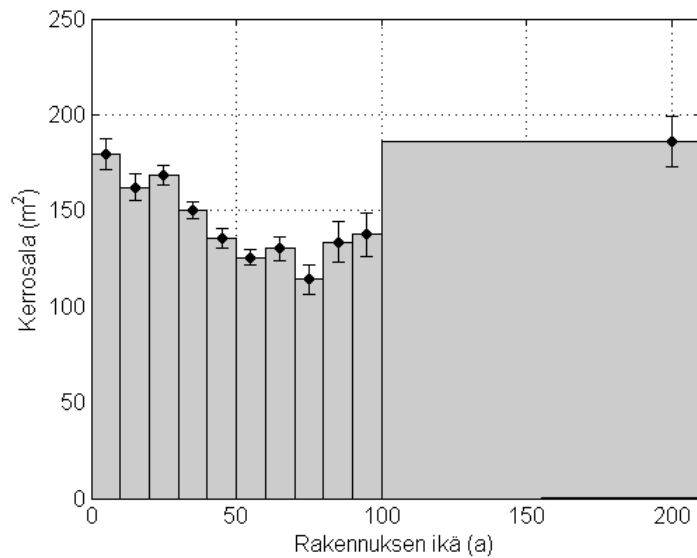


Kuva 5. Erillisten pientalojen keskimääräinen kerrosala ilmoitusaikaluokittain. Vuorokausi on jaettu luokitteluväleihin klo 0–8, klo 8–16 ja klo 16–24.

Kuva 6 esittää erillisten pientalojen keskimääräisen tuhoutumisasteen rakennuksen ikäluokan mukaan. Ikäluokajako toteutettiin siten, että jokaiseen luokkaan kuuluu vähintään noin 50 rakennuspaloa. Luokajako aloitettiin iältään nuorimmista rakennuksista. Kuvasta havaitaan, että uusilla rakennuksilla tuhoutumisasteen keskiarvo on pienempi kuin vanhoilla. Suurin ero erillisten pientalojen ikäluokkien välillä on noin 19 %. Tuloksia tarkasteltaessa on huomattava, että uusien rakennusten keskimääräinen kerrosala on suurempi kuin vanhempien (poikkeuksena vanhin rakennusikäluokka), kuten kuvasta 7 nähdään. Kuten edellä ilmoitusaikatarkastelun yhteydessä todettiin, voidaan pitää mahdollisena, että kerrosalalla olisi merkittävä rooli selittävänä tekijänä.

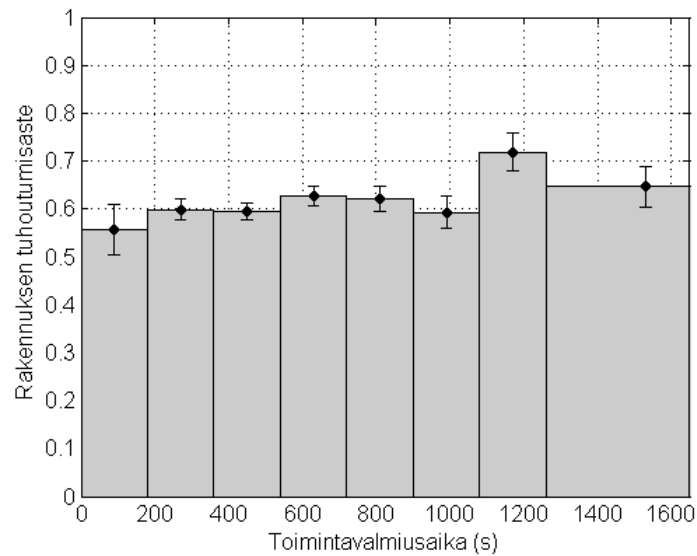


Kuva 6. Erillisten pientalojen keskimääräinen tuhoutumisaste ikäluokittain.

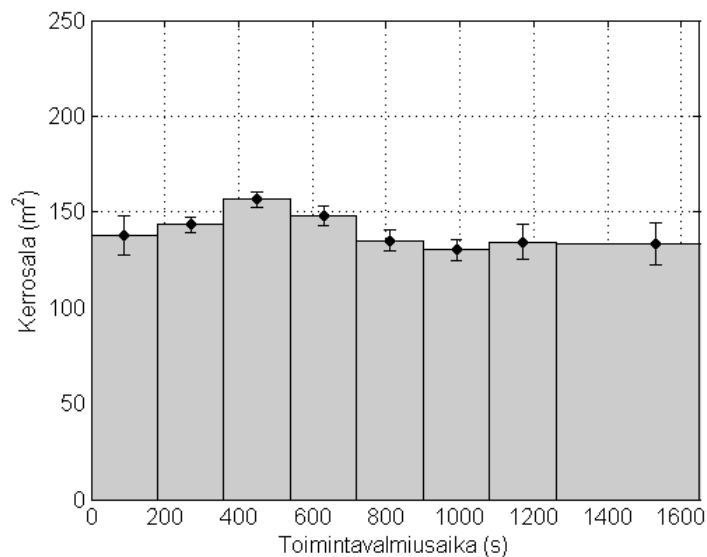


Kuva 7. Erillisten pientalojen keskimääräinen kerrosala ikäluokittain.

Kuvassa 8 nähdään erillisten pientalojen keskimääräinen tuhoutumisaste toimintavalmiusajaluokittain. Luokkajako on jälleen toteutettu siten, että jokaiseen luokkaan kuuluu vähintään noin 50 rakennuspaloa. Luokkajako aloitettiin pienimmistä toimintavalmiusajoista. Selkeää riippuvuutta keskimääräisen tuhoutumisasteen ja toimintavalmiusajan välille ei tässä tarkastelussa löydetty. Lisäksi tarkasteltiin keskimääräisiä kerrosaloja toimintavalmiusajaluokittain (Kuva 9).



Kuva 8. Erillisten pientalojen keskimääräinen tuhoutumisaste toimintavalmiusaikalukittain.



Kuva 9. Erillisten pientalojen keskimääräinen kerrosala toimintavalmiusaikalukittain.

2.3.1.2 Rivi- ja ketjutalot

Rivi- ja ketjutalojen vahinkomallin muodostamiseen käytetyssä lähtöaineistossa vuosilta 2009–2012 oli yhteensä 336 paloa. Alkuperäisestä tilastoaineistosta (346 paloa) poistettiin tapaukset, joissa rakennus ei sopinut rivi- tai ketjutalon määritelmään (esim. vähemmän kuin kolme asuinhuoneistoa), tai keskeisen suureen kirjauksessa oli ilmeinen virhe. Tarkastellut suuret ja niiden keskiarvot ja keskihajonnat on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Rivi- ja ketjutalojen tarkastellut suuret.

Suure	Keskiarvo	Keskihajonta
Kerrosala (m ²)	470	316
Tyypiasunnon pinta-ala (m ²)	86	48
Vahingon pinta-ala (m ²)	78	110
Ikä (a)	30	18
Toimintavalmiusaika (s)	439	180
Rakennuksen tuhoutumisaste	0,21	0,25
Tyypiasunnon tuhoutumisaste	1,23	1,87

Rivi- ja ketjutaloille tehtiin samankaltainen tarkastelu kuin edellä erillisille pientaloille. Keskimääräisen tuhoutumisasteen käytöstä tarkasteltiin kerrosala-, tyypiasunnon koko-, ilmoitusaika-, ikä- ja toimintavalmiusaikalukittain. Luokkajaot toteutettiin siten, että jokaiseen luokkaan tulee vähintään noin 50 rakennuspaloa. Tarkastelua varten piirretyt kuvaajat on esitetty liitteessä A. Johtopäätöksenä todettiin, että käytös muistuttaa erillisten pientalojen tapausta. Keskimääräinen tuhoutumisaste kasvaa selvästi rakennuksen ja tyypiasunnon pinta-alan pienentyessä. Näyttää myös mahdolliselta, että rakennuksen tai tyypiasunnon pinta-ala voisi olisi merkittävä selittävä tekijä muiden suureiden osalta havaituissa vaihteluissa. Tähän kysymykseen palataan myöhemmin kappaleessa 2.4.

2.3.1.3 Asuinkerrostalot

Asuinkerrostalojen vahinkomallin muodostamiseen käytetyssä lähtöaineistossa vuosilta 2009–2012 oli yhteensä 1170 paloa. Alkuperäisestä tilastoaineistosta (1191 paloa) poistettiin tapaukset, joissa rakennus ei sopinut asuinkerrostalon määritelmään (esim. vain yksi kerros), tai keskeisen suureen kirjauksessa oli ilmeinen virhe. Tarkastellut suuret ja niiden keskiarvot ja keskihajonnat esitetään taulukossa 6.

Taulukko 6. Asuinkerrostalojen tarkastellut suuret.

Suure	Keskiarvo	Keskihajonta
Kerrosala (m ²)	2900	2751
Tyypiasunnon koko (m ²)	92	65
Vahingon pinta-ala (m ²)	70	181
Ikä (a)	38	21
Toimintavalmiusaika (s)	346	137
Rakennuksen tuhoutumisaste	0,07	0,17
Tyypiasunnon tuhoutumisaste	0,95	2,28

Asuinkerrostaloille tehtiin samankaltainen tarkastelu kuin edellä erillisille pientaloille ja rivi- ja ketjutaloille. Keskimääräisen tuhoutumisasteen käytöstä tarkasteltiin kerrosala-, tyypiasunnon koko-, ilmoitusaika-, ikä- ja toimintavalmiusaikalukittain. Tarkastelut on esitetty liitteessä B. Johtopäätöksenä todettiin, että käytös muistuttaa jälleen erillisten pientalojen tapausta ja myös rivi- ja ketjutalojen tapausta. Keskimääräinen tuhoutumisaste kasvaa selvästi rakennuksen ja tyypiasunnon pinta-alan pienentyessä. Näyttää

myös mahdolliselta, että rakennuksen tai tyyppiasunnon pinta-ala olisi merkittävä selittävä tekijä muiden suureiden osalta havaituissa vaihteluissa.

2.3.2 Muut kuin asuinrakennukset

2.3.2.1 Liikerakennukset

Liikerakennusten vahinkomallin muodostamiseen käytetyssä lähtöaineistossa vuosilta 2009–2012 oli yhteensä 253 paloa. Tarkastellut suureet ja niiden keskiarvot ja keskihajonnat esitetään taulukossa 7.

Taulukko 7. Liikerakennusten tarkastellut suureet.

Suure	Keskiarvo	Keskihajonta
Kerrosala (m ²)	3161	6106
Vahingon pinta-ala (m ²)	325	1098
Ikä (a)	37	23
Toimintavalmiusaika (s)	422	422
Rakennuksen tuhoutumisaste	0,36	0,36

Liikerakennuksille tehtiin samankaltainen tarkastelu kuin edellä asuinrakennuksille. Keskimääräisen tuhoutumisasteen käytöstä tarkasteltiin kerrosala-, ilmoitusaika-, ikä- ja toimintavalmiusaikalukuokittain. Luokkajaot toteutettiin jälleen siten, että jokaiseen luokkaan tulee vähintään noin 50 rakennuspaloa. Tarkastelut on esitetty liitteessä C. Tarkastelussa havaittiin, että jälleen tuhoutumisasteen keskiarvo kasvaa kerrosalan pientyessä. Toisin kuin pien-, rivi- ja kerrostalojen tapauksissa, liikerakennusten kohdalla havaittiin, että keskimääräinen tuhoutumisaste eri toimintavalmiusaikalukuokissa ei ole likimainkaan vakio. Tuhoutumisaste kasvaa selvästi suurempiin toimintavalmiusaikalukuokkiin siirryttäessä. Toisaalta havaittiin, että myös rakennusten keskimääräinen kerrosala pienenee voimakkaasti suurempiin toimintavalmiusaikalukuokkiin siirryttäessä. Tämän perusteella näyttää mahdolliselta, että toimintavalmiusaika voisi olla toinen merkittävä selittävä tekijä kerrosalan ohella. On myös mahdollista, että vain toinen näistä suureista riittää selittämään havaitun käytöksen.

2.3.2.2 Teollisuusrakennukset

Teollisuusrakennusten vahinkomallin muodostamiseen käytetyssä lähtöaineistossa vuosilta 2009–2012 oli yhteensä 696 paloa. Alkuperäisestä tilastoaineistosta (697 paloa) poistettiin tapaus, jossa rakennuksen kerrosala oli kertaluokkaa suurempi kuin missään muussa palossa, ja vahinkojen pinta-ala vain 1 m². Tarkastellut suureet ja niiden keskiarvot ja keskihajonnat esitetään taulukossa 8.

Taulukko 8. Teollisuusrakennusten tarkastellut suureet.

Suure	Keskiarvo	Keskihajonta
Kerrosala (m ²)	7264	17541
Vahingon pinta-ala (m ²)	256	837
Ikä (a)	32	22
Toimintavalmiusaika (s)	474	236
Rakennuksen tuhoutumisaste	0,21	0,33

Keskimääräisen tuhoutumisasteen käytöstä tarkasteltiin kerrosala-, ilmoitusaika-, ikä- ja toimintavalmiusaikalukittain. Tarkastelut on esitetty liitteessä D. Muissa rakennusluokissa havaittu keskimääräisen tuhoutumisasteen ja kerrosalan välinen riippuvuus havaittiin myös teollisuusrakennuksille. Keskimääräinen tuhoutumisaste kasvaa selvästi rakennuksen kerrosalan pienentyessä. Pienempää vaihtelua havaittiin myös toimintavalmiusajan ja rakennuksen iän suhteen. Tässäkin tapauksessa näyttää kuitenkin mahdolliselta, että rakennuksen kerrosala olisi merkittävä selittävä tekijä muiden suureiden osalta havaituissa vaihteluissa.

2.3.2.3 Rakennusluokkien D, E, F, G, H, K ja L rakennukset

Rakennusluokkien D, E, F, G, H, K ja L vahinkomallin muodostamiseen käytetyssä lähtöaineistossa vuosilta 2009–2012 oli yhteensä 953 paloa. Tarkastellut suuret ja niiden keskiarvot ja keskihajonnat esitetään taulukossa 9.

Taulukko 9. Rakennusluokkien D, E, F, G, H, K ja L tarkastellut suuret.

Suure	Keskiarvo	Keskihajonta
Kerrosala (m ²)	2219	9293
Vahingon pinta-ala (m ²)	143	398
Ikä (a)	42	31
Toimintavalmiusaika (s)	549	343
Rakennuksen tuhoutumisaste	0,48	0,44

Keskimääräisen tuhoutumisasteen käytöstä tarkasteltiin kerrosala-, ilmoitusaika-, ikä- ja toimintavalmiusaikalukittain. Tarkastelut on esitetty liitteessä E. Keskimääräisen tuhoutumisasteen riippuvuus kerrosalasta muistuttaa jälleen aikaisemmin käsiteltyjen rakennusluokkien tapauksia: tuhoutumisaste kasvaa pienemmissä kerrosalaluokissa. Lisäksi havaittiin keskimääräisen tuhoutumisasteen selvä vaihtelu toimintavalmiusaikalukittain: tuhoutumisaste kasvaa suuremmilla toimintavalmiusaikalukilla. Toisaalta havaitaan, että keskimääräinen kerrosala pienenee voimakkaasti suurempiin toimintavalmiusaikalukkiin siirryttäessä — aivan kuten liikerakennusten tapauksessa. Myös johtopäätökset ovat samankaltaiset: on mahdollista, että vain toinen näistä suureista riittää selittämään havaitun käytöksen.

2.4 Omaisuuksivahinkomallin muodostaminen

Keskimääräisen tuhoutumisasteen käytöstä eri suureiden suhteen tarkasteltiin luvussa 2.3 kuvatulla tavalla. Tarkastelussa todettiin, että tuhoutumisaste pysyy monessa tapauksessa likimain vakiona tai ainakaan luokkakeskiarvojen keskivirheiden puitteissa ei voida osoittaa selvää riippuvuutta. Selkein vaihtelu havaittiin tyyppiasunnon pinta-alan ja rakennuksen kerrosalan suhteen. Muutamissa tapauksissa nähtiin vaihtelua toisenkin suureen, esimerkiksi toimintavalmiusajan, suhteen. Tarkasteltaessa näitä kahta yhdessä havaittiin niiden välillä riippuvuus. Esimerkiksi liikerakennuksilla keskimääräinen tuhoutumisaste kasvaa toimintavalmiusaikalukan kasvaessa ja rakennuksen kerrosalaluokan pienentyessä. Toisaalta toimintavalmiusaikalukan kasvaessa keskimääräinen kerrosala pienenee. Suuret eivät siis ole riippumattomia. Niiden välinen yhteys voisi selittyä esimerkiksi sillä, miten erikokoiset asunnot ovat jakautuneet pelastusasemien suhteen.

Omaisuuksivahinkomallin luomisessa lähdettiin liikkeelle yhden muuttujan mallista, jossa tuhoutumisaste riippuu vain tyyppiasunnon pinta-alasta tai rakennuksen kerrosalasta. Yhden muuttujan mallia päädyttiin

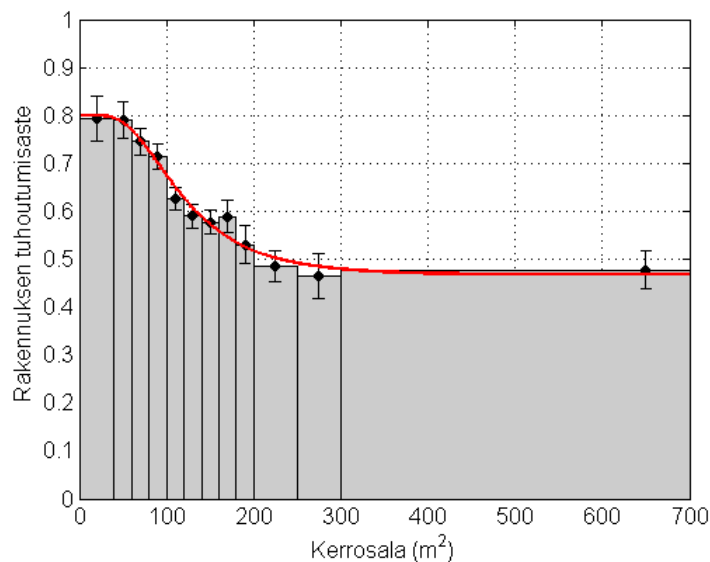
kokeilemaan, koska edellä kuvatut riippuvuustarkastelut osoittivat, että tyyppiasunnon pinta-ala (tai rakennuksen kerrosala) on keskimääräisen tuhoutumisasteen kannalta keskeinen selittävä suure. Malli tehtiin sovittamalla sopiva analyttinen funktio tyyppiasunnon pinta-ala vs. keskimääräinen tuhoutumisaste - kuvaajiin. Mallin käyttöalueeksi asetettiin pienimmän ja suurimman pinta-alaluokan välinen alue. Tämän alueen ulkopuolella tuhoutumisaste vakioitiin.

Yritemallin toimivuutta testattiin laskemalla sen antama ennuste jokaiselle palotapaukselle käytetyssä PRONTO-aineistossa ja vertaamalla toisiinsa ennustetun ja toteutuneen tuhoutumisasteen keskiarvoja eri suureiden suhteen luokitellussa aineistossa (vrt. luvussa 2.3 esitetty tarkastelu). Kaikille rakennuksille ei VTJ- ja PRONTO-aineistoista ollut määritettävissä tyyppiasuntokokoa. Yhden muuttujan vahinkomalli muodostettiin asuinrakennuksille sekä asunto- että rakennuskohtaisesti, ja muille rakennustyypeille rakennuskohtaisesti.

Esimerkkinä yhden muuttujan vahinkomallista ja sen testaamisesta tarkastellaan erillisten pientalojen rakennuskohtaista mallia. Kuva 10 esittää erillisten pientalojen rakennuskohtaisen vahinkomallin, jossa rakennuksen keskimääräinen tuhoutumisaste on ennustettu kerrosalan perusteella. Tuhoutumisasteen ennuste on muotoa

$$\bar{\chi}(A) = \frac{p_1 A^2 + p_2 A + p_3}{A^2 + q_1 A + q_2} \quad (2)$$

missä A on rakennuksen kerrosala ($[A] = \text{m}^2$) ja p_1, p_2, p_3, q_1 ja q_2 ovat vakioita. Mallin käyttöalue on $A \in [28 \text{ m}^2, 650 \text{ m}^2]$. Tämän alueen ulkopuolella tuhoutumisasteelle käytetään vakioarvoa (lähin käyttöalueen arvo).



Kuva 10. Erillisten pientalojen rakennuskohtainen yhden muuttujan vahinkomalli. Harmaat histogrammipylväät virhepalkkeineen edustavat PRONTO-kirjauksista laskettuja luokkakeskisarvoja. Näihin sovitettu yritefunktio on piirretty punaisella.

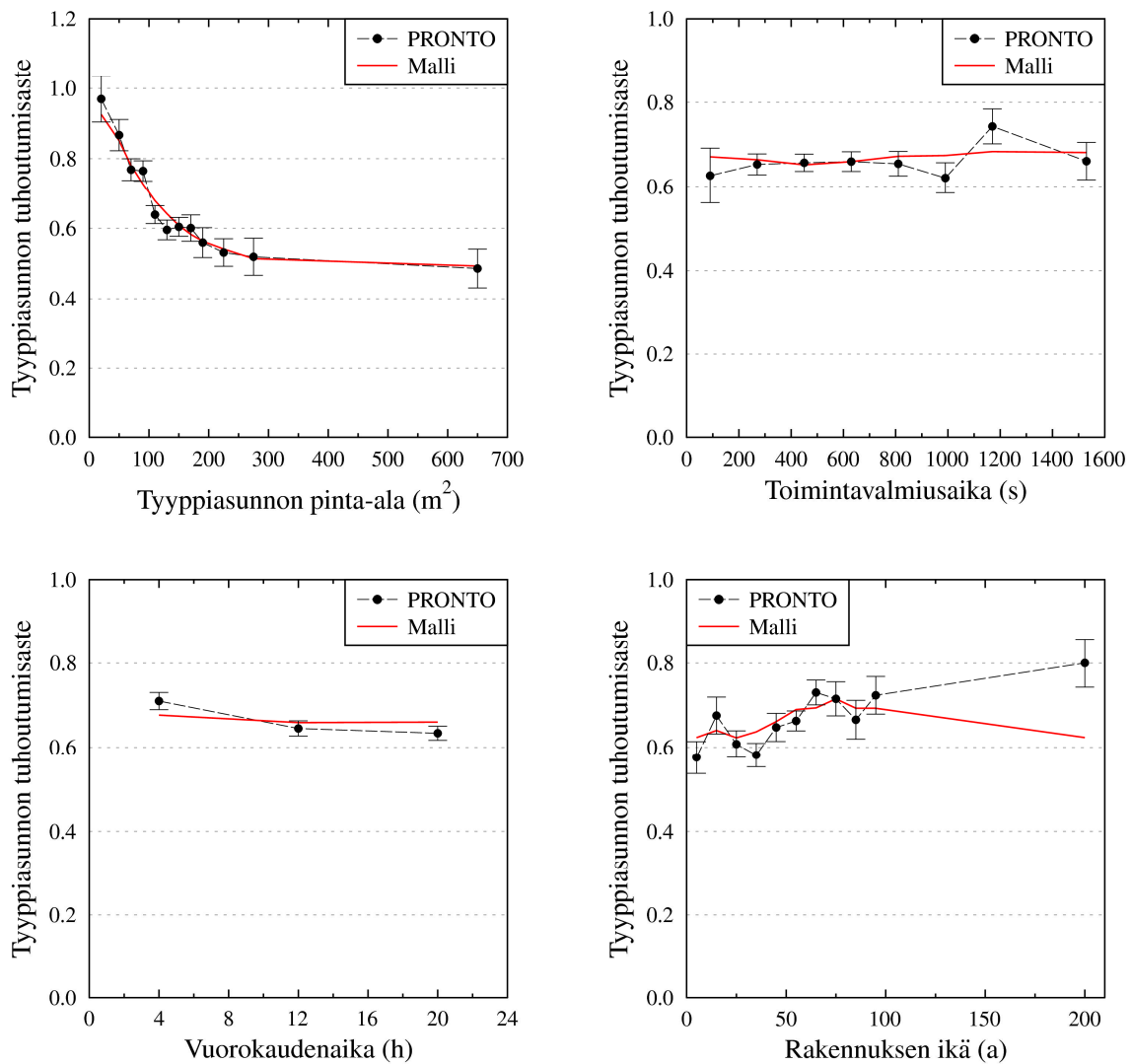
Malli toistaa keskimääräisen tuhoutumisasteen eri kerrosalaluokissa hyvin, koska se on sovitettukin tekemään niin. Varsinainen koetin on sen sijaan ennustetun tuhoutumisasteen käytös muiden suureiden suhteen. Näitä ovat ilmoitusaika, rakennuksen ikä ja toimintavalmiusaika. Vertailu toteutuneen tuhoutumisasteen kanssa on vielä keskeinen tutkimusaihe.

teen käyttöön on esitetty kuvassa 11. Kuvasta nähdään, että ainoa huomattava poikkeama ennustetun ja toteutuneen keskiarvon välillä (~10 %) löytyy rakennuksen iän suhteen luokiteltuna kaikkein vanhimmas-pientaloluokassa. Tämän poikkeaman merkitys on kuitenkin koko maan tasolla vähäinen, sillä vanhimpaan pientaloluokkaan kuuluu vain noin 2 % kaikista pientaloista. Muiden suureiden suhteen luokiteltuna keskiarvojen poikkeamat ovat vähäisiä.

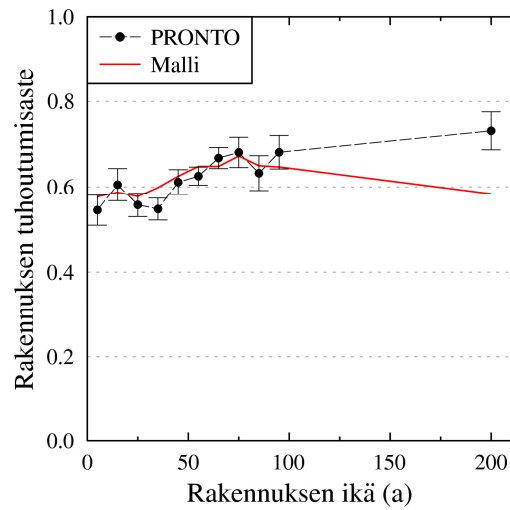
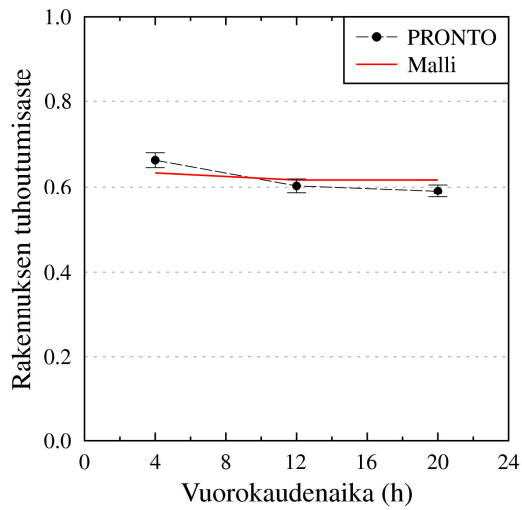
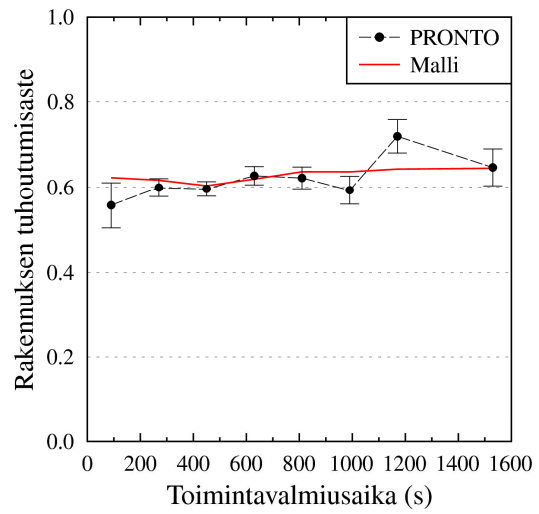
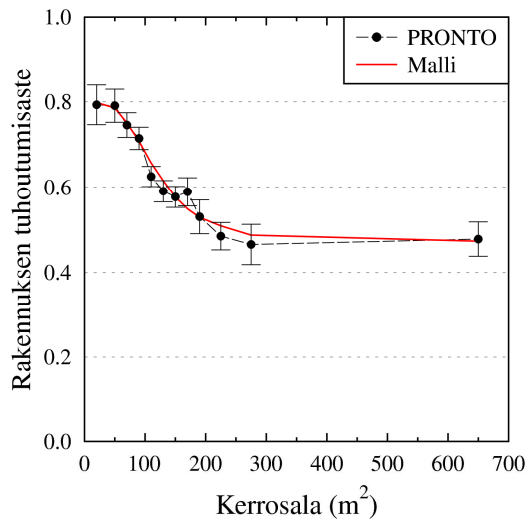
Menettely toistettiin vastaavalla tavalla kaikille tarkastelluille rakennusluokille. Tulokset esitetään kuvissa 11–19. Kuvien pisteet vastaavat histogrammipylväitä (vrt. kuva 10), jotka on luettavuuden parantamiseksi jätetty piirtämättä. Pisteitä yhdistävät katkoviivat eivät ole merkityksellisiä. Myös omaisuusvahinkomallin tuloksia esittävä punainen viiva on histogrammiesitys. Tässä tapauksessa virhepylväitä ei ole.

Yhden muuttujan vahinkomalli suoriutuu vertailusta varsin hyvin kaikkien rakennusluokkien kohdalla.

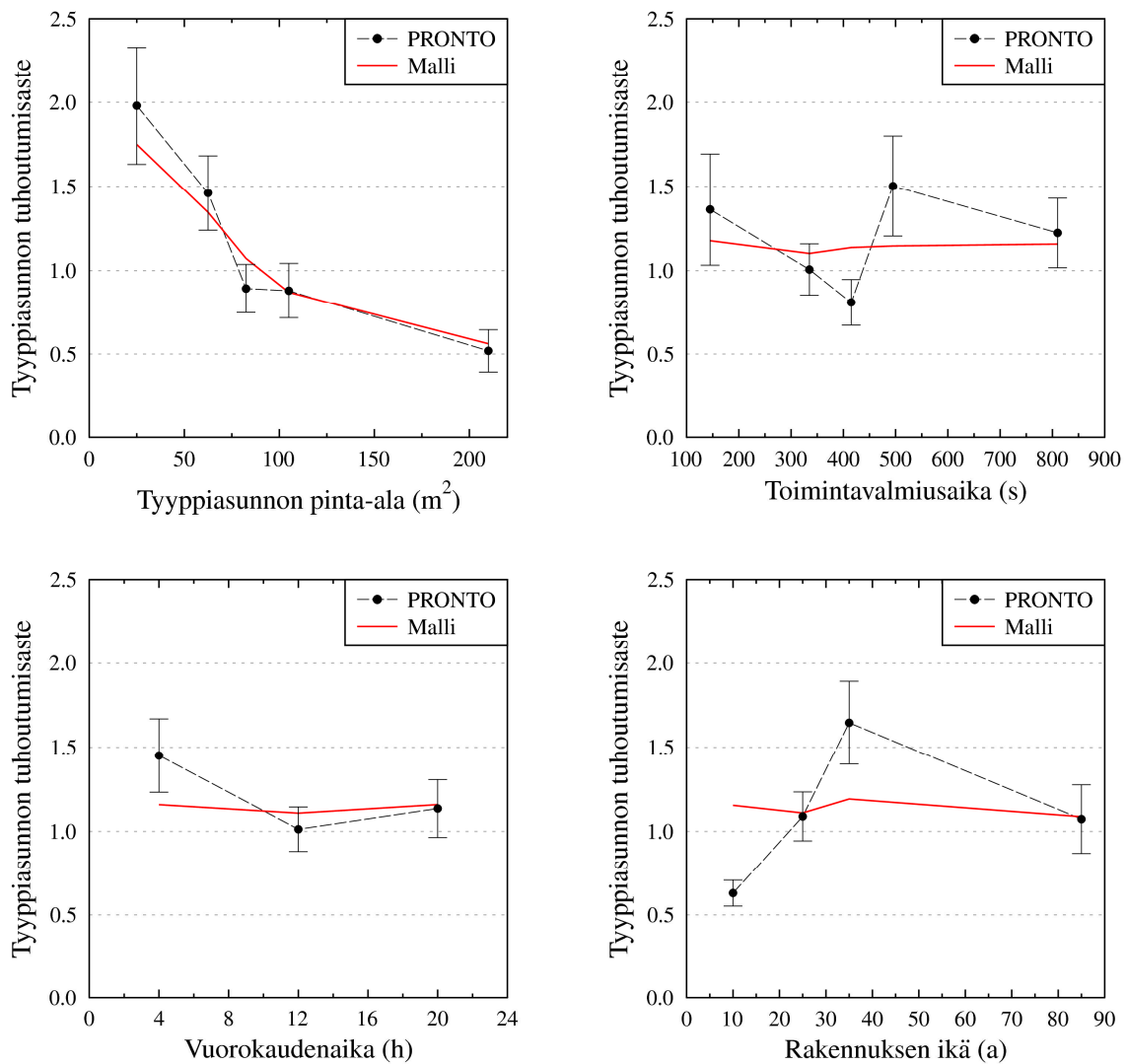
Omaisuusvahinkomallille muodostettiin rakennustyypeittäin analyttiset funktiot, jotka on koottu taulukoon 10. Funktioiden soviteparametrit on esitetty taulukossa 11.



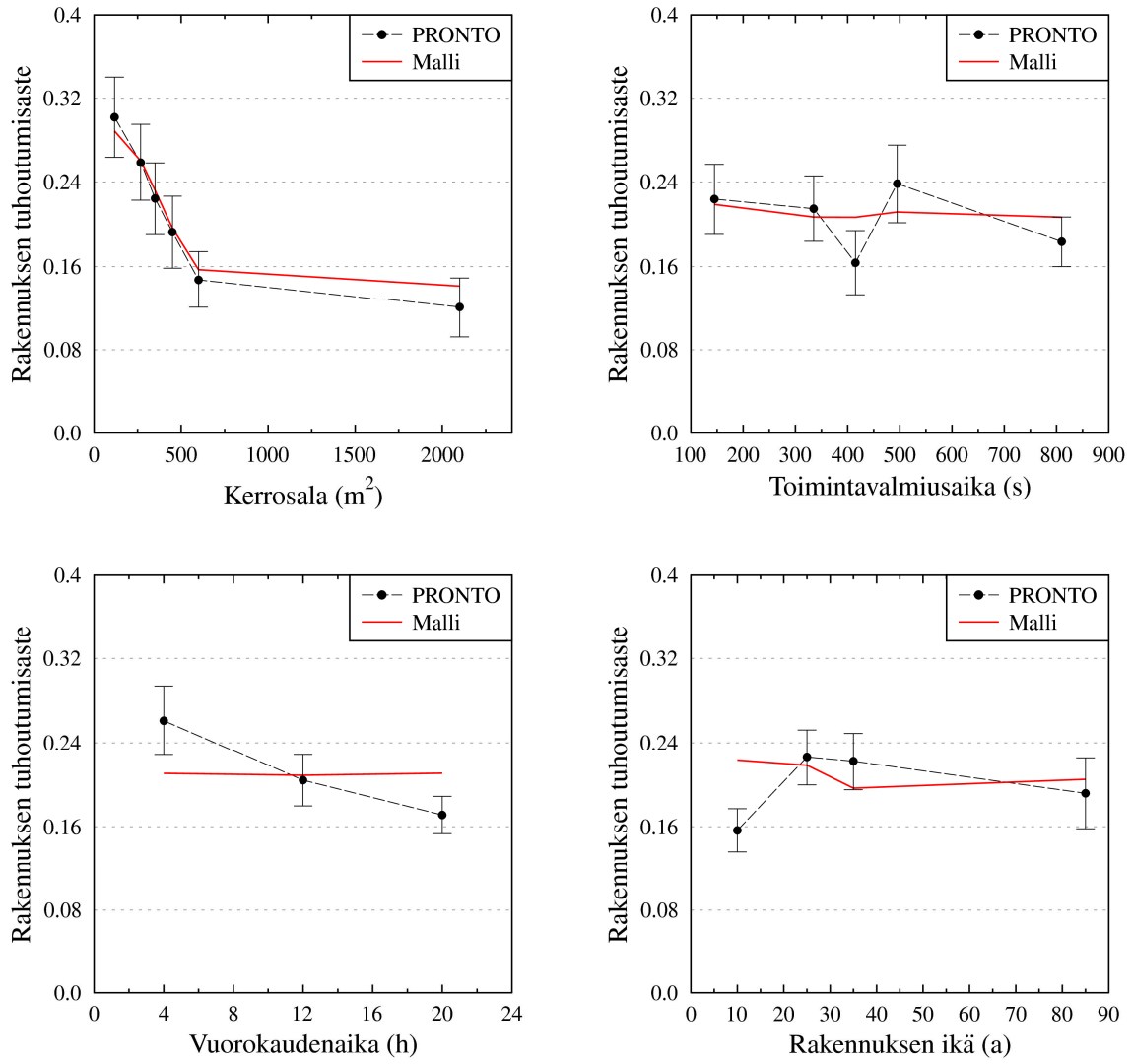
Kuva 11. Erillisten pientalojen asuntokohtaisen vahinkomallin ennusteet tuhoutumisasteen keskiarvolle tyypiasunnon pinta-alan, toimintavalmiusajan, ilmoitusajan ja rakennuksen iän mukaan luokiteltuna.



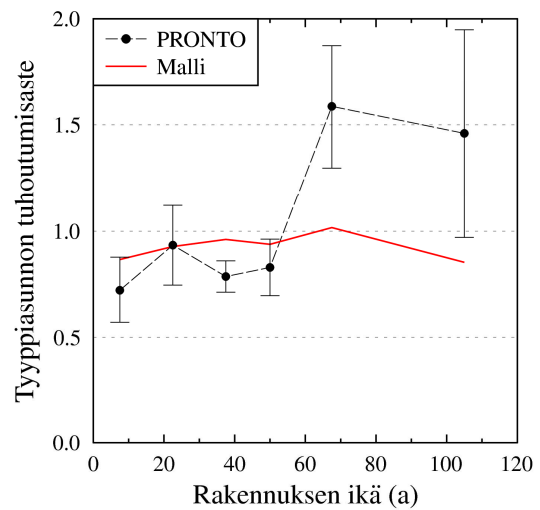
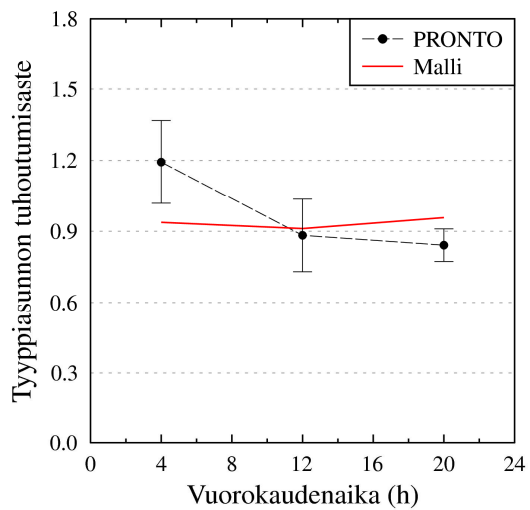
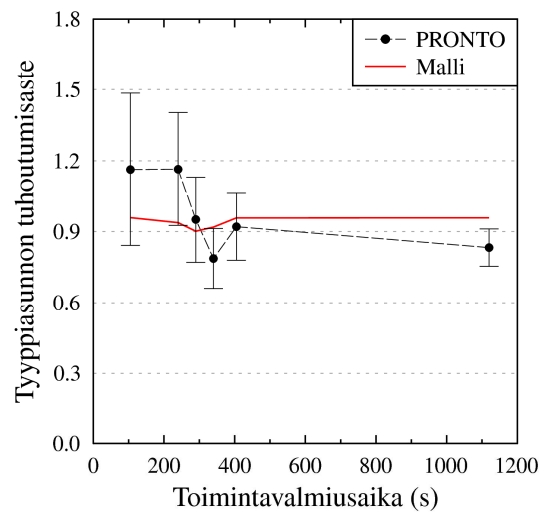
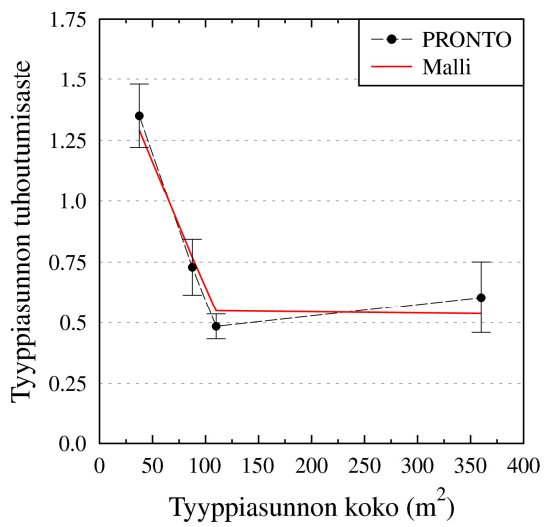
Kuva 12. Erillisten pientalojen rakennuskohtaisen vahinkomallin ennusteet tuhoutumisasteen keskiarvolle kerrosalan, toimintavalmiusajan, ilmoitusajan ja rakennuksen iän mukaan luokiteltuna.



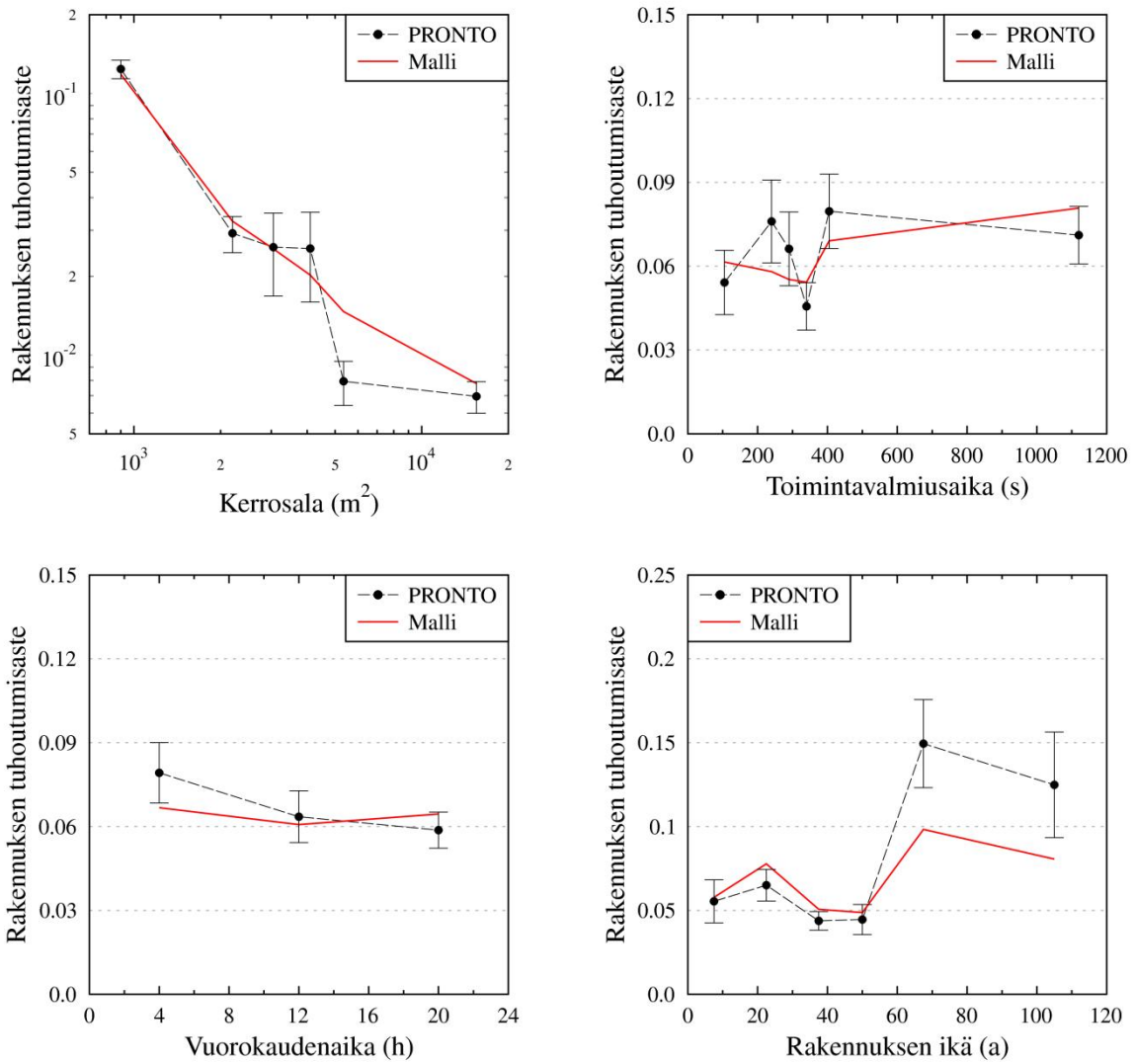
Kuva 13. Rivi- ja ketjutalojen asuntokohtaisen vahinkomallin ennusteet tuhoutumisasteen keskiarvolle tyyppiasunnon pinta-alan, toimintavalmiusajan, ilmoitusajan ja rakennuksen iän mukaan luokiteltuna.



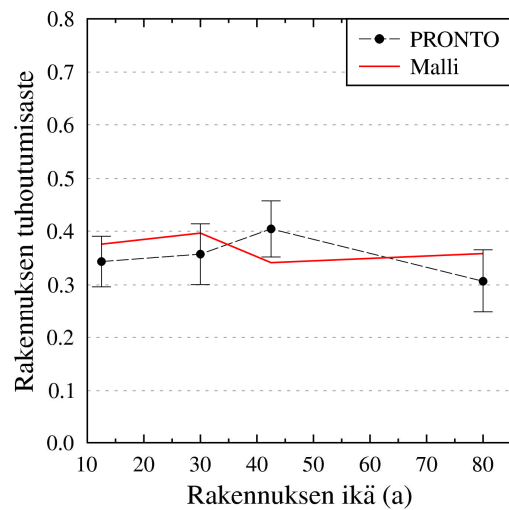
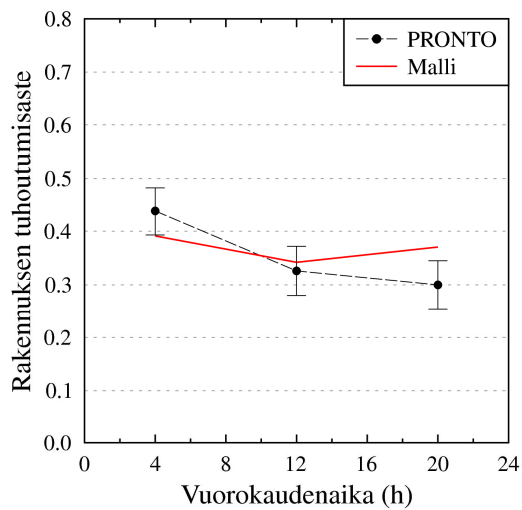
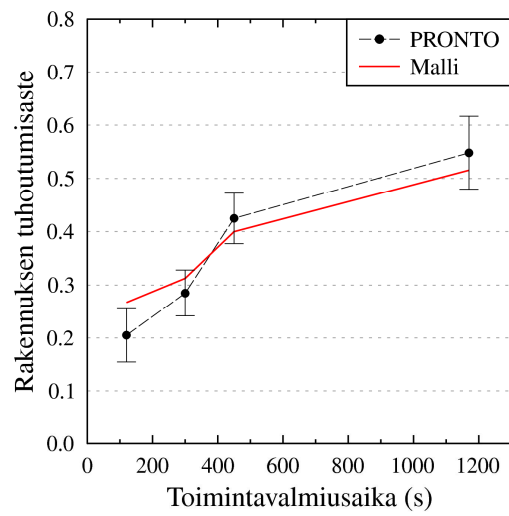
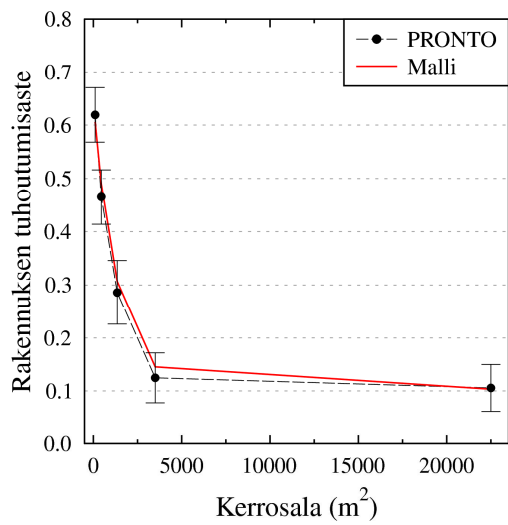
Kuva 14. Rivi- ja ketjutalojen rakennuskohtaisen vahinkomallin ennusteet tuhoutumisasteen keskiarvolle kerrosalan, toimintavalmiusajan, ilmoitusajan ja rakennuksen iän mukaan luokiteltuna.



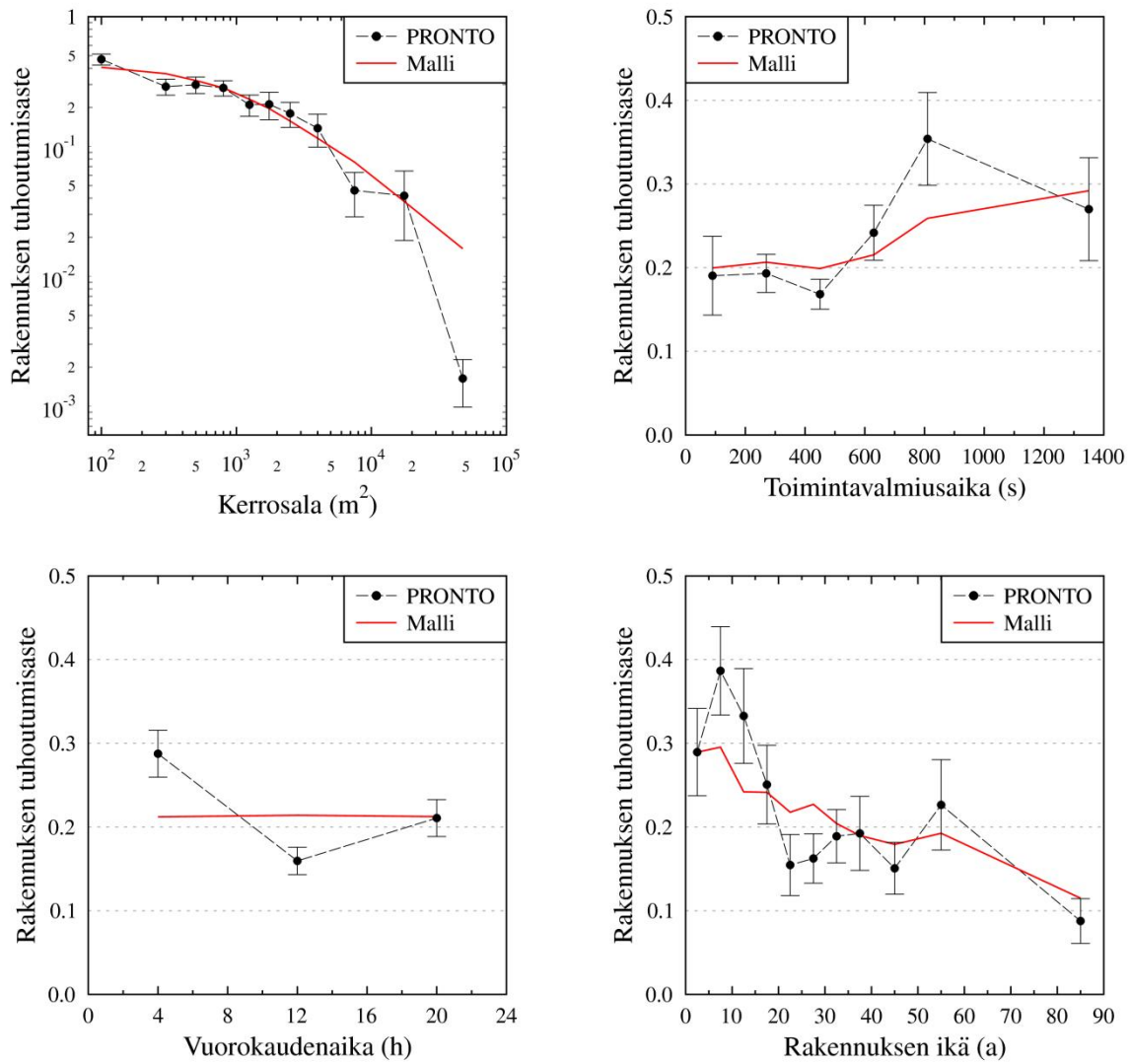
Kuva 15. Asuinkerrostalojen asuntokohtaisen vahinkomallin ennusteet tuhoutumisasteen keskiarvolle tyypiasunnon pinta-alan, toimintavalmiusajan, ilmoitusajan ja rakennuksen iän mukaan luokiteltuna.



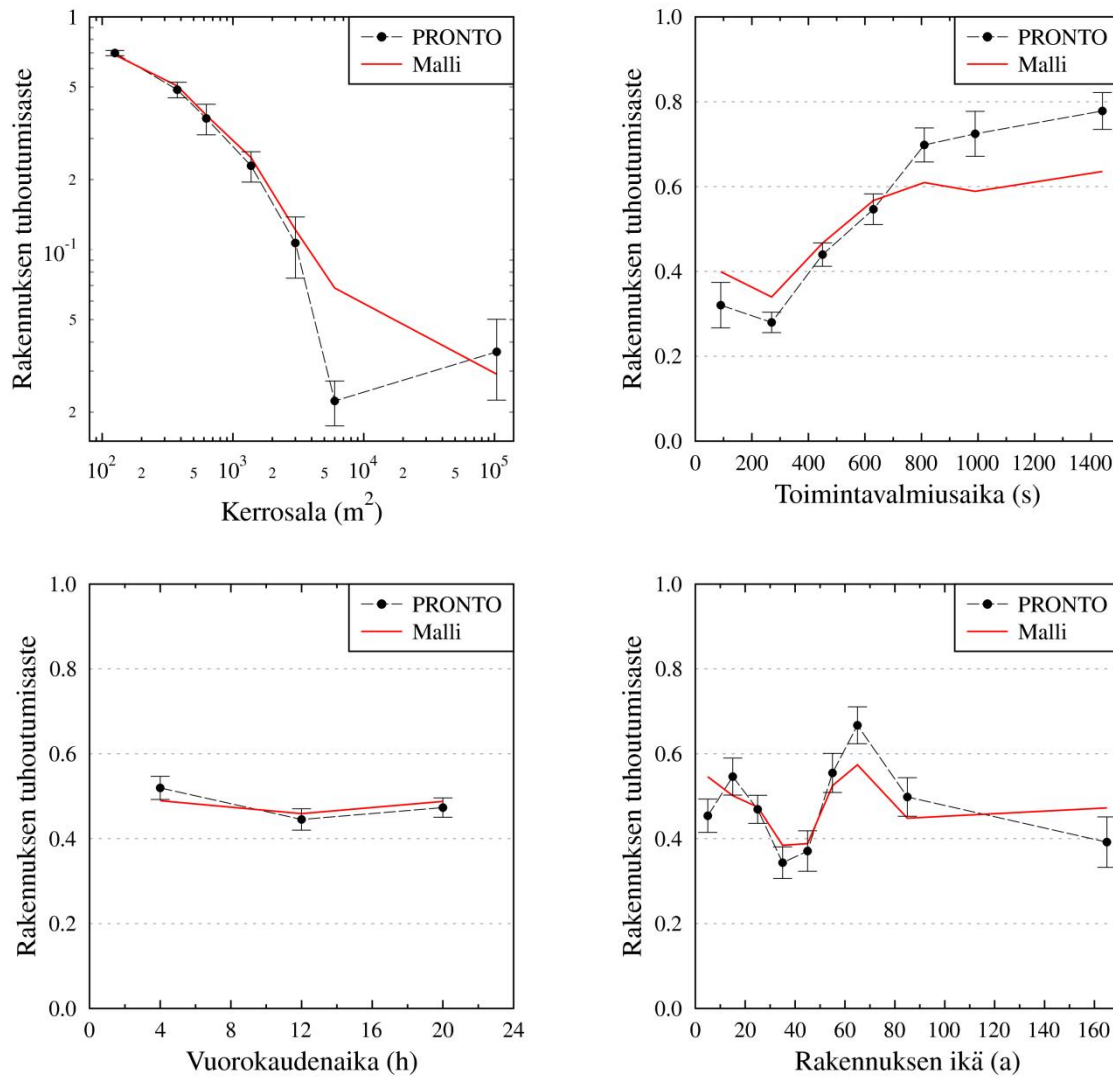
Kuva 16. Asuinkerrostalojen rakennuskohtaisen vahinkomallin ennusteet tuhoutumisasteen keskiarvolle kerrosalan, toimintavalmiusajan, ilmoitusajan ja rakennuksen iän mukaan luokiteltuna.



Kuva 17. Liikerakennusten rakennuskohtaisen vahinkomallin ennusteet tuhoutumisasteen keskiarvolle kerrosalan, toimintavalmiusajan, ilmoitusajan ja rakennuksen iän mukaan luokiteltuna.



Kuva 18. Teollisuusrakennusten rakennuskohtaisen vahinkomallin ennusteet tuhoutumisasteen keskiarvolle kerrosalan, toimintavalmiusajan, ilmoitusajan ja rakennuksen iän mukaan luokiteltuna.



Kuva 19. Rakennusluokkiin D, E, F, G, H, K ja L kuuluvien rakennusten rakennuskohtaisen vahinkomallin ennusteet tuhoutumisasteen keskiarvolle kerrosalan, toimintavalmiusajan, ilmoitusajan ja rakennuksen iän mukaan luokiteltuna.

Taulukko 10. Omaisuusvahinkomallin sovitefunktiot tuhoutumisasteen odotusarvolle rakennustyyteittäin (tyyppiasunnon pinta-ala tai rakennuksen kerrosala $[A] = m^2$).

Rakennustyyppi	Tyyppiasuntokohtainen malli	Rakennuskohtainen malli
Erilliset pientalot	$ae^{bA} + ce^{dA}$	$\frac{p_1A^2 + p_2A + p_3}{A^2 + q_1A + q_2}$
Rivi- ja ketjutilat	$ae^{bA} + ce^{dA}$	$\begin{cases} p_1A + p_2, & A \leq A_0 \\ q_1A + q_2, & A > A_0 \end{cases}$
Asuinkerrostalot	$\frac{p_1A^2 + p_2A + p_3}{A^2 + q_1A + q_2}$	$ae^{bA} + ce^{dA}$
Liikerakennukset	—	$ae^{bA} + ce^{dA}$
Teollisuusrakennukset	—	$\frac{p_1A + p_2}{A^2 + q_1A + q_2}$
Rakennusluokat DEFGHKL	—	$\frac{p_1A + p_2}{A + q_1}$

Taulukko 11. Omaisuusvahinkomallin analyttisten funktioiden parametrit.

Rakennustyyppi	Asuntokohtainen malli	Rakennuskohtainen malli	Käyttöalue
Erilliset pientalot	$a = 0,636$ $b = -0,01033$ $c = 0,4642$ $d = 7,268 \cdot 10^{-5}$	$p_1 = 0,482$ $p_2 = -61,38$ $p_3 = 1,028 \cdot 10^4$ $q_1 = -98,92$ $q_2 = 1,318 \cdot 10^4$	$A_{as} \in [20 \text{ m}^2, 650 \text{ m}^2]$ $A_{ra} \in [28 \text{ m}^2, 650 \text{ m}^2]$
Rivi- ja ketjutilat	$a = 3,2$ $b = -0,0148$ $c = 0,05026$ $d = 0,009617$	$p_1 = -0,0003498$ $p_2 = 0,3528$ $q_1 = -1,803 \cdot 10^{-5}$ $q_2 = 0,1586$ $A_0 = 600 \text{ m}^2$	$A_{as} \in [25 \text{ m}^2, 210 \text{ m}^2]$ $A_{ra} \in [118 \text{ m}^2, 2100 \text{ m}^2]$
Asuinkerrostalot	$p_1 = 0,810$ $p_2 = -141,6$ $p_3 = 8616$ $q_1 = -109,6$ $q_2 = 5275$	$a = 0,6109$ $b = -0,002687$ $c = 0,04997$ $d = -0,0002293$	$A_{as} \in [25 \text{ m}^2, 375 \text{ m}^2]$ $A_{ra} \in [250 \text{ m}^2, 16500 \text{ m}^2]$
Liikerakennukset	—	$a = 0,5587$ $b = -0,0008519$ $c = 0,09857$ $d = 3,036 \cdot 10^{-6}$	$A \in [100 \text{ m}^2, 22500 \text{ m}^2]$
Teollisuusrakennukset	—	$p_1 = 579,1$ $p_2 = 4,392$ $q_1 = 1307$ $q_2 = -0,7688$	$A \in [100 \text{ m}^2, 47500 \text{ m}^2]$
Rakennusluokat D, E, F, G, H, K ja L	—	$p_1 = 0,002029$ $p_2 = 382,1$ $q_1 = 419,8$	$A \in [125 \text{ m}^2, 104000 \text{ m}^2]$

2.5 Syttymistaajuusmalli

Syttymistaajuusmalli kuvaa rakennuksen kerrosneliötä kohden määritettyä syttymistodennäköisyyttä. Suomen rakennuspalojen syttymistaajuusmallin on aiemmin sovitettu kahden potenssifunktion summa, jota on kutsuttu yleistetyksi Barrois'n malliksi (kaava (3)) (Rahikainen 1998, Rahikainen & Keski-Rahkonen 1998, 2004, Tillander & Keski-Rahkonen 2001, 2003, Tillander 2004).

$$f'' = c_1 A^r + c_2 A^s, \quad (3)$$

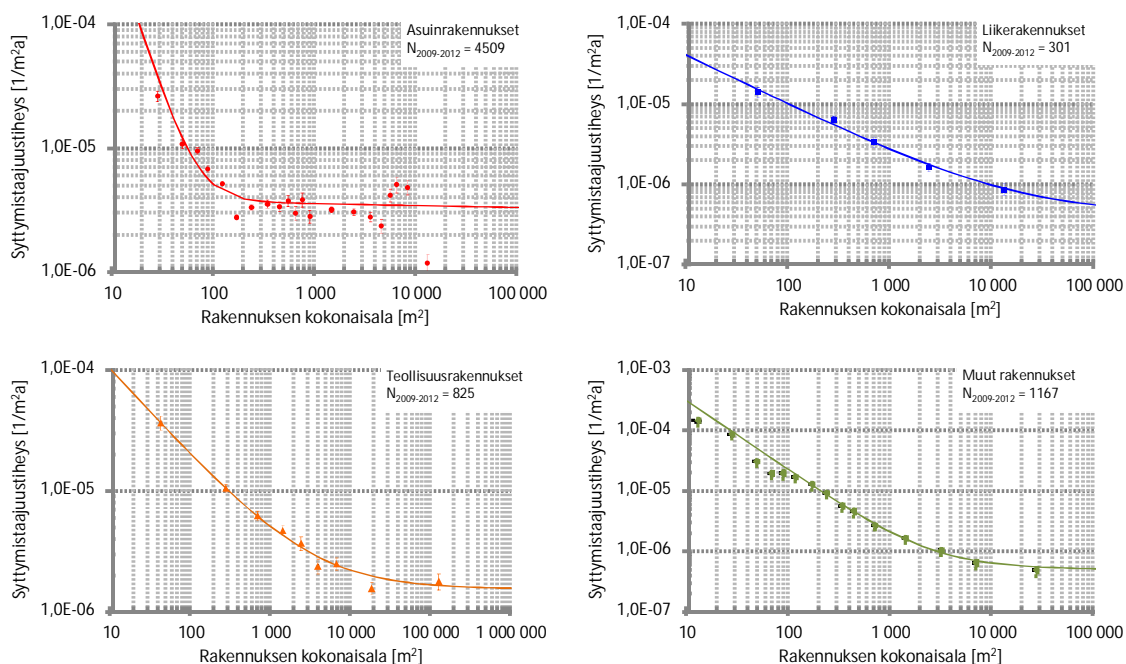
missä c_1 , c_2 , r ja s ovat kokeellisesti tilastoaineistosta määritettäviä parametreja.

Mallin parametreja on määritetty useaan kertaan aiemmin vanhemmasta tilastoaineistosta (Rahikainen 1998; Rahikainen & Keski-Rahkonen 1998, 2004; Tillander & Keski-Rahkonen 2001, 2003; Tillander

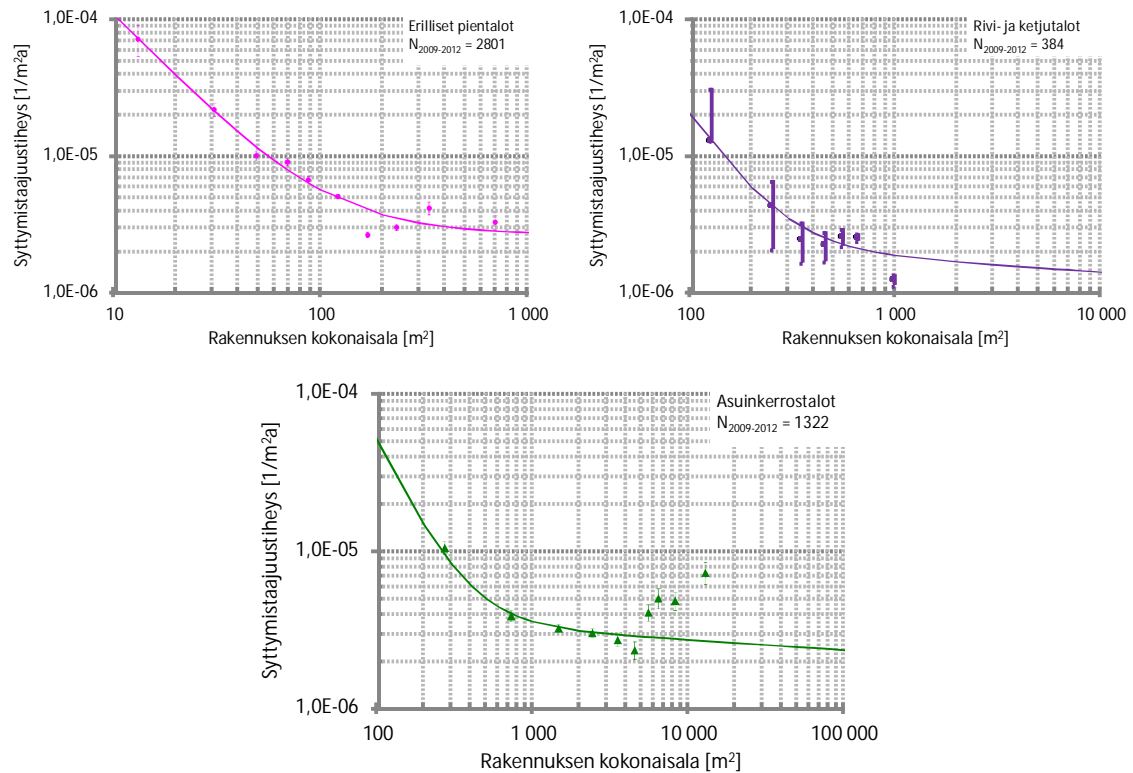
2004; Tillander et al. 2009). Tässä tutkimuksessa malli sovitettiin uuteen aineistoon vuosilta 2009–2012. Barrois'n mallin parametrit on esitetty taulukossa 12 ja sovitteet kuvissa 20 ja 21.

Taulukko 12. Barrois'n mallin parametrit.

Rakennustyyppi	Tunnus	c_1	c_2	r	s
Asuinrakennukset	A	0,13	3,8e-06	-2,50	-0,02
Erilliset pientalot		3,7e03	2,8e-06	-1,56	-0,01
Rivi- ja ketjutilat		0,60	3,4e-06	-2,27	-0,10
Asuinkerrostalot		0,59	4,8e-06	-2,06	-0,06
Liikerakennukset	C	1,6e-04	4,1e-07	-0,62	-0,001
Teollisuusrakennukset	J	5,1e-04	1,5e-06	-0,73	-0,001
Rakennusluokat DEFGHKL	DEFGHKL	4,0e-03	6,0e-07	-1,15	-0,02



Kuva 20. Syttymistaajuustiheys kerrosalan funktiona eri rakennustyypeissä. PRONTO:n rakennuspaloaineistoon perustuvat havainnot on merkitty kuvaan pisteillä.



Kuva 21. Syttymistäajuustiheys kerrosalan funktiona eri asuinrakennustyypeissä. PRONTO:n rakennuspaloaineistoon perustuvat havainnot on merkitty kuvaan pisteillä.

2.6 Omaisuusvahinkoriski

Rakennuspalojen omaisuusvahinkomalli tuottaa kullekin rakennukselle luvun, joka vastaa tuhojen keskimääräistä laajuutta, kun kyseisen rakennuksen kaltaisissa rakennuksissa on syttynyt tulipalo vuosina 2009–2012. Toisaalta syttymistäajuustiheysmalli tuottaa rakennuksen kerrosneliötä kohden määritetyn syttymistodennäköisyyden. Pelastustoimen ruutuaineistoon muodostettiin ruutukohtainen omaisuusvahinkoriski R (m^2/a) yhdistämällä kunkin ruudun rakennusten syttymistäajuustiheydet f'' (rakennuspaloa/ m^2/a), kerrosalat A (m^2) ja vastaavat omaisuusvahingon odotusarvot ($\text{m}^2/\text{rakennuspalo}$).

$$R_k = \sum_j \sum_i f_j''(A_{ijk}) \cdot A_{ijk} \cdot v_j(A_{ijk}) \quad (4)$$

missä f_j'' on rakennusluokan j syttymistäajuustiheysfunktio, A_{ijk} on ruudussa k sijaitsevan rakennustyyppin j rakennuksen i kerrosala, ja v_j on kerrosalasta riippuva omaisuusvahingon odotusarvo rakennusluokassa j . Summat lasketaan rakennusluokkien ja ruudussa sijaitsevien yksittäisten rakennusten yli. Omaisuusvahinkoriskin yksiköksi tulee m^2/a .

2.7 Omaisuuksvahinkojen lisätarkastelut

Omaisuuksvahinkomallin luomiseen käytetty tilastoaineisto (PRONTO 2009–2012) ei riittänyt erillisiin alueellisiin malleihin. Siksi vahinkomallista päädyttiin tekemään valtakunnallinen. Jotta saataisiin jonkinlainen arvio siitä, millaisia alueellisia vaihteluita rakennuspalojen tilastollisessa käytöksessä mahdollisesti on, päätettiin tehdä tarkastelut Helsingin asuinkerrostalojen ja Pirkanmaan erillisten pientalojen rakennuspalloista. Näiden tarkastelujen tuloksia verrattiin rakennuspalojen tilastolliseen käytökseen valtakunnallisella tasolla.

Toiseksi erillisen tarkastelun kohteeksi valittiin sprinklauksen vaikutus omaisuusvahinkoihin. Tätä varten analysoitiin Pirkanmaan liike- ja teollisuusrakennusten rakennuspalot tarkastelujakson ajalta.

2.7.1 Omaisuuksvahinkomallin alueellinen sovellettavuus

Omaisuuksvahinkomallin alueellisiin tarkasteluihin valittiin Helsingin kerrostalot ja Pirkanmaan erilliset pientalot. Valinta tehtiin tilastoaineiston riittävyyden perusteella. Helsingin ja Pirkanmaan aineistoja verrattiin koko maan ja muun maan (so. pois lukien kyseinen tarkastelualue) vastaaviin tilastotietoihin. Lähtöaineistona olivat PRONTO-järjestelmän kirjaukset vuosilta 2009–2012. Lähtöaineistokatsaus esitetään taulukoissa 13 ja 14.

Taulukko 13. Kerrostalopalot Helsingissä ja muualla Suomessa: alueellisten omaisuusvahinkotarkastelujen tunnuslukuja. Luvut ovat keskiarvoja (palojen määrää lukuun ottamatta).

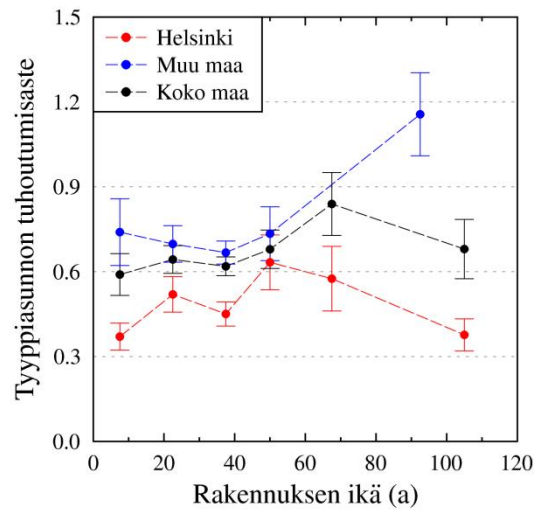
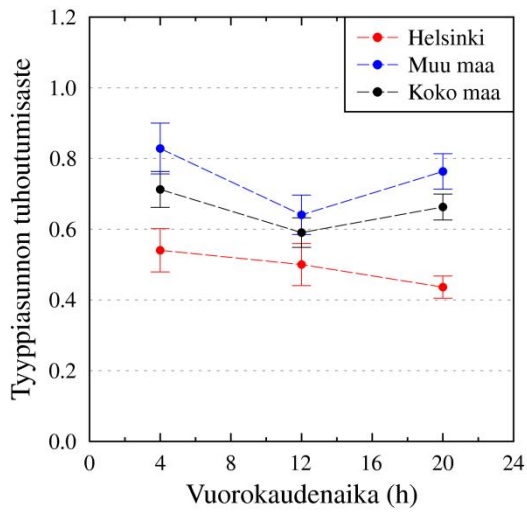
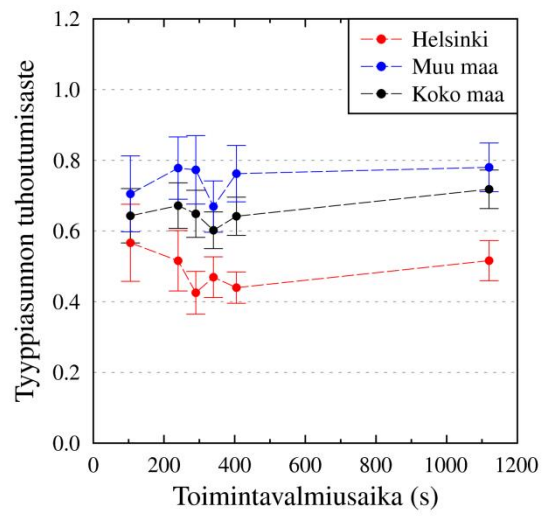
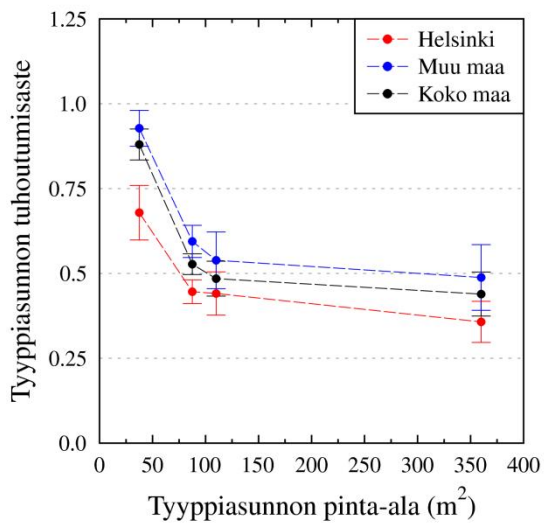
	Paloja	Tuhoutumisaste	Asuntokoko (m ²)	Asuntoja	Ikä (a)	Tva. (s)
Helsinki	353	0,49	98	51	44	324
Muu maa	795	0,75	89	27	37	356
Koko maa	1170	0,66	92	35	38	346

Taulukko 14. Pientalopalot Pirkanmaalla ja muualla Suomessa: alueellisten omaisuusvahinkotarkastelujen tunnuslukuja. Luvut ovat keskiarvoja (palojen määrää lukuun ottamatta).

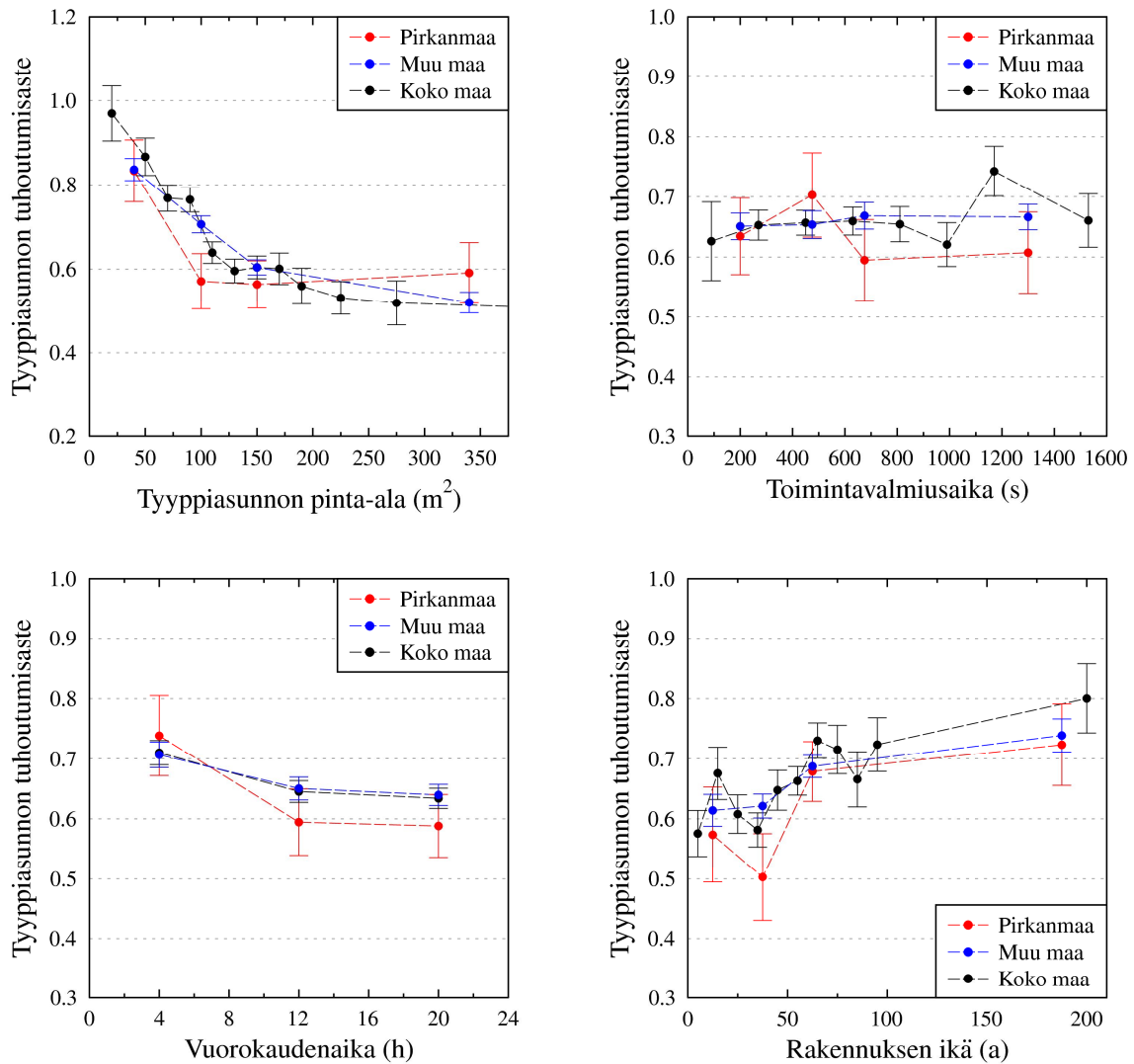
	Paloja	Tuhoutumisaste	Asuntokoko (m ²)	Ikä (a)	Tva. (s)
Pirkanmaa	204	0,63	140	56	633
Muu maa	2012	0,66	134	50	627
Koko maa	1815	0,66	135	50	629

Alueellisten vertailujen tulokset esitetään kuvissa 22 ja 23, joissa nähdään palo-osaston tuhoutumisasteen riippuvuus palo-osaston koosta, toimintavalmiusajasta, ilmoitusajasta ja rakennuksen iästä Helsingin kerrostaloille ja Pirkanmaan erillisille pientaloille.

Molemmissa alueellisissa tarkasteluissa havaittiin tasoeroja tuhoutumisasteessa tarkastelualueen ja valtakunnallisten tulosten välillä. Merkittävästi poikkeavaa käytöstä ei kuitenkaan tullut esiin. Valtakunnallinen malli on näin ollen sovellettavissa tarkastelualueilla. Malli ennustaa näille alueille hieman korkeampia tuhoutumisasteen arvoja kuin paikalliset tarkastelut antaisivat. Tasoero ei aiheuta ongelmia, koska mallin absoluuttisia numeroarvoja ei käytetä vahinkojen ennustamiseen vaan eri riskiryhmien vertailuun. Koska Helsingin kerrostalopalojen ja Pirkanmaan pientalopalojen tilastollinen käytös ei poikennut valtakunnallisesta, malli antaa kelvollisia tuloksia myös näillä alueilla.



Kuva 22. Tyyppiasunnon tuhoutumisasteen riippuvuus tarkastelluista muuttujista: Helsingin, muun maan ja koko maan kerrostalojen vertailu.



Kuva 23. Tuhoutumisasteen riippuvuus tarkastelluista muuttujista: Pirkanmaan, muun maan ja koko maan erillisten pientalojen vertailu.

2.7.2 Sprinklauksen vaikutus omaisuusvahinkoihin

Sprinklauksen vaikutusta omaisuusvahinkoihin tarkasteltiin Pirkanmaan liike- ja teollisuusrakennusten osalta, koska näistä rakennuksista oli käytettävissä luotettavat sprinklaustiedot. Työssä hyödynnettiin PRONTO-kirjauksia vuosilta 2009–2012. Tilastotiedot aineistosta esitetään taulukoissa 15–18. Tarkastelun tulokset esitetään lisäksi tiivistetyssä muodossa kuvassa 24. Keskimääräinen tuhoutumisaste kaikissa liike- ja teollisuusrakennusten sprinklatuissa paloissa on huomattavasti alhaisempi kuin kaikissa sprinklaamattomissa paloissa. Toisaalta sprinklatut rakennukset ovat tyypillisesti suurempia kuin sprinklaamattomat, ja suurilla kerrosaloilla tuhoutumisaste on muutenkin pienempi riippumatta sprinklauksesta. Kun aineisto jaetaan kerrosalaluokkiin, erot tuhoutumisasteessa sprinklattujen ja sprinklaamattomien rakennusten välillä ovat pienet. Kerrosalaluokkien sisällä rakennusten kokojakaumat saattavat tosin olla erilaiset, ja johtopäätösten tekemistä vaikeuttaa rajallinen aineisto. Tulipaloja sprinklatuissa liike- ja teollisuusrakennuksissa on ollut suhteellisen vähän.

Taulukko 15. Tilastotiedot sprinklaustarkastelun aineistosta: kaikki rakennuspalot (949 paloa, joista 253 liikerakennuksissa ja 696 teollisuusrakennuksissa).

	Tuhoutumisaste	%	Kerrosala (m ²)
Minimi	0,00002	0,00	5
Maksimi	1,00000	100,00	141757
Mediaani	0,02740	2,74	1197
Keskiarvo	0,24797	24,80	6170
Keskihajonta	0,35872	35,87	15453
Keskivirhe	0,01164	1,16	502

Taulukko16. Tilastotiedot sprinklaustarkastelun aineistosta: sprinklatut rakennuspalot (220 paloa, joista 27 liikerakennuksissa ja 193 teollisuusrakennuksissa).

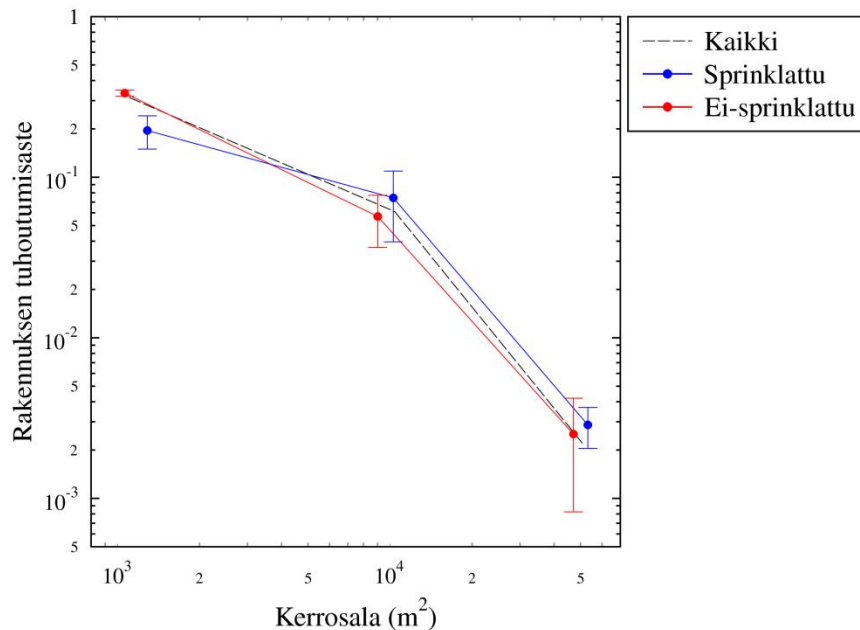
	Tuhoutumisaste	%	Kerrosala (m ²)
Minimi	0,00001	0,00	9
Maksimi	1,00000	100,00	122500
Mediaani	0,00560	0,56	7067
Keskiarvo	0,09325	9,33	17020
Keskihajonta	0,24058	24,06	25483
Keskivirhe	0,01622	1,62	1718

Taulukko 17. Tilastotiedot sprinklaustarkastelun aineistosta: tapaukset, joissa sprinkleri toimi (123 paloa, joista 12 liikerakennuksissa ja 111 teollisuusrakennuksissa).

	Tuhoutumisaste	%	Kerrosala (m ²)
Minimi	0,00003	0,00	9
Maksimi	1,00000	100,00	122500
Mediaani	0,00667	0,67	7100
Keskiarvo	0,10110	10,11	19603
Keskihajonta	0,24566	24,57	29896
Keskivirhe	0,02215	2,22	2696

Taulukko 18. Tilastotiedot sprinklaustarkastelun aineistosta: ei-sprinklatut rakennuspalot (729 paloa, joista 226 liikerakennuksissa ja 503 teollisuusrakennuksissa).

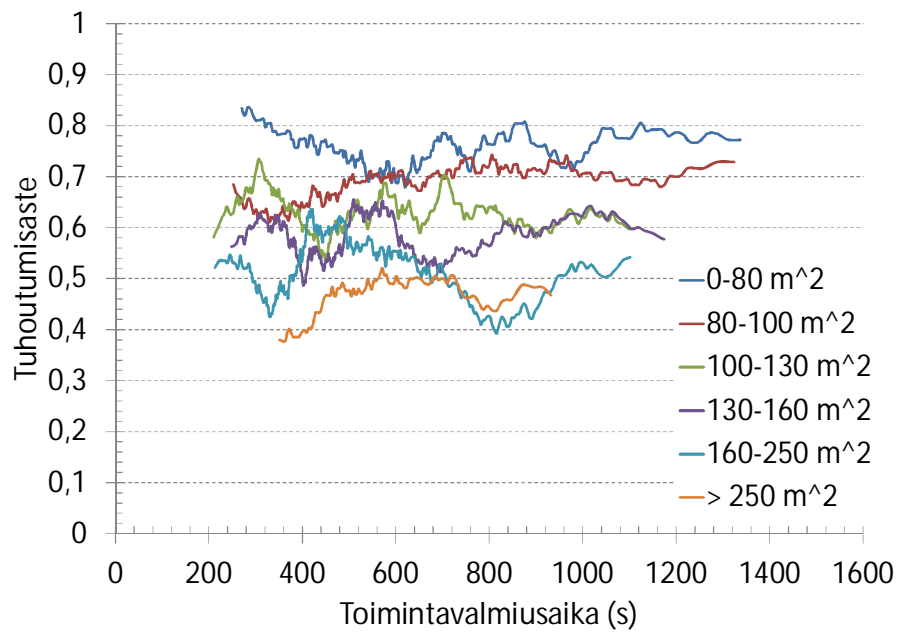
	Tuhoutumisaste	%	Kerrosala (m ²)
Minimi	0,00002	0,00	5
Maksimi	1,00000	100,00	141757
Mediaani	0,07500	7,50	800
Keskiarvo	0,29467	29,47	2896
Keskihajonta	0,37515	37,52	8324
Keskivirhe	0,01389	1,39	308



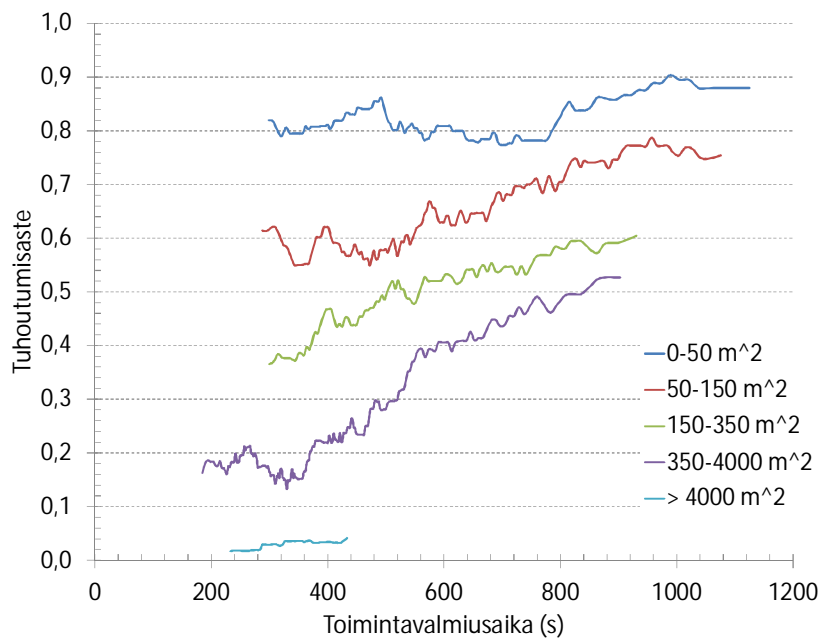
Kuva 24. Keskimääräinen tuhoutumisaste sprinklatuissa ja sprinklaamattomissa liike- ja teollisuusrakennuksissa.

2.7.3 Toimintavalmiusajan merkitys omaisuusvahinkojen kannalta

Omaisuusvahinkomallia muodostettaessa ei löydetty mitään yksiselitteistä riippuvuutta tuhoutumisasteen ja toimintavalmiusajan välillä. Havaintoa pidettiin yllättävänä ja sen arveltiin johtuvan siitä, että toimintavalmiusajan vaikutus vahinkoihin peittyi rakennuksen kerrosalan (tai tyyppiasunnon pinta-alan) dominoivan vaikutuksen alle. Tästä syystä päädyttiin tarkastelemaan toimintavalmiusajan vaikutusta kaapeammissa kerrosalaluokissa. Kuvissa 25 ja 26 esitetään tuhoutumisasteen riippuvuus toimintavalmiusajasta erillisille pientaloille ja luokkiin D, E, F, G, H, K ja L kuuluville rakennuksille. Kuvaajien piirtämiseksi aineisto järjestettiin toimintavalmiusajan mukaan ja käyrien kukin piste on liukuva keskiarvo 60 tulipalotapauksesta. Omaisuusvahinkomallia muodostettaessa keskimääräisen tuhoutumisasteen havaittiin kasvavan kun rakennuksen kerrosala pienenee, joten eri kokoluokkien käyrien väliset tasoerot aiheutuvat rakennuksen koosta. Erillisten pientalojen tapauksessa (kuva 25) ei tässäkään tarkastelussa nähty selkeää riippuvuutta toimintavalmiusajan ja tuhoutumisasteen välillä. Luokkiin D, E, F, G, H, K ja L kuuluvien rakennusten osalta (kuva 26) sen sijaan havaitaan keskimääräisen tuhoutumisasteen kasvavan toimintavalmiusajan kasvaessa erityisesti suuremmissa kerrosalaluokissa. Ylimmässä kerrosalaluokassa (yli 4000 m²) aineisto ei riitä luotettavaan arviointiin.



Kuva 25. Erillisten pientalojen tuhoutumisasteen riippuvuus toimintavalmiusajasta eri kerrosalaluokissa.



Kuva 26. Luokkien D, E, F, G, H, K ja L rakennusten tuhoutumisasteen riippuvuus toimintavalmiusajasta eri kerrosalaluokissa.

3 Rakennuspalojen henkilövahinkoriski

Henkilövahinkoriskin mallinnukseen valittiin tarkastelukohteeksi asuinrakennukset, koska yli 95 % tulipalojen vakavista henkilövahingoista tapahtuu asuntopaloissa (ks. taulukko 1). Tavoitteena oli määrittää asuinrakennukselle henkilövahinkotaajuus (henkilövahinkoa/a) seuraavasti:

$$\text{henkilövahinkotaajuus} = \text{syttymistäajuustiheys} \times \text{rakennuksen kerrosala} \times \text{henkilövahingon todennäköisyys}$$

Henkilövahinkomallia kehitettäessä pyrittiin löytämään riippuvuuksia henkilövahingon todennäköisyyden ja palotapahtumaa kuvaavien suureiden välillä. Tarkasteltaviksi valittiin samat suureet kuin omaisuusvahinkomallin tapauksessa: ilmoitusaika, toimintavalmiusaika, rakennuksen kerrosala, tyyppiasunnon pinta-ala ja rakennuksen ikä.

3.1 Käytetty aineisto

3.1.1 Onnettomuustiedot

Henkilövahinkomallin lähtöaineistona käytettiin PRONTO-tietoja vuosilta 1996–2012. Lähtöaineistoa tarvittiin pidemmältä ajalta kuin omaisuusvahinkojen tapauksessa, koska henkilövahinko tulipalossa on suhteellisen harvinaisen tapahtuma. PRONTO-järjestelmästä poimittiin asuinrakennuspalot, joissa oli tapahtunut henkilövahinko. Henkilövahingoiksi tulkittiin kuolemantapaukset ja vakavat loukkaantumiset. Rakennuspalovaarat jätettiin tarkastelun ulkopuolelle. Onnettomuustietoja asuinrakennustyypeittäin (erilliset pientalot, rivi- ja ketjutalot ja asuinkerrostalot) kuvaa taulukko 19.

Taulukko 19. Tilastotietoja henkilövahinkomallin kehittämisessä käytetystä aineistosta.

	Pientalot	%	Rivitalot	%	Kerrostalot	%	Kaikki	%
Paloja yhteensä	14892	100,00	2362	100,00	8344	100,00	25598	100,00
Paloja (henk. vah.)	643	4,32	120	5,08	513	6,15	1276	4,98
Paloja (ei henk. vah.)	14249	95,68	2242	94,92	7831	93,85	24322	95,02
Henkilövahinkoja	753	-	132	-	599	-	1484	-
Henk. vah. per palo	0,051	-	0,056	-	0,072	-	0,058	-

3.1.2 Rakennuskanta

VTJ-aineiston perusteella muodostettuja rakennuskantajakaumia käytettiin karkeana vertailuaineistona eri suureiden vaikutuksen arvioinnissa. Jos jollakin suureella näytti olevan vaikutusta henkilövahinkorisktiin, suoritettiin tarkempi tarkastelu laajemman onnettomuustietoaineiston perusteella. Tällöin otettiin PRONTO-järjestelmästä tiedot kaikista rakennuspalotapauksista mukaan lukien myös ne rakennuspalot, joissa ei ollut tapahtunut henkilövahinkoa. Tarkasteltavaksi suureeksi valittiin henkilövahinkojen lukumäärä rakennuspaloa kohden ja analysoitiin sitä eri ilmoitusaika-, palo-osastokoko-, toimintavalmiusaika- ja rakennuksen ikäluokissa. Menettely oli siis analoginen omaisuusvahinkomallin tuhoutumisastetarkastelun kanssa.

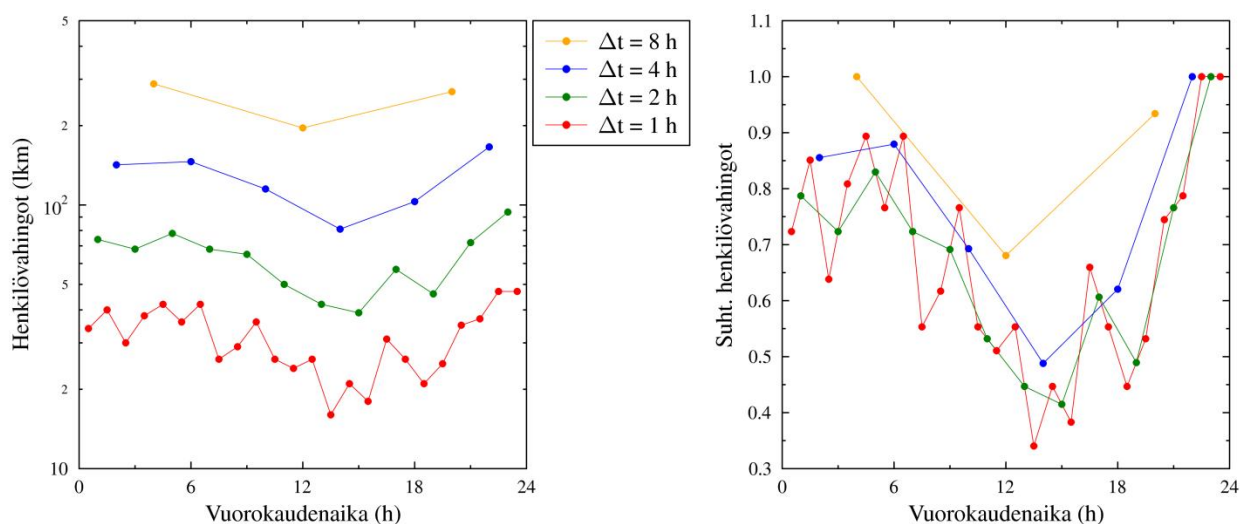
VTJ- ja PRONTO-aineistojen vertailussa on huomattava, että VTJ-aineisto edustaa vuoden 2013 tilannetta ja PRONTO-aineisto ajoittuu 17 vuoden ajanjaksolle 1996–2012.

3.2 Henkilövahinkoriskin riippuvuus tarkastelluista muuttujista

Tässä luvussa esitellään henkilövahinkoriskin riippuvuutta ilmoitusajasta, palo-osastokoosta, toimintavalmiusajasta ja rakennuksen iästä asuinrakennustyyppikohtaisesti.

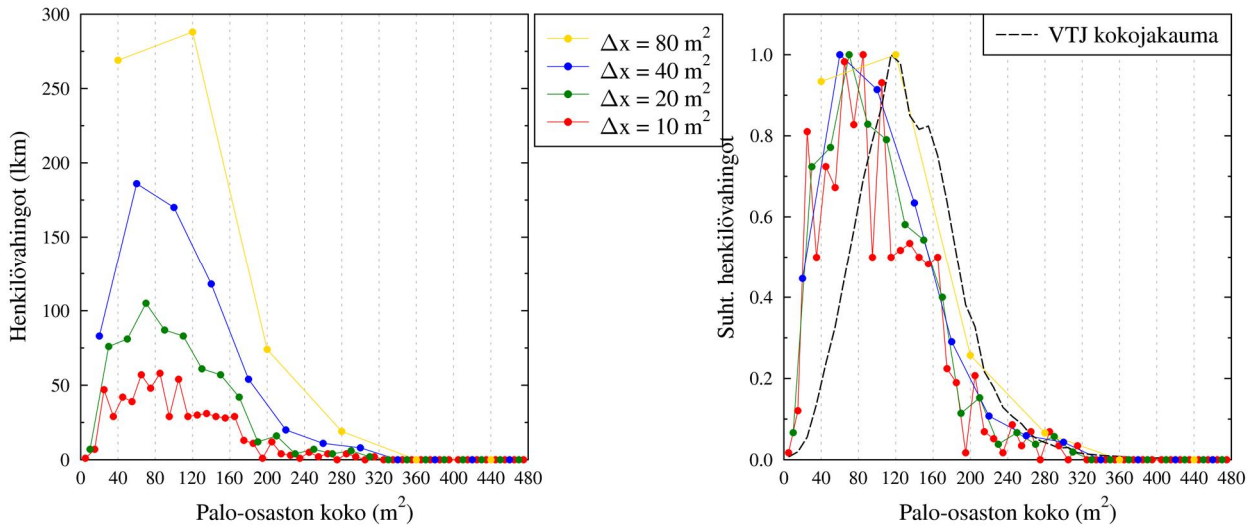
3.2.1 Erilliset pientalot

Kuvassa 27 esitetään henkilövahinkojen jakauma erillisissä pientaloissa ilmoitusajan suhteen. Vasemmanpuoleisessa kuvaajassa on esitetty henkilövahinkojen lukumäärä ilmoitusaikalukittain neljällä eri luokkajaaolla (huom. logaritminen pystyakseli). Oikeanpuoleisessa kuvaajassa henkilövahinkojen lukumäärät kullakin luokkajaaolla on skaalattu välille 0–1. Kukin piste edustaa luokan histogrammipylvään korkeutta. Tarkasteltaessa kuvaajaa, jossa vuorokausi on jaettu kolmeen 8 tunnin jaksoon (klo 0–8, klo 8–16 ja klo 16–24) havaitaan, että päiväsaikaan henkilövahinkoja tapahtuu vähemmän kuin muina vuorokaudenaikoina. Tämä on nähtävissä myös muilla luokkajaaolla piirretyistä kuvaajista.



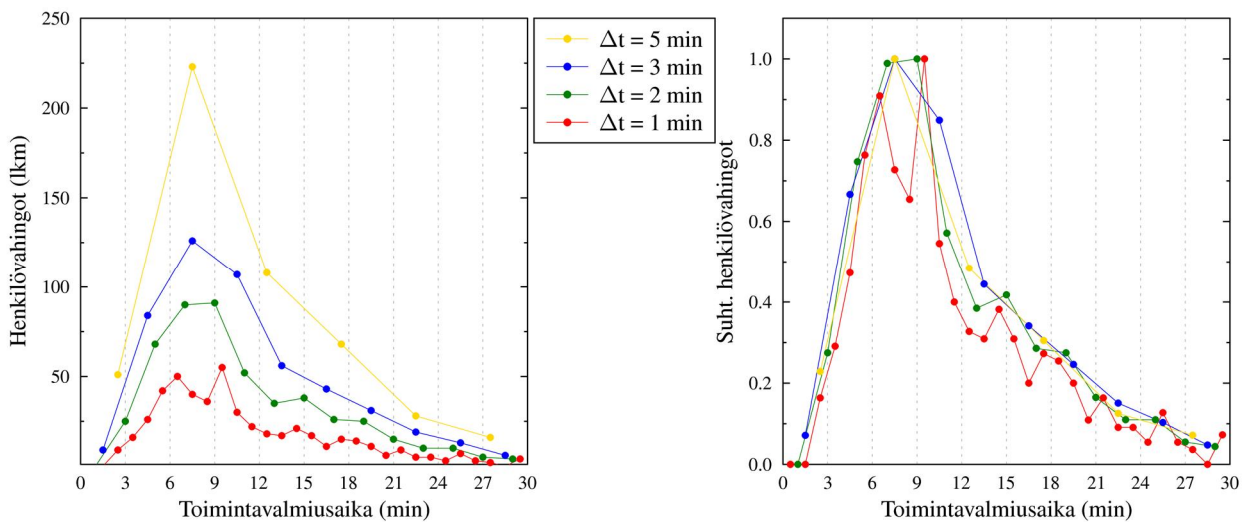
Kuva 27. Henkilövahinkojen jakauma erillisissä pientaloissa ilmoitusajan suhteen,

Kuvassa 28 nähdään henkilövahinkojakauma erillisissä pientaloissa tyyppiasunnon palo-osastokoon suhteen. Oikeanpuoleiseen kuvaajaan on suhteellisten henkilövahinkojen lisäksi piirretty pientalojen tyyppiasuntojen kokojakauma VTJ-aineiston perusteella. Vertailu osoittaa henkilövahinkojen keskittyvän rakennuksiin, joissa palo-osastokoko on keskimääräistä pienempi. Osaltaan selittävänä tekijänä saattavat olla kohonneen henkilövahinkoriskin asukasryhmien painottuminen keskimääräistä pienempiin asuntoihin ja suurempi todennäköisyys asunnon välivien kiinniolle keskimääräistä suuremmissa asunnoissa. Näiden tekijöiden vaikutusta ei kuitenkaan tässä tutkimuksessa tarkemmin analysoitu.



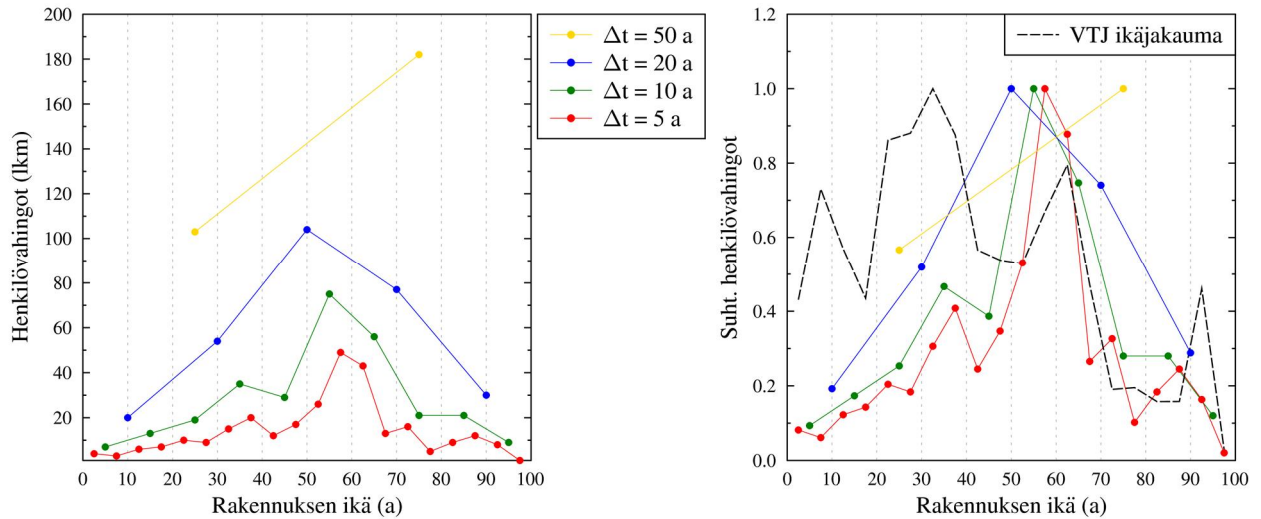
Kuva 28. Henkilövahinkojen jakauma erillisissä pientaloissa tyyppiasunnon palo-osastokoon suhteen.

Kuva 29 esittää henkilövahinkojen jakaumaa erillisten pientalojen rakennuspaloissa toimintavalmiusajan suhteen. Tietoja erillisten pientalojen jakautumisesta eri toimintavalmiusajaluokkien alueille ei ollut tätä kirjoitettaessa käytettävissä, joten vertailua toimintavalmiusajajakaumaan ei voitu tehdä,



Kuva 29, Henkilövahinkojen jakauma erillisissä pientaloissa toimintavalmiusajan suhteen,

Kuvassa 30 nähdään henkilövahinkojakauma erillisissä pientaloissa rakennuksen iän suhteen. Oikeanpuoleiseen kuvaajaan on suhteellisten henkilövahinkojen lisäksi piirretty pientalojen ikäjakauma VTJ-aineiston perusteella. Vertailu viittaa siihen, että uudehkoissa rakennuksissa henkilövahinkoriski olisi pienempi kuin iäkkäämmissä rakennuksissa. Syynä eroihin rakennusikäluokkien välillä saattavat olla rakentamistavan muutokset ja erilaiset asukasryhmät. Näiden tekijöiden vaikutusta ei kuitenkaan ole voitu tarkemmin arvioida, koska tarvittavia yksityiskohtaisia tietoja ei ole käytettävissä.

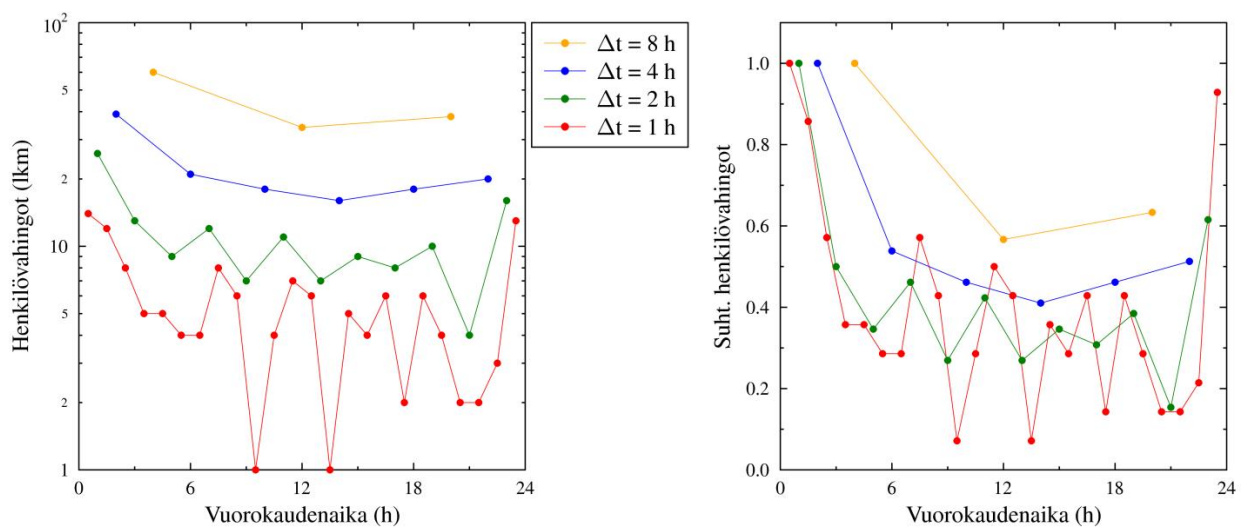


Kuva 30. Henkilövahinkojen jakauma erillisissä pientaloissa rakennuksen iän suhteen.

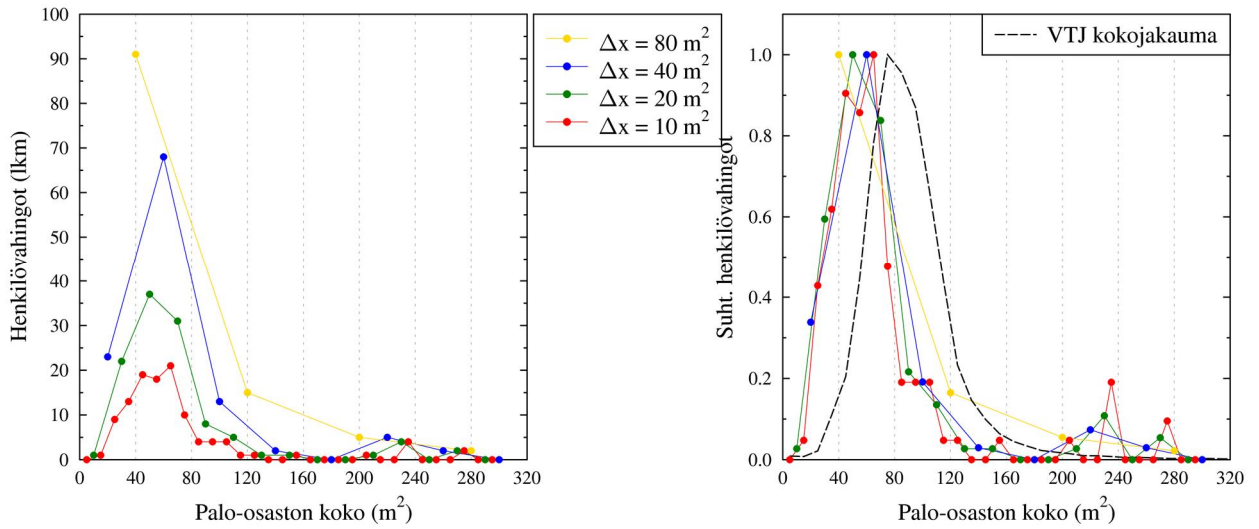
3.2.2 Rivi- ja ketjutalot

Henkilövahinkojen riippuvuus ilmoitusajasta, palo-osastokoosta, toimintavalmiusajasta ja rakennuksen iästä rivi- ja ketjutaloissa esitetään kuvissa 31–34. On huomioitava, että käytetyssä tilastoaineistossa oli rivi- ja ketjutalojen henkilövahinkotapauksia 132 kappaletta eli huomattavasti vähemmän kuin muissa asuinrakennustyypeissä. Suhteellisen vähäinen aineisto tuo epävarmuustekijöitä johtopäätöksiin.

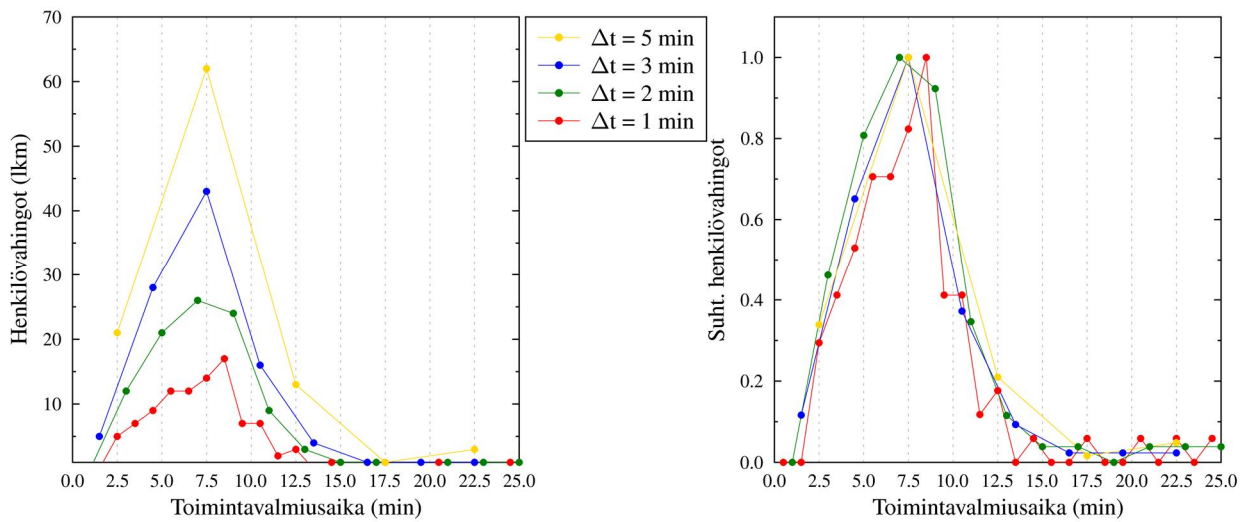
Henkilövahinkojakauma rivi- ja ketjutaloissa vaikuttaa samankaltaiselta kuin erillisissä pientaloissa ilmoitusajan, palo-osastokoon ja toimintavalmiusajan suhteen. Rivi- ja ketjutalojen suhteelliset henkilövahingot rakennuksen iän mukaan noudattavat hyvin VTJ-aineiston ikäjakaumaa toisin kuin erillisten pientalojen tapauksessa.



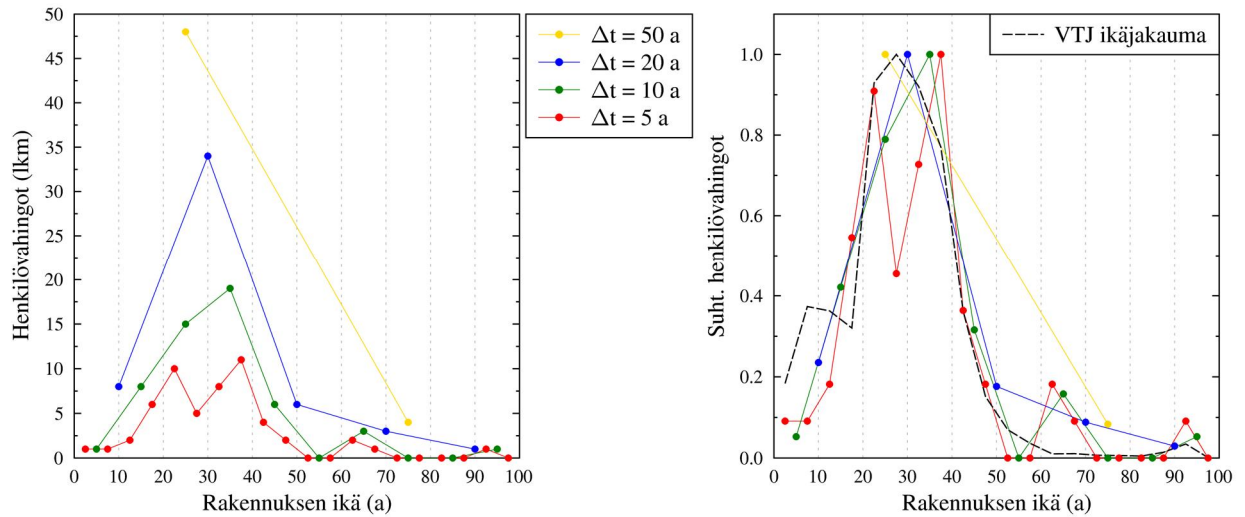
Kuva 31. Henkilövahinkojen jakauma rivi- ja ketjutaloissa ilmoitusajan suhteen.



Kuva 32. Henkilövahinkojen jakauma rivi- ja ketjutaloissa tyyppiasunnon palo-osastokoon suhteen.



Kuva 33. Henkilövahinkojen jakauma rivi- ja ketjutaloissa toimintavalmiusajan suhteen.

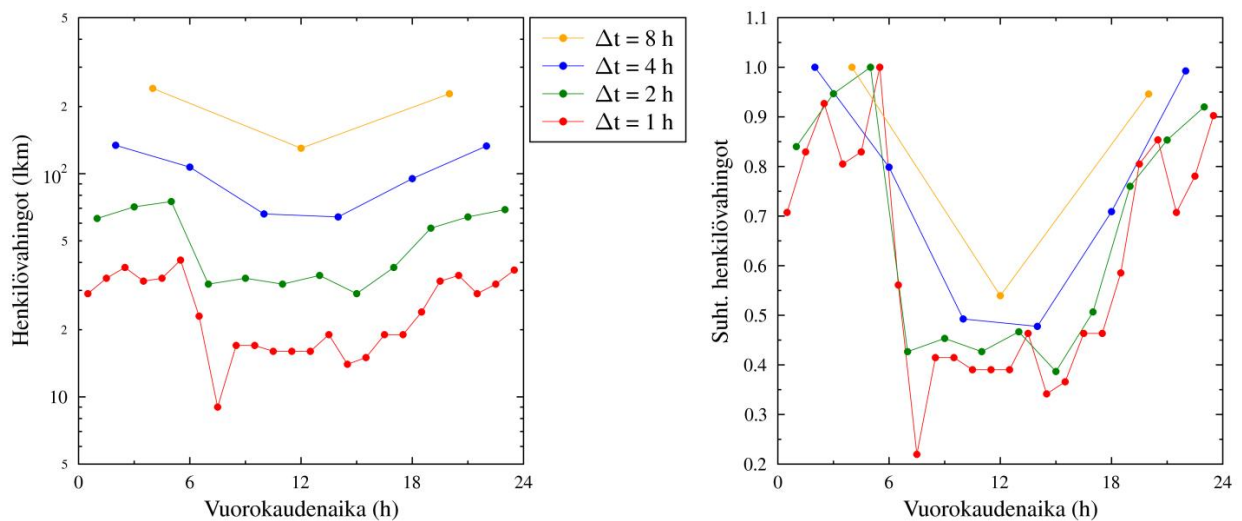


Kuva 34. Henkilövahinkojen jakauma rivi- ja ketjutaloissa rakennuksen iän suhteen.

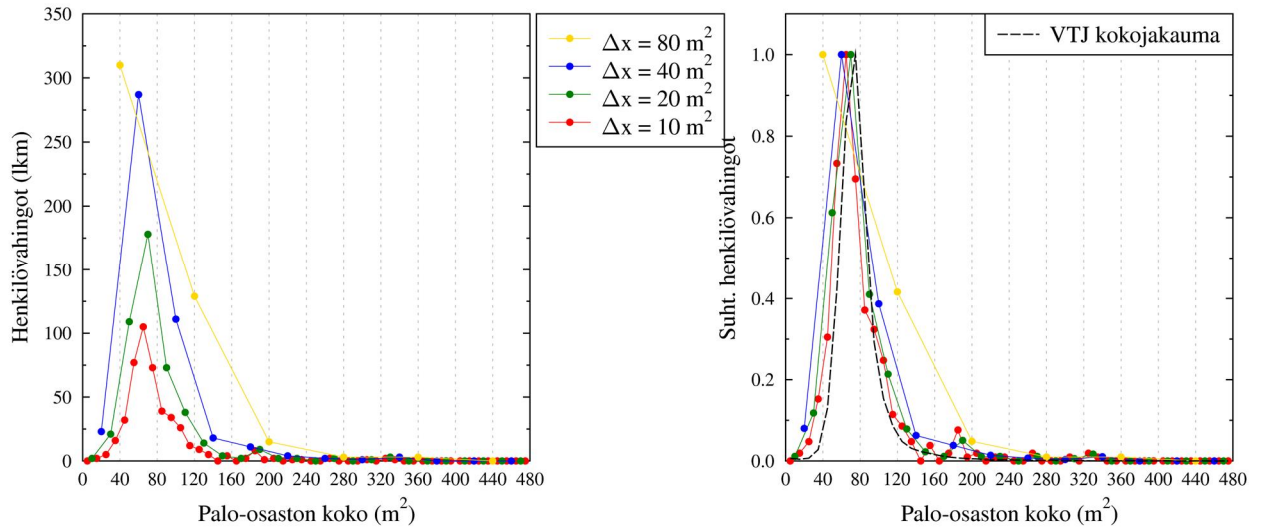
3.2.3 Asuinkerrostalot

Henkilövahinkojen riippuvuus ilmoitusajasta, palo-osastokoosta, toimintavalmiusajasta ja rakennuksen iästä asuinkerrostaloissa esitetään kuvissa 35–38.

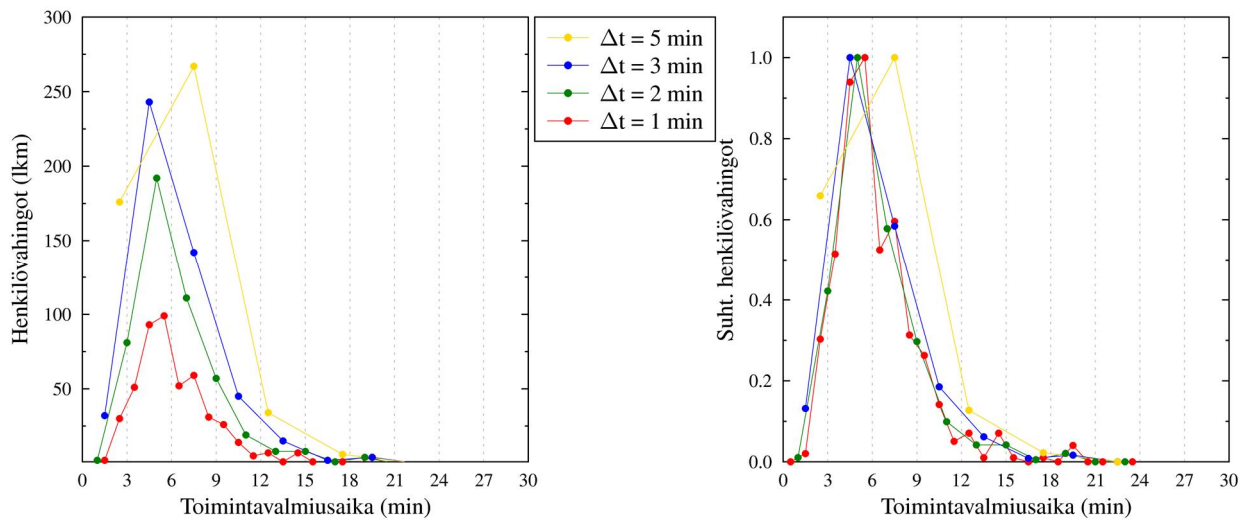
Henkilövahinkojakauma asuinkerrostaloissa vaikuttaa samankaltaiselta kuin erillisissä pientaloissa sekä rivi- ja ketjutaloissa ilmoitusajan suhteen. Asuinkerrostalojen suhteelliset henkilövahingot palo-osastokoon suhteen noudattavat melko hyvin VTJ-aineiston ikäjakaumaa, eikä vastaavaa eroa kuin erillisillä pientaloilla sekä rivi- ja ketjutaloilla ole havaittavissa. Asuinkerrostalojen henkilövahinkojakauma toimintavalmiusajan suhteen on muodoltaan samankaltainen kuin muilla asuinrakennustyypeillä, joskin maksimi ajoittuu aikaisemmaksi. Tätä selittävät todennäköisesti kerrostalovaltaisten asuinalueiden lyhyemmät keskimääräiset toimintavalmiusajat. Asuinkerrostalojen suhteellisissa henkilövahingoissa rakennuksen iän suhteen on nähtävissä lievää painottumista vanhempiin rakennusikäluokkiin, mutta ilmiö ei ole yhtä selkeä kuin erillisillä pientaloilla.



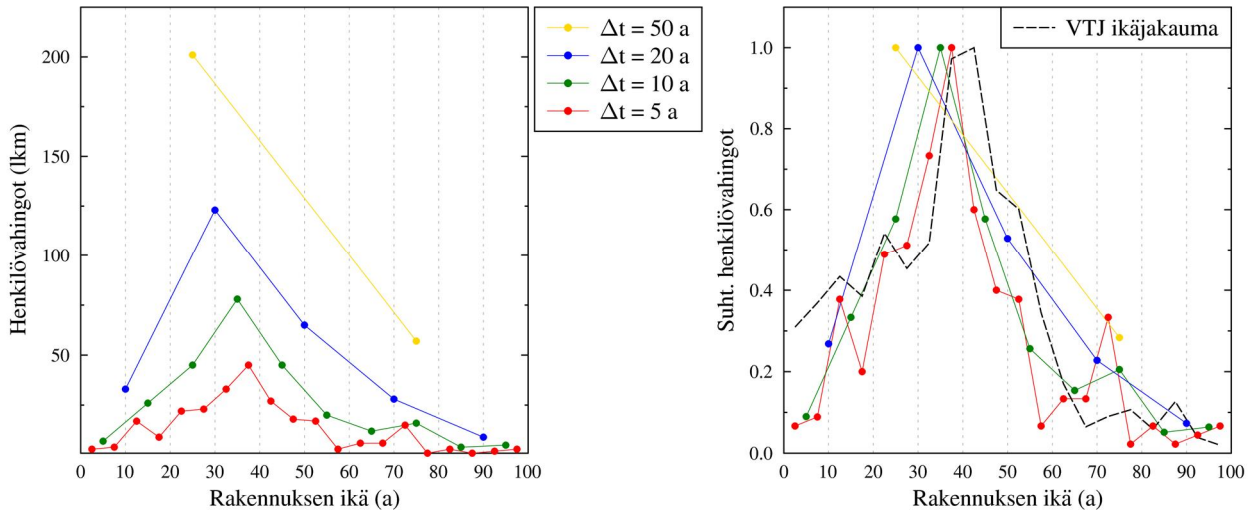
Kuva 35. Henkilövahinkojen jakauma asuinkerrostaloissa ilmoitusajan suhteen.



Kuva 36. Henkilövahinkojen jakauma asuinkerrostaloissa tyyppiasunnon palo-osastokoon suhteen.



Kuva 37. Henkilövahinkojen jakauma asuinkerrostaloissa toimintavalmiusajan suhteen.



Kuva 38. Henkilövahinkojen jakauma asuinkerrostaloissa rakennuksen iän suhteen.

3.3 Henkilövahinkomallin muodostaminen

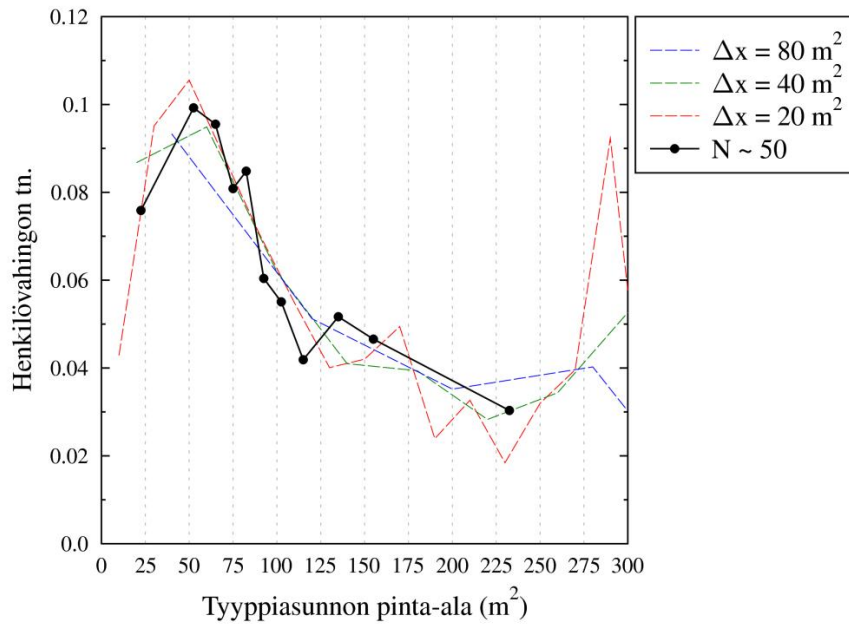
Henkilövahinkomalli eri asuinrakennustyypeille muodostettiin luvussa 3.2 esitettyjen riippuvuustarkaste-lujen perusteella. Malli ennustaa henkilövahingon todennäköisyyden yksikössä henkilövahin-koa/asuinrakennuspallo.

Erillisillä pientaloilla henkilövahingon todennäköisyys sisältää riippuvuuden tyyppiasunnon koosta ja ra-kennuksen iästä. Rivi- ja ketjutaloilla luku on vakio. Asuinkerrostaloilla on riippuvuus tyyppiasunnon koosta. Erillisille pientaloille, joiden tyyppiasunnon koko ei ole tiedossa, on käytetty joko pelkästään ra-kennuksen iästä riippuvaa lukua tai vakiota (riippuen siitä, onko rakennuksen ikä saatavilla). Asuinkerros-taloille, joiden tyyppiasunnon koko ei ole saatavilla, on käytetty vakiota. Vakioarvosta poikkeavia henki-lövahingon todennäköisyyksiä havainnollistavat kuvat 39–42.

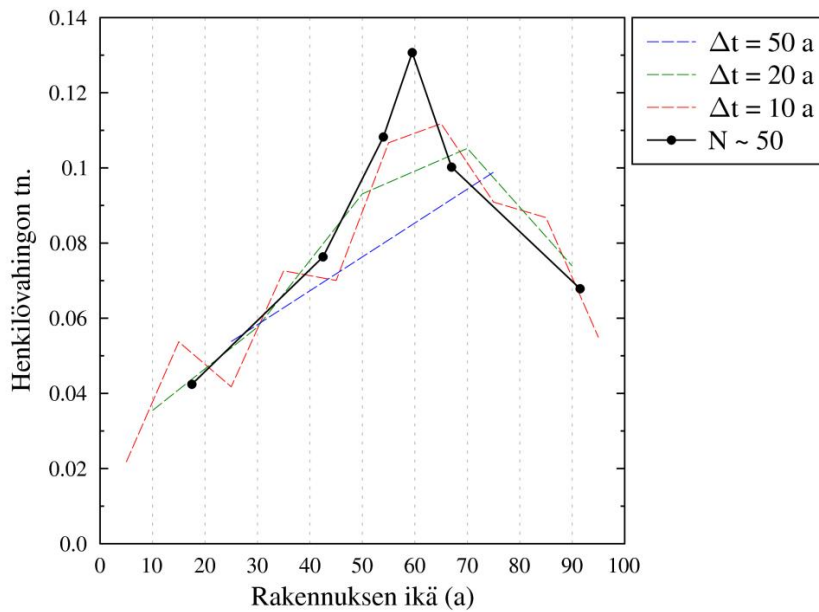
Henkilövahinkotaajuuden R_k määrittäminen ruudulle tapahtuu seuraavasti:

$$R_k = \sum_j \sum_i f_j''(A_{ijk}) \cdot A_{ijk} \cdot \xi_j \cdot \psi_A(A_{ijk}) \cdot \psi_t(t_{ijk}) \quad (5)$$

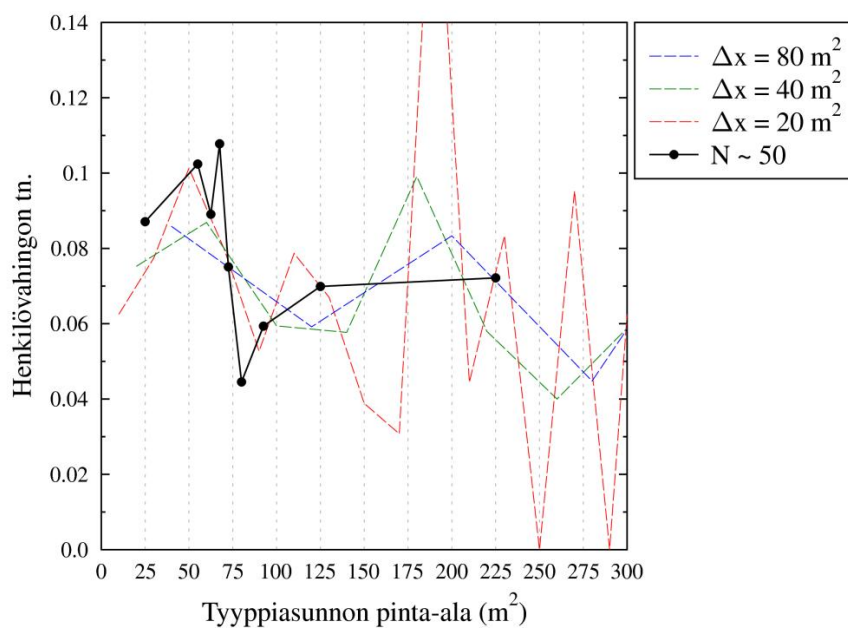
missä f_j'' on rakennusluokan j syttymistäajuustiheysfunktio ($a^{-1}m^{-2}$), A_{ijk} on ruudussa k sijaitsevan raken-nus-tyyppin j rakennuksen i kerrosala (m^2) ja t_{ijk} on rakennuksen ikä (a), ja ξ_j on henkilövahingon toden-näköisyys rakennuspalossa rakennusluokassa j . Skaalausfunktioita ψ_A ja ψ_t käytetään toistamaan henki-lövahingon todennäköisyyden riippuvuus tyyppiasunnon pinta-alasta ja rakennuksen iästä (erilliset pienta-lot ja kerrostalot). Summat lasketaan rakennusluokkien ja ruudussa sijaitsevien yksittäisten rakennusten yli. Henkilötaajuuden yksiköksi tulee henkilövahinkoa/a. Keskimääräiset henkilövahinkojen todennäköi-syydet eri rakennusluokissa sekä skaalausfunktioita ja niiden parametrit on annettu taulukoissa 20 ja 23.



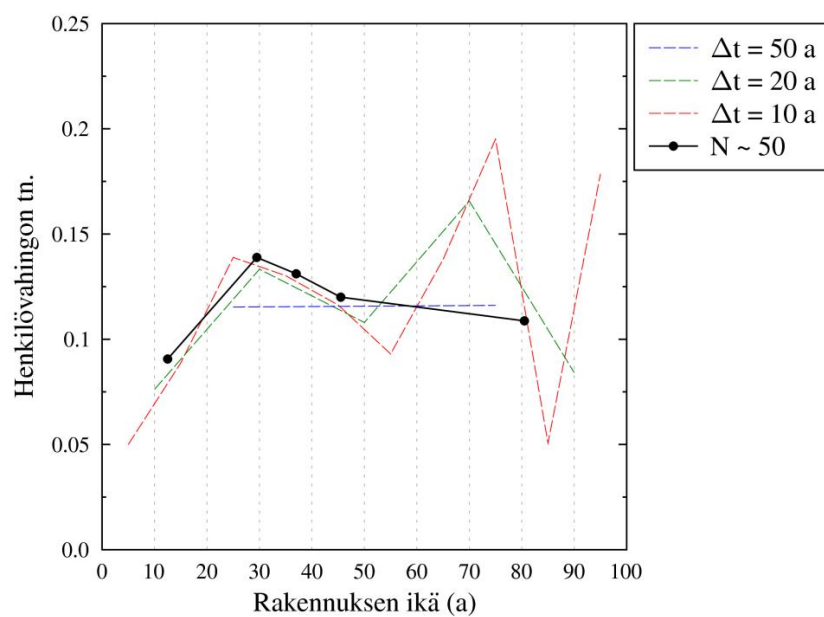
Kuva 39. Henkilövahinkotaajuus (henkilövahinkoa per rakennuspallo) erillisillä pientaloilla tyypiasunnon pinta-alaluokittain.



Kuva 40. Henkilövahinkotaajuus (henkilövahinkoa per rakennuspallo) erillisillä pientaloilla rakennuksen ikäluokittain.



Kuva 41. Henkilövahinkotaajuus (henkilövahinkoa per rakennuspallo) asuinkerrostaloissa tyypiasunnon pinta-alaluokittain.



Kuva 42. Henkilövahinkotaajuus (henkilövahinkoa per rakennuspallo) asuinkerrostaloissa rakennuksen ikäluokittain.

Taulukko 20. Henkilövahingon todennäköisyys eri asuinrakennusluokissa, ξ .

Rakennustyyppi	Henkilövahingon todennäköisyys
Erilliset pientalot	0,05056
Rivi- ja ketjutilat	0,05588
Asuinkerrostalot	0,07179

Taulukko 21. Skaalausfunktio henkilövahingon todennäköisyydelle rakennuksen tyyppiasunnon koon suhteen, ψ_A (tyyppiasunnon pinta-ala $[A] = \text{m}^2$).

Rakennustyyppi	Skaalausfunktio
Erilliset pientalot	$\frac{p_1 A + p_2}{A^2 + q_1 A + q_2}$
Rivi- ja ketjutilat	—
Asuinkerrostalot	$\begin{cases} p_1, & A \leq A_0 \\ p_2, & A > A_0 \end{cases}$

Taulukko 22. Skaalausfunktio henkilövahingon todennäköisyydelle rakennuksen iän suhteen, ψ_t (rakennuksen ikä $[t] = \text{a}$).

Rakennustyyppi	Skaalausfunktio
Erilliset pientalot	$a_1 e^{-\left(\frac{t-b_1}{c_1}\right)^2} + a_2 e^{-\left(\frac{t-b_2}{c_2}\right)^2}$
Rivi- ja ketjutilat	—
Asuinkerrostalot	—

Taulukko 23. Henkilövahinkomallin skaalausfunktioiden ψ_A ja ψ_t parametrit.

Rakennustyyppi	Tyypiasunnon koko, ψ_A	Rakennuksen ikä, ψ_t	Käyttöalue
Erilliset pientalot	$p_1 = 6,011$ $p_2 = -31,69$ $q_1 = -18,46$ $q_2 = 969,2$	$a_1 = 0,0412$ $b_1 = 58,97$ $c_1 = 6,619$ $a_2 = 0,09083$ $b_2 = 65,52$ $c_2 = 55,04$	$A \in [52,5 \text{ m}^2; 232,5 \text{ m}^2]$ $t \in [17,5 \text{ a}; 94 \text{ a}]$
Rivi- ja ketjutalot	—	—	—
Asuinkerrostalot	$p_1 = 0,0923$ $p_2 = 0,0642$ $A_0 = 72,5 \text{ m}^2$	—	$A \in [25 \text{ m}^2, 225 \text{ m}^2]$

3.4 Syttymistaajuustiheysmalli

Syttymistaajuustiheys kuvaa rakennuksen kerrosneliötä kohden määritettyä syttymistodennäköisyyttä. Malli on esitetty aiemmin kappaleessa 2.5.

3.5 Henkilövahinkoriskimalli

Henkilövahinkoriskimalli muodostettiin määrittämällä kullekin asuinrakennukselle henkilövahinkotaajuus (henkilövahinkoa/a) seuraavasti:

$$\text{henkilövahinkotaajuus} = \text{syttymistaajuustiheys} \times \text{rakennuksen kerrosala} \times \text{henkilövahingon todennäköisyys}$$

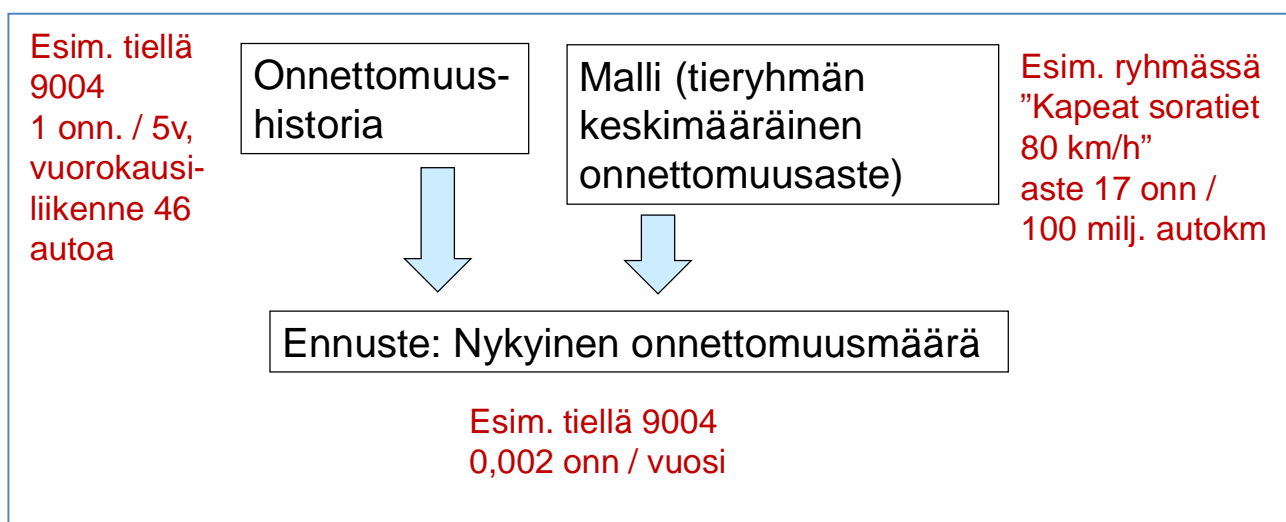
Pelastustoimen ruutuaineistoon muodostettiin ruutukohtainen henkilövahinkoriski yhdistämällä kunkin ruudun asuinrakennusten syttymistaajuustiheydet (rakennuspaloa/m²/a), kerrosalat (m²) ja henkilövahingon todennäköisyydet (henkilövahinkoa/rakennuspallo). Tuloksena on ruutukohtainen henkilövahinkotaajuus, jonka yksikkö on henkilövahinkoa/a.

4 Henkilövahinko-onnettomuusriski maanteillä

4.1 Käytetty aineisto

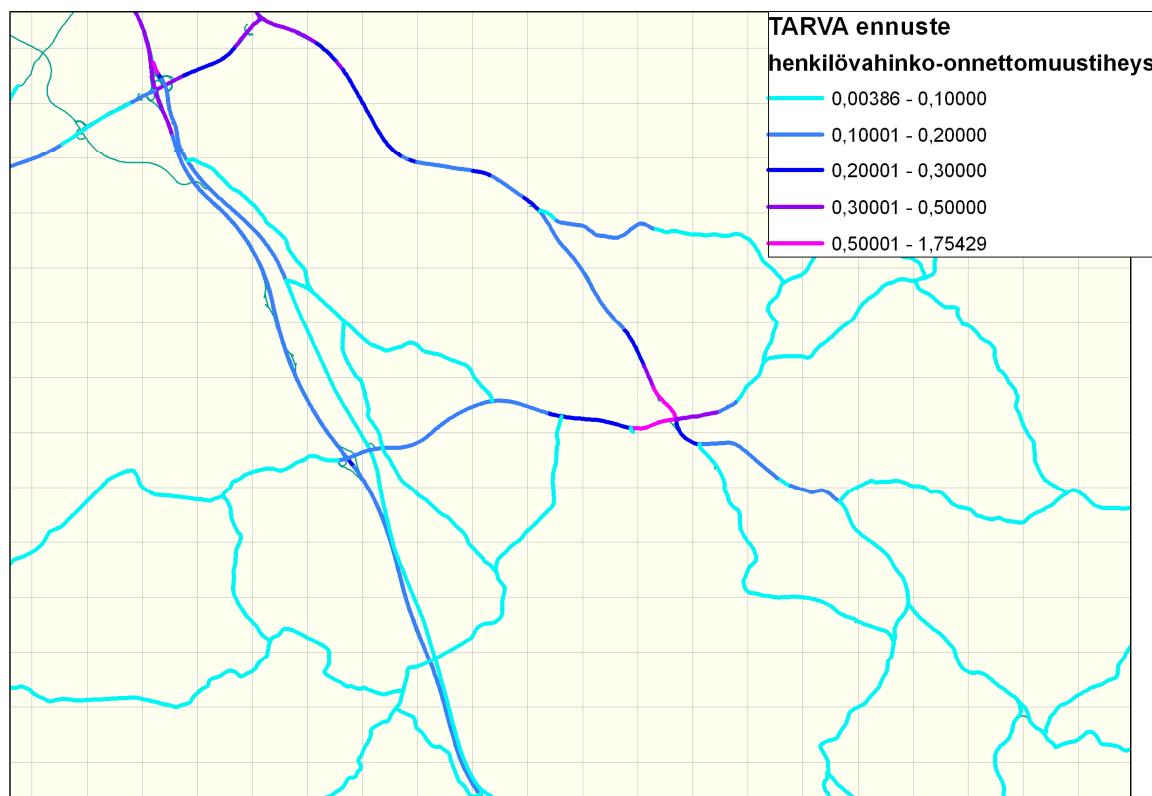
Tilastokeskus saa liikenneonnettomuustiedot poliisin tietokannasta. Noin vuodesta 2010 kaikilla onnettomuuksilla on ollut myös koordinaattitieto. Tilastokeskus ylläpitää näiden tietojen pohjalta sekä omaa virallista onnettomuustietokantaansa että Liikenneviraston onnettomuusrekisteriä. Liikenneviraston onnettomuusrekisterin tiedoille etsitään koordinaattien ja muiden tietojen perusteella tieosoite, jonka perusteella onnettomuus voidaan yhdistää tien ominaisuuksiin. Vuodesta 2009 Liikenneviraston rekisterissä on ollut myös katujen onnettomuudet ja vuodesta 2011 niidenkin koordinaatit on tarkistettu.

Liikennevirasto käyttää liikenneturvallisuustoimenpiteiden vaikutusten arvioinnissa VTT:n laatimaa TARVA-ohjelmaa (Turvallisuusvaikutusten arviointi vaikutuskertoimin) (Ristikartano et al. 2009, Peltola et al. 2013). Ohjelmassa maanteiden kunkin tienkohdan nykyinen henkilövahinko-onnettomuusmäärä ennustetaan Liikenneviraston onnettomuusrekisteristä kootun viiden vuoden onnettomuushistorian ja samanlaisten teiden keskimääräisen onnettomuusasteen avulla, käyttäen empiiristä Bayesin menetelmää (kuva 43). TARVA-ohjelma päivitetään vuosittain uusimmilla tie- ja onnettomuustiedoilla.



Kuva 43. Onnettomuushistorian ja mallin yhdistäminen nykytilan onnettomuusmäärän ennusteeksi.

Tässä työssä käytettiin aineistona TARVAN eri tiekohtille ennustamia nykyisiä henkilövahinko-onnettomuuksien määriä. Käytössä olleessa TARVA-versiossa olivat mukana vuosien 2008–2012 onnettomuudet maantieverkolta (kaikki tiet lukuun ottamatta yksityisteitä ja katuja). Ennusteet onnettomuuksien määrästä eri tienpätkillä muutettiin onnettomuustiheyksiksi (onnettomuudet / tiepituus, kuva 44).



Kuva 44. Esimerkki TARVA-ohjelman ennustamasta onnettomuustiheydestä teittäin.

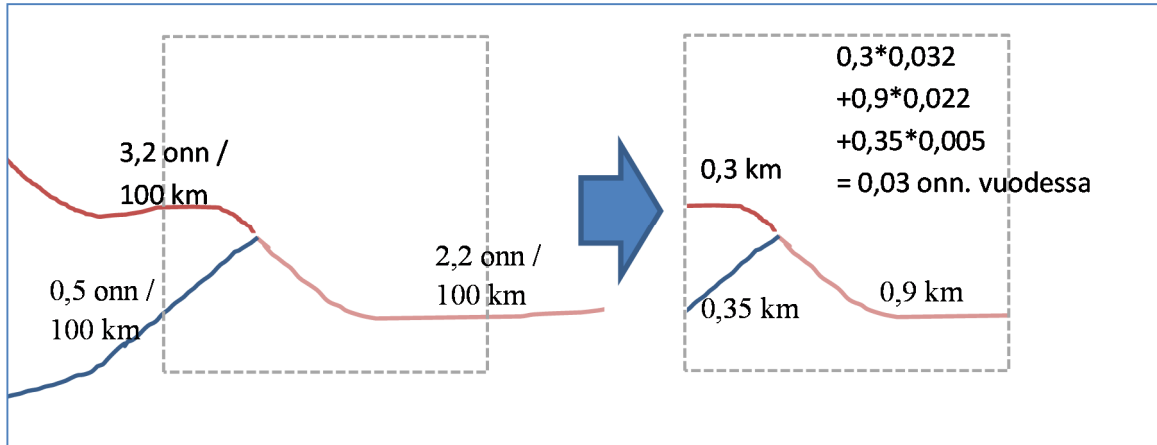
Katuverkko jätettiin tarkastelusta pois, koska katuverkon paikannettua onnettomuustietoa oli saatavilla vain lyhyemmältä ajanjaksolta, eikä katuverkon onnettomuuksille ole vielä kehitetty ennustemallia. Tulevaisuudessakin tämä tulee olemaan haastavaa, koska liikennemäärätiedot puuttuvat suurimmalta osalta katuverkkoa.

Katuverkolla kevyen liikenteen onnettomuudet ovat suurin onnettomuusryhmä. Niiden määrän on todettu korreloivan vahvasti ympäristön asukastiheyden kanssa (Rajamäki 2008).

Tilastokeskuksen onnettomuusaineistossa vuodelta 2012 henkilövahinko-onnettomuuksista 41 % (noin 2300 kpl) tapahtui kunnan katuverkolla. Näistä katuonnettomuuksista 59 %:ssa (noin 1400 kpl) oli mukana jalankulkija, pyöräilijä tai mopoilija. Useimmissa katuonnettomuustapauksissa henkilövahinko lienee aiheutunut juuri näille tienkäyttäjille. Paikalle on tällöin tarvittu todennäköisesti vain ambulanssi, muttei erityistä kolaripaikan raivausta, joten nämä tapaukset eivät liene pelastuslaitoksille kovin merkittävä kuormitustekijä.

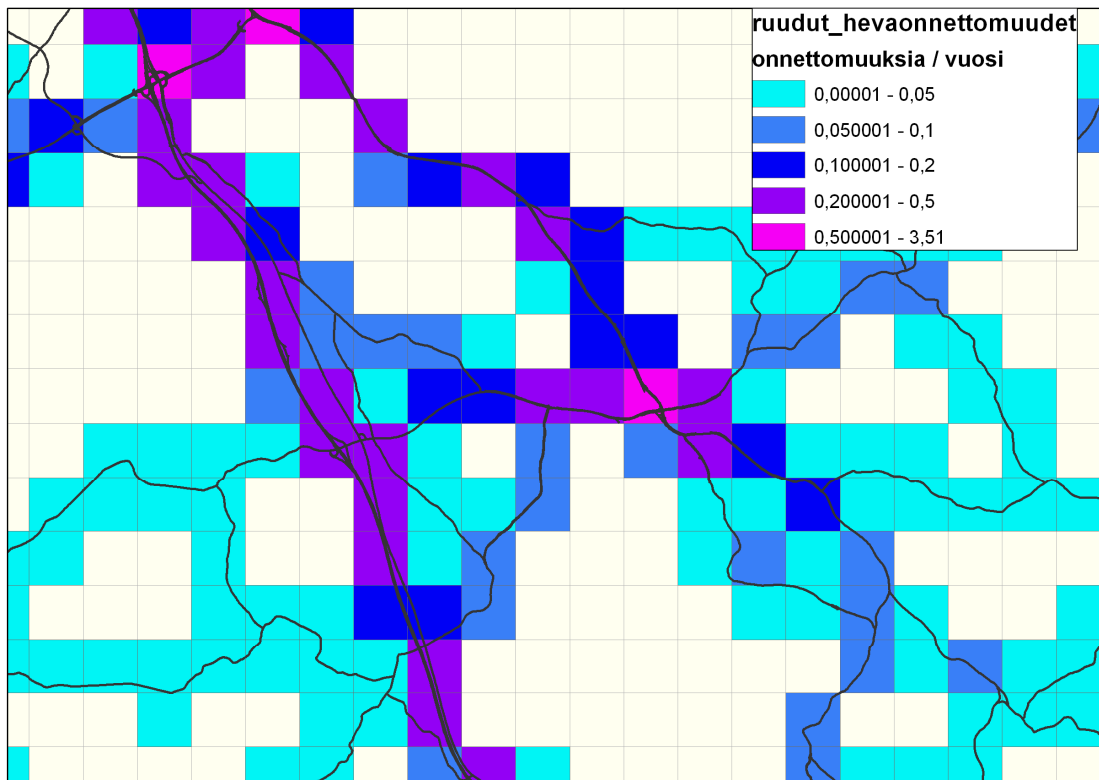
4.2 Odotettu henkilövahinko-onnettomuuksien määrä maanteillä ruuduittain

Tavoitteena oli määrittää käytettävissä olevan aineiston avulla odotettu henkilövahinko-onnettomuuksien määrä sidottuna pelastustoimen käytössä olevaan ruutuaineistoon (1 km × 1 km). Tienpätkäkohtaisten ennusteiden muuntamista ruutujen onnettomuusmäärän ennusteiksi havainnollistaa kuva 45.



Kuva 45. TARVA-ohjelmalla laskettujen tiejaksokohtaisten onnettomuustiheyksien muuntaminen ruutukohtaisiksi onnettomuusmääriksi.

TARVA-ohjelmalla lasketut onnettomuustiheydet (onnettomuudet / tiepituus, kuva 44) vietiin ArcGIS-ohjelmaan yhdessä pelastuslaitosten ruutujen sijaintitietojen kanssa. Tienpätkäaineisto katkottiin ArcGIS-ohjelmalla siten, että tienpätkä katkeaa aina ruutujen rajalta ja tienpätkään tulee tieto siitä, missä ruudussa se sijaitsee. Sitten laskettiin pilkottujen tienpätkien pituudet. Aineisto siirrettiin Exceliin, jossa laskettiin kunkin pilkotun tienpätkän ennustettu onnettomuusmäärä tienpätkän pituuden ja onnettomuustiheyden perusteella. Tienpätkiin yhdistettyjen pelastuslaitosruutujen numeroiden perusteella laskettiin odotettu henkilövahinko-onnettomuusmäärä kussakin ruudussa summaamalla ruutuun sijoittuvien tienpätkien ennustetut onnettomuusmäärät. Tämä tieto siirrettiin takaisin ArcGIS-ohjelmaan ja yhdistettiin ruutuaineistoon (kuva 46).

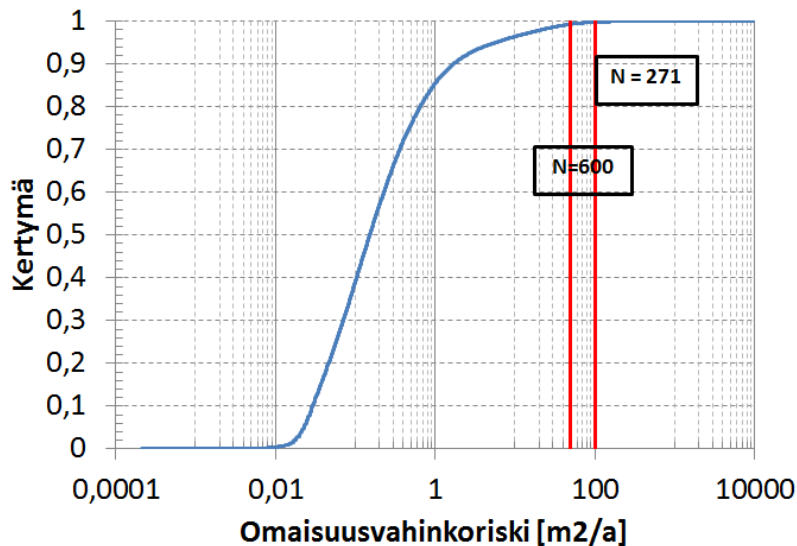


Kuva 46. Esimerkki ennustetusta maantieonnettomuuksien määrästä ruuduittain.

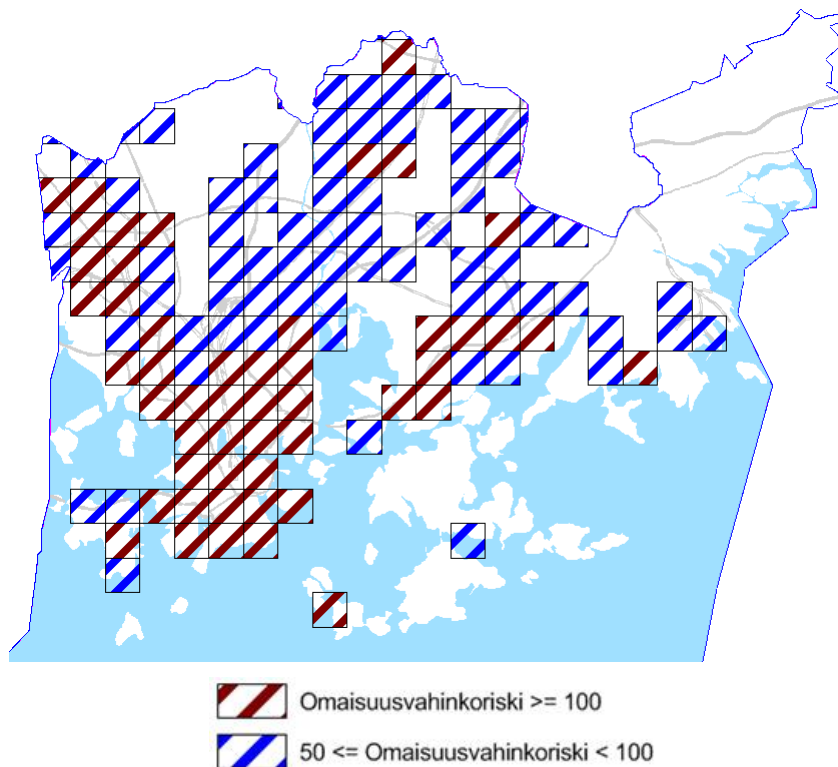
5 Tulosten visualisointi

5.1 Omaisuusvahinkoriski

Omaisuusvahinkoriskin numeroarvot vaihtelivat aineistossa välillä 0,0002-1 805 085. Hyvin suuret omaisuusvahinkoriskin arvot ovat todennäköisesti virheitä ja johtuvat VTJ-aineistossa olevista kerrosalavirheistä. Kuvassa 47 on esitetty omaisuusvahinkoriskitulosten jakauma. Kuten nähdään, 85 % ruutukohtaisista omaisuusvahinkoriskin arvoista on alle 1. Ruudut luokiteltiin omaisuusvahinkoriskiarvon perusteella luokkiin, tarkoituksena visualisoida tulokset kartalla ja saada aineistosta erottumaan nimenomaan ne ruudut, joissa omaisuusvahinkoriski on korkein. Aineisto jaettiin kahteen luokkaan siten, että alemman luokan alarajaksi määritettiin 50 ja ylemmän luokan alarajaksi 100 (luokkarajat merkitty kuvaan 47 punaisilla pystyviivoilla). Näin ollen alempaan omaisuusvahinkoriskiluokkaan tuli riskiruutuja 600 kpl ja ylemmään 271 kpl. Kuvassa 48 on esitetty Helsingin pelastuslaitoksen alueelle sijoittuvat omaisuusvahinkoriskiruudut kartalla. Riskiruutujen lukumäärät on esitetty pelastuslaitoksittain taulukossa 24.



Kuva 47. Omaisuusvahinkoriskin jakauma ja luokkarajat (punaiset pystyviivat).

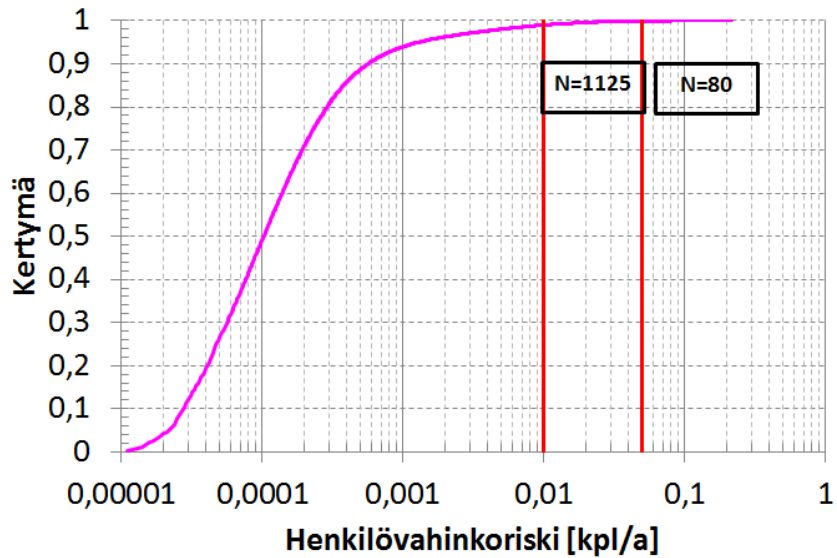


Kuva 48. Omaisusvahinkoriskiluokkien ruudut Helsingin pelastuslaitoksen alueella.

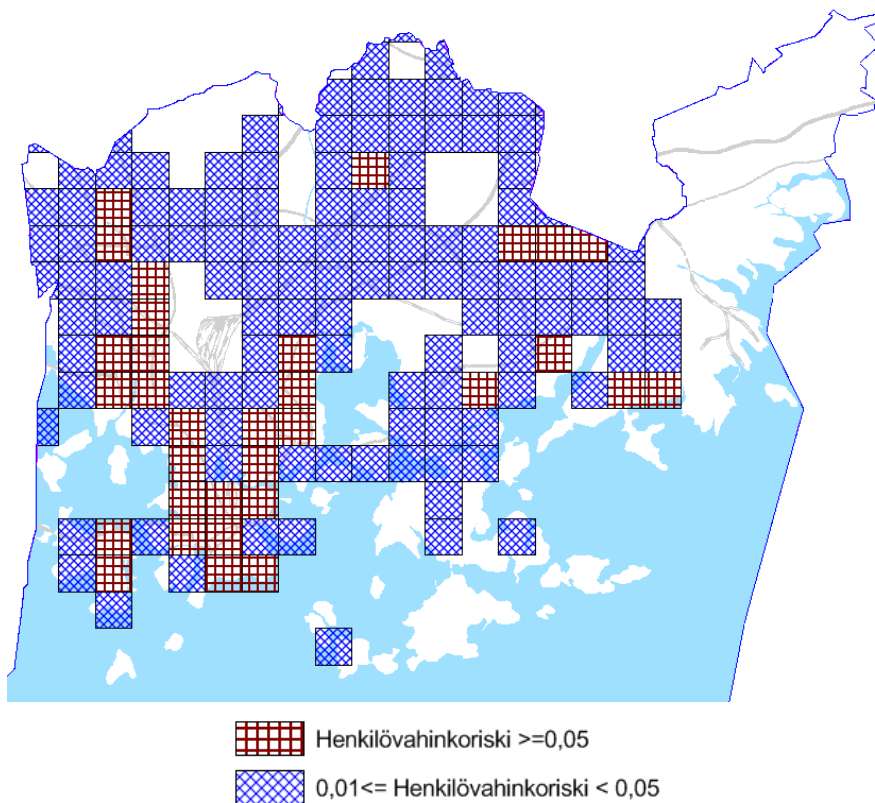
5.2 Henkilövahinkoriski

Henkilövahinkoriskin numeroarvot vaihtelivat aineistossa välillä $1,1 \times 10^{-5}$ – 0,22. Hyvin suuret henkilövahinkoriskin arvot ovat todennäköisesti virheitä ja johtuvat VTJ-aineistossa olevista kerrosalavirheistä. Kuvassa 49 on esitetty henkilövahinkoriskitulosten jakauma. Ruudut luokiteltiin henkilövahinkoriskiarvon perusteella luokkiin tarkoituksena visualisoida tulokset kartalla ja saada aineistosta erottumaan ne ruudut, joissa henkilövahinkoriski on korkein. Aineisto jaettiin kahteen luokkaan siten, että alemman luokan alarajaksi määritettiin 0,01 ja ylemmän luokan alarajaksi 0,05 (luokkarajat merkitty kuvaan 49 punaisilla pystyviivoilla). Luokkarajoja peilattiin toimintavalmiuden suunnitteluohjeen (Sisäasiainministeriö 2012) tapahtuneiden onnettomuuksien perusteella tehtävien riskiluokkamuutosten raja-arvioihin. Toimintavalmiuden suunnitteluohjeessa todetaan, että ruudun korottamista riskiluokkaan I voidaan harkita, mikäli ruudussa on viiden vuoden aikajaksolla tapahtunut vähintään 10 riskiluokan määrittävää onnettomuutta vuosittain. Riskiluokan II osalta määrä on kaksi onnettomuutta. Henkilövahinkoriskin määrittämisessä huomioitiin vain asuntopalot, joiden osuus riskiluokan määrittävistä onnettomuuksista (aikajaksolla 2008–2012) on 6,1 %. Asuntopaloissa aiheutui kyseisellä ajanjaksolla noin 0,09 henkilövahinkoa asuntopaloa kohden. Jos tarkastellaan riskiluokan I ruutua, raja-arvo tapahtuneille riskiluokan määrittäville onnettomuuksille oli 10, joista keskimäärin 0,61 (6,1 %) on asuinrakennuspaloja. Edelleen 0,61 asuinrakennuspaloissa aiheutuu keskimäärin $0,09 \cdot 0,61 = 0,05$ henkilövahinkoa. Riskiluokalle II saadaan samalla loogiikalla $2 \cdot 0,61 \cdot 0,09 = 0,11$. On hyvä huomata, että arvot eivät ole suoraan verrattavissa eikä vahinkoriskiruutujen tietojen perusteella ole tarkoitus muuttaa ruutujen riskiluokkia samaan tapaan kuin tapahtuneiden onnettomuuksien perusteella.

Näin ollen alempaan henkilövahinkoriskiluokkaan tuli riskiruutuja 1125 kpl ja ylempään 80 kpl. Kuvassa 50 on esitetty Helsingin pelastuslaitoksen alueelle sijoittuvat henkilövahinkoriskiruudut kartalla. Riskiruutujen lukumäärät on esitetty pelastuslaitoksittain taulukossa 24.



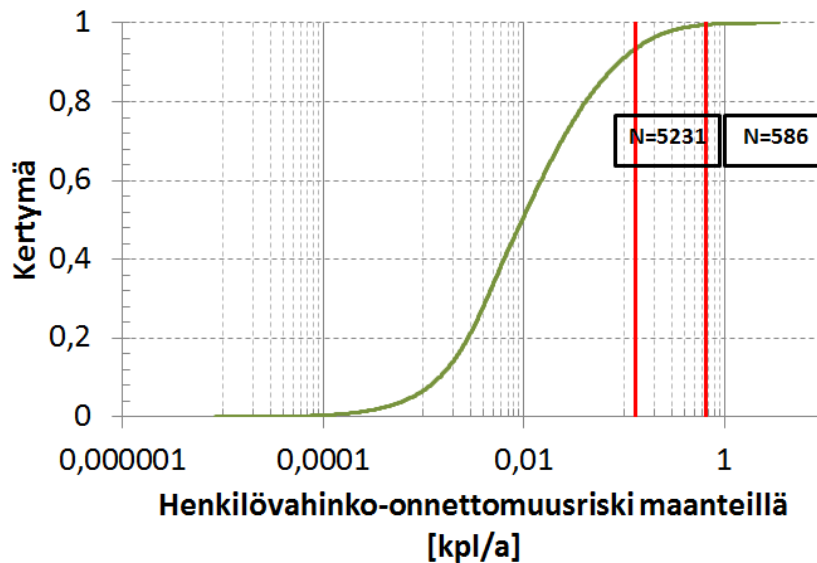
Kuva 49. Henkilövahinkoriskin jakauma ja luokkarajat (punaiset pystyviivat).



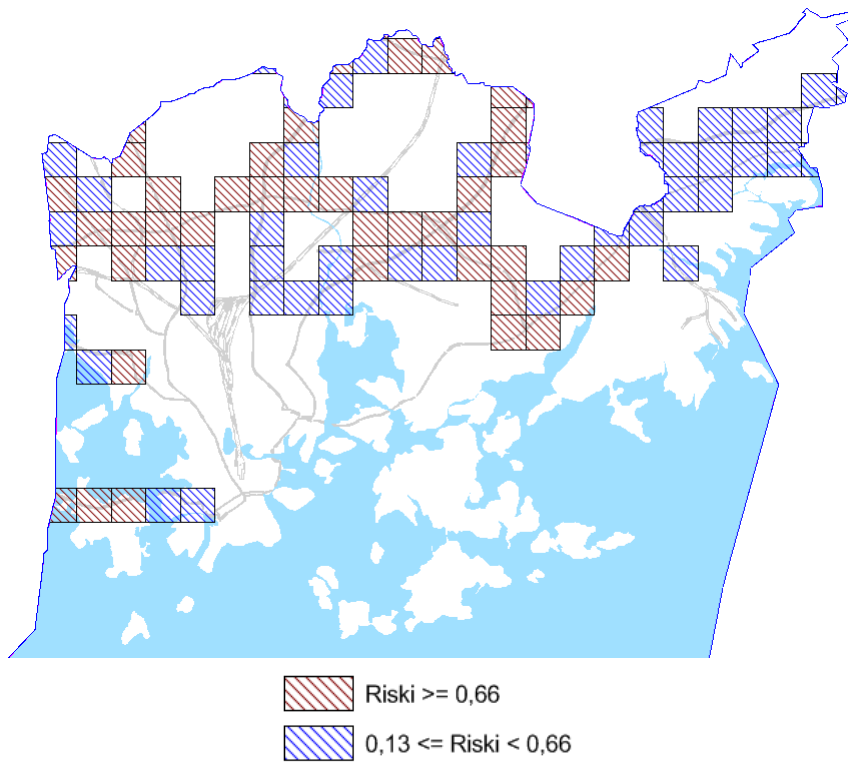
Kuva 50. Henkilövahinkoriskiluokkien ruudut Helsingin pelastuslaitoksen alueella.

5.3 Henkilövahinko-onnettomuudet maanteillä

Maanteillä tapahtuvien henkilövahinko-onnettomuuksien riskiarvioiden numeroarvot vaihtelivat aineistossa välillä $8,4 \times 10^{-6} - 3,5$. Kuvassa 51 on esitetty tulosten jakauma. Ruudut luokiteltiin riskiarvon perusteella luokkiin tarkoituksena visualisoida tulokset kartalla ja saada aineistosta erottumaan ne ruudut, joissa henkilövahinkoriski on korkea. Aineisto jaettiin kahteen luokkaan siten, että alemman luokan alarajaksi määritettiin 0,13 ja ylemmän luokan alarajaksi 0,66 (luokkarajat merkitty kuvaan 51 punaisilla pystyviivoilla). Luokkarajoja peilattiin toimintavalmiuden suunnitteluohjeen (Sisäasiainministeriö 2012) tapahtuneiden onnettomuuksien perusteella tehtävien riskiluokkamuutosten raja-arvioihin samaan tapaan kappaleessa 5.2 on kuvattu. Liikenneonnettomuuksien osuus riskiluokan määrittävistä onnettomuuksista (aikajaksolla 2008–2012) oli 51 % ja niissä aiheutui vakavia henkilövahinkoja noin 0,13 kpl onnettomutta kohden. Tarkastelussa ei eroteltu maantie- ja katuverkon onnettomuuksia. Kyseisillä arvoilla saadaan riskiluokan I tapahtuneiden onnettomuuksien määrää käyttäen $10 \cdot 0,51 \cdot 0,13 = 0,66$ ja riskiluokalle II $2 \cdot 0,51 \cdot 0,13 = 0,13$. On hyvä huomata, että arvot eivät ole suoraan verrattavissa eikä vahinkoriskiruutujen tietojen perusteella ole tarkoitus muuttaa ruutujen riskiluokkia samaan tapaan kuin tapahtuneiden onnettomuuksien perusteella. Näin ollen alempaan riskiluokkaan tuli riskiruutuja 5231 kpl ja ylempään 586 kpl. Kuvassa 52 on esitetty Helsingin pelastuslaitoksen alueelle sijoittuvat omaisuusvahinkoriskiruudut kartalla. Riskiruutujen lukumäärät on esitetty pelastuslaitoksittain taulukossa 24.



Kuva 51. Maanteiden henkilövahinko-onnettomuusriskin jakauma ja luokkarajat (punaiset pystyviivat).



Kuva 52. Henkilövahinko-onnettomuudet maanteillä -riskiruudut Helsingin pelastuslaitoksen alueella.

Taulukko 24. Riskiruutujen jakautuminen eri pelastuslaitosten alueille.

Pelastuslaitos	Omaisuuksivahingot rakennuspaloissa		Henkilövahingot rakennuspaloissa		Henkilövahinko- onnettomuudet maanteillä	
	1	2	1	2	1	2
Helsinki	50	66	32	111	36	38
Länsi-Uusimaa	16	57	6	108	51	362
Keski-Uusimaa	23	68	4	117	78	344
Itä-Uusimaa	4	10		20	6	196
Varsinais-Suomi	28	53	10	98	32	515
Kanta-Häme	10	21	1	40	6	258
Päijät-Häme	13	28	4	51	14	236
Kymenlaakso	11	14	1	59	8	237
Etelä-Karjala	4	14	1	37	1	166
Etelä-Savo	1	16		36	2	206
Keski-Suomi	10	26	2	56	25	371
Pirkanmaa	26	60	8	123	31	493
Satakunta	18	26	2	54	11	290
Etelä-Pohjanmaa	5	17		23	14	266
Pohjanmaa	7	14	2	27	5	173
Keski-Pohjanmaa ja Pietarsaari	5	10		23	3	96
Pohjois-Savo	9	31	1	54	9	235
Pohjois-Karjala	5	14	2	28	6	154
Jokilaaksot	2	15		19	6	130
Kainuu	2	9		16	5	57
Oulu-Koillismaa	10	18	3	54	28	240
Lappi	11	11	1	30	9	168
Yhteensä	271	601	80	1190	386	5231

6 Yhteenveto

6.1 Hankkeen tavoite

Tämän tutkimushankkeen tavoitteena oli tunnistaa ja tarkastella onnettomuuksien seurauksia selittäviä tekijöitä ja luoda menettelyjä, joiden avulla onnettomuuksien todennäköiset seuraukset voidaan huomioida pelastustoimen riskianalyyssissä. Hankkeessa kehitettiin käytännön työvälineiksi mallit, joilla voidaan ennustaa omaisuusvahinkoriskiä rakennuspaloissa, henkilövahinkoriskiä asuinrakennuspaloissa ja henkilövahinko-onnettomuusriskiä maanteilla. Ennusteet esitetään karttamuodossa, joten ne ovat suoraan hyödynnettävissä pelastuslaitosten riskianalyyssityössä. Tulosten avulla pelastuslaitokset voivat tunnistaa alueensa onnettomuusriskejä entistä tarkemmin ja mitoittaa palvelunsa paremmin niitä vastaaviksi.

6.2 Omaisuusvahinkoriski rakennuspaloissa

6.2.1 Tulokset

Rakennuspalojen omaisuusvahinkoriskimallissa yhdistetään rakennuskohtainen vahingon odotusarvo rakennustyyppin mukaiseen syttymistäajuuteen. Kussakin rakennustyyppissä vahingon odotusarvo saadaan mallista, joka ennustaa rakennuksen tuhoutumisastetta kerrosalan perusteella. Näiden yhden muuttujan vahinkomallien todettiin ennustavan omaisuusvahinkoja riittävällä tarkkuudella.

Mallia kehitettäessä havaittiin muutamissa tapauksissa jokin toinenkin vaikuttava suure, esimerkiksi toimintavalmiusaika, ja nähtiin riippuvuus kerrosalan ja toimintavalmiusajan välillä. Muiden tarkasteltujen muuttujien vaikutus tuhoutumisasteeseen kuitenkin peittyi kerrosalan hallitsevan vaikutuksen alle, joten tuhoutumisaste ennustetaan mallissa vain kerrosalan perusteella.

Valtakunnallista omaisuusvahinkomallia luotaessa haluttiin tarkastella myös sen alueellista soveltuvuutta. Tämä toteutettiin vertaamalla Helsingin kerrostalojen ja Pirkanmaan erillisten pientalojen tuhoutumisasteen jakaumia valtakunnalliseen aineistoon. Molemmissa alueellisissa tarkasteluissa havaittiin tasoeroja tuhoutumisasteessa tarkastelualueen ja valtakunnallisten tulosten välillä, mutta keskimääräisen tuhoutumisasteen jakaumat tarkasteltujen muuttujien suhteen olivat samanmuotoiset. Tämän seurauksena valtakunnallisen mallin voidaan katsoa olevan soveltuva myös näillä tarkastelualueilla.

Sprinklauksen vaikutusta omaisuusvahinkoihin tarkasteltiin Pirkanmaan liike- ja teollisuusrakennusten osalta. Merkittäviä eroja sprinklattujen ja sprinklaamattomien rakennusten välillä ei tässä tarkastelussa saatu esiin ja johtopäätösten tekemistä vaikeuttaa rajallinen onnettomuusaineisto. On huomattava, että sprinklatut rakennukset ovat tyypillisesti suurempia kuin sprinklaamattomat, ja suurilla kerrosaloilla tuhoutumisaste on muutenkin pienempi riippumatta sprinklauksesta.

Toimintavalmiusajan merkitystä rakennuspalojen omaisuusvahinkojen kannalta tutkittiin erillisten pientalojen sekä omana ryhmänä tarkasteltujen toimisto-, liikenteen, hoitoalan, kokoontumis-, opetus-, varasto- ja palo- ja pelastustoimen rakennusten (luokat D, E, F, G, H, K ja L) osalta. Omaisuusvahinkomallia muodostettaessa keskimääräisen tuhoutumisasteen havaittiin kasvavan kun rakennuksen kerrosala pienenee. Luokkiin D, E, F, G, H, K ja L kuuluvien rakennusten osalta tuhoutumisasteen havaittiin kasvavan myös toimintavalmiusajan kasvaessa. Samalla myös toimintavalmiusajan ja kerrosalan välillä on yhteys: keskimääräinen kerrosala pienenee toimintavalmiusajan kasvaessa. Kerrosalan ja toimintavalmiusajan välisen riippuvuuden vaikutus pyrittiin eliminoimaan luokittelemalla tuhoutumisasteaineisto kerrosalaluokkiin ja näin tuomaan esiin toimintavalmiusajan ja tuhoutumisasteen välinen mahdollinen yhteys. Tässä tarkastelussa havaittiin luokkiin D, E, F, G, H, K ja L kuuluvien rakennusten osalta keskimääräisen tuhoutumisasteen kasvavan toimintavalmiusajan kasvaessa erityisesti suuremmissa kerrosalaluokissa. Tämä antaa viitteitä siitä, että toimintavalmiusajalla olisi merkitystä keskimääräisen tuhoutumisasteen kannalta. On huomattava, että toimintavalmiusajan mahdollisia riippuvuuksia muista tuhoutumisasteeseen vaikuttavista muuttujista ei ole tarkasteltu. Vastaava tarkastelu ei tuonut esiin selkeää riippuvuutta toimintavalmiusajan ja keskimääräisen tuhoutumisasteen välillä erillisten pientalojen tapauksessa.

6.2.2 Tulosten tulkinta

Omaisuusvahinkomalli tuottaa rakennukselle sen kerrosalasta (tai tyyppiasunnon pinta-alasta) riippuvan tuhoutumisasteen, joka on keskiarvo samankaltaisten (so. samankokoisten) rakennusten rakennuspalossa vuosina 2009–2012 toteutuneista tuhoutumisasteista. Kun tuhoutumisaste kerrotaan rakennuksen kerrosalalla (tai tyyppiasunnon pinta-alalla), saadaan rakennuspalossa tapahtuvan vahingon odotusarvo (yksikkö m^2 /rakennuspalo). Kun tämä luku edelleen kerrotaan rakennuksen kerrosalasta riippuvalla syttymistaajuudella (yksikkö rakennuspaloa/a), saadaan rakennuksen omaisuusvahinkoriski (yksikkö m^2/a). Omaisuusvahinkoriski ei kuvaa vahingon todennäköistä suuruutta rakennuspalossa, vaan ennemminkin rakennuksen ”vahinkopotentiaalia”. Ruutuaineiston ruudulle tuotettu luku on kyseisessä ruudussa sijaitsevien rakennusten omaisuusvahinkoriskien summa (yksikkö m^2/a).

Rakennuspalojen lukumäärällinen jakauma tuhoutumisasteen suhteen on sellainen, että keskimääräinen tuhoutumisaste toteutuu vain hyvin pienessä osassa paloja. Esimerkiksi asuinrakennusten tapauksessa suurimmassa osassa paloista tuhoutuu lähes kaikki (yli 80 % tyyppiasunnon pinta-alasta) tai hyvin vähän (alle 10 % tyyppiasunnon pinta-alasta). Jos siis tarkastellaan esim. yksittäistä pientaloa, on hyvin epätodennäköistä, että omaisuusvahinkomallin tuottama tuhoutumisaste ja siitä johdettu vahingon odotusarvo toteutuvat rakennuspalon sattuessa. Myös syttymistaajuuden käyttö johtaa tulkintaongelmaan, sillä todellisuudessa rakennuspalo joko tapahtuu tai ei tapahdu.

Omaisuusvahinkoriskin ruutukohtainen ennuste voidaan kirjoittaa auki seuraavasti:

Asetetaan tarkasteltavaan ruutuun rakennuskanta R . Annetaan ensimmäisen vuoden kulua, ja lasketaan ruudussa toteutuneiden rakennuspalojen omaisuusvahinkojen summa. Tuloksena saadaan luku A_1 (yksikkö m^2). Ajatellaan, että aina vuoden alkaessa tarkasteltavan ruudun rakennuskanta asetetaan alkuperäistilaan. Kun annetaan taas vuoden kulua, saadaan toisen vuoden rakennuspalojen omaisuusvahinkojen summa, A_2 . Jos annetaan vuosien vieriä tällä tavoin, päädytään pinta-alojen joukkoon $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$. Omaisuusvahinkomallin ruudulle tuottama pinta-ala on ennuste näiden lukujen keskiarvosta, kun n kasvaa rajattomasti.

$$R = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{n}$$

Tämä edellyttää tietenkin, että rakennuksissa, ihmisten käytöksessä ja pelastustoimen vasteessa ei tapahdu muutoksia tarkastelun aikana.

6.3 Henkilövahinkoriski asuinrakennuspaloissa

6.3.1 Tulokset

Asuinrakennuspaloille kehitetty henkilövahinkomalli ennustaa henkilövahinkotaajuuden (henkilövahinkoa/a) syttymistäajuustiheyden, rakennuksen kerrosalan ja henkilövahingon todennäköisyyden perusteella. Henkilövahingon todennäköisyydelle havaittiin riippuvuuksia kerrosalasta (so. tyyppiasunnon koosta), rakennuksen iästä ja vuorokaudenajasta. Riippuvuudet eri muuttujista vaihtelivat asuinrakennustyyppi-kohtaisesti. Asuinrakennusten henkilövahinkomalli muodostettiin siten näiden riippuvuuksien perusteella kullekin asuinrakennustyyppille erikseen. Vuorokaudenaikaa ei sisällytetty henkilövahinkomalliin, koska sen vaikutus olisi todennäköisesti näkynyt vain tasoerona eri vuorokaudenaikojen välillä, muttei olisi muuttanut ruutujen välisiä henkilövahinkoriskisuhteita.

6.3.2 Tulosten tulkinta

Henkilövahinkomalli tuottaa asuinrakennukselle sen tyyppiasunnon pinta-alasta riippuvan henkilövahingon todennäköisyyden (yksikkö henkilövahinkoa/rakennuspalo). Luku on laskettu jakamalla rakennuspaloissa samankaltaisissa olosuhteissa (so. tyyppiasunnon pinta-ala) vuosina 1996–2012 toteutuneiden henkilövahinkojen määrä vastaavalla rakennuspalojen kokonaisuudella. Kun henkilövahingon todennäköisyys kerrotaan rakennuksen syttymistäajuudella (tässä ajatellaan, että palo syttyy tyyppiasunnossa), saadaan rakennuskohtainen henkilövahinkotaajuus (yksikkö henkilövahinkoa/vuosi), tai henkilövahinkoriski. Mallin käyttötarkoituksen vuoksi ei keskitytty vahingon suuruuden tarkkaan arviointiin, jonka vuoksi numeroarvot eivät kuvaa potentiaalisen henkilövahinkoriskin määrällistä suuruutta.

Henkilövahinkoriskin ruutukohtainen ennuste voidaan kirjoittaa auki seuraavasti:

Asetetaan tarkasteltavaan ruutuun rakennuskanta R . Annetaan ensimmäisen vuoden kulua, ja lasketaan ruudussa rakennuspalojen yhteydessä tapahtuneiden henkilövahinkojen summa. Tuloksena saadaan luku h_1 . Ajatellaan, että aina vuoden alkaessa tarkasteltavan ruudun rakennuskanta (ja myös asukkaat) asetetaan alkuperäistilaan. Kun annetaan taas vuoden kulua, saadaan toisen vuoden rakennuspalojen henkilövahinkojen summa, h_2 . Jos annetaan vuosien vieriä tällä tavoin, päädytään henkilövahinkojen joukkoon $\{h_1, h_2, \dots, h_n\}$. Henkilövahinkomallin ruudulle tuottama henkilövahinkojen määrä on ennuste näiden lukujen keskiarvosta, kun n kasvaa rajattomasti.

$$R = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{n}$$

Tämä edellyttää, että rakennuksissa, ihmisten käytöksessä ja pelastustoimen vasteessa ei tapahdu muutoksia tarkastelun aikana.

6.4 Henkilövahinko-onnettomuusriski maanteillä

Ennustettaessa henkilövahinko-onnettomuusriskiä maanteillä käytettiin aineistona VTT:n laatiman TARVA-ohjelman ennustamia nykyisiä henkilövahinko-onnettomuuksien määriä. TARVA-ohjelman ennustamat tiejaksokohtaiset onnettomuustiheydet muutettiin ruutukohtaisiksi onnettomuusmääriksi summaamalla kuhunkin ruutuun sijoittuvien tiejaksojen ennustetut onnettomuusmäärät.

6.5 Tulosten käyttö

Hankkeen lopputulokset visualisoitiin pelastuslaitosten riskianalyyysityötä varten karttamuotoon. Visualisoinnissa hyödynnettiin pelastustoimen toimintavalmiuden suunnittelussa käytettyä 1 km × 1 km ruutu-jakoa ja hankkeen aikana määritettiin kullekin ruudulle omaisuusvahinkoriskiä rakennuspaloissa, henkilövahinkoriskiä asuinrakennuspaloissa ja henkilövahinko-onnettomuusriskiä maanteillä kuvaavat riskitasot. Kullekin edellä mainitulle riskille muodostettiin erilliset kartta-aineistot. Visualisointitarkoituksessa ruudut jaoteltiin riskitason numeroarvon perusteella kahteen luokkaan, tarkoituksena saada ruutuaineistosta erottumaan nimenomaan ne ruudut, joissa tarkasteltava riski oli korkein. Kyseistä kartta-aineistoa voidaan käyttää sellaisenaan pelastuslaitosten riskianalyyysityössä riskikuvaa täydentävänä aineistona.

Vaikka hankkeessa kehitetyt mallit tuottavat ruutukohtaisia numeroarvoja omaisuusvahingoille rakennuspaloissa, henkilövahingoille asuinrakennuspaloissa ja henkilövahinko-onnettomuuksille maanteillä, mallien antamia arvoja ei voida suoraan verrata esim. vuotuisen henkilövahinkojen määrään jollakin tietyllä alueella. Numeroarvot voidaan ymmärtää ennusteina hyvin pitkän aikavälin keskiarvoista, joilla ei ole suoraa vertailukohtaa todellisuudessa. Ne soveltuvat kuitenkin ruudun riskialttiuden kuvaamiseen, ja siten myös ruutujen ja alueiden keskinäiseen vertailuun.

Hankkeessa kehitettyjen mallien (omaisuusvahingot rakennuspaloissa, henkilövahingot asuinrakennuspaloissa, henkilövahinko-onnettomuudet maanteillä) tuottamia numeroarvoja ei voida myöskään suoraan verrata keskenään. Vaikka esim. henkilövahinkoja rakennuspaloissa ja henkilövahinko-onnettomuuksia maanteillä koskevien mallien tuloksilla on sama yksikkö, ne eroavat toisistaan sisällöltään ja tulkinnaltaan.

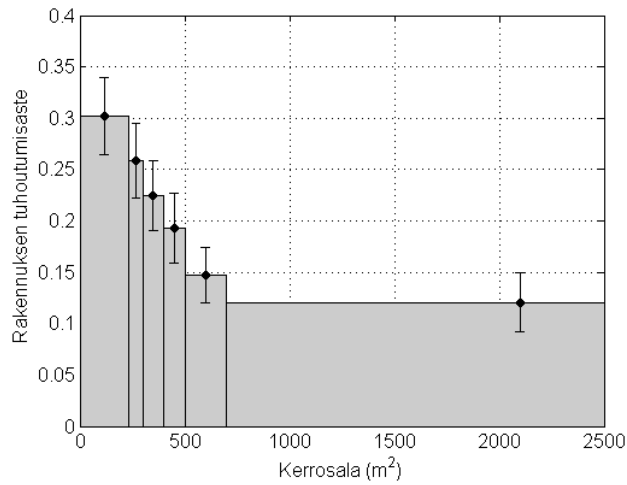
Lähdeluettelo

- Peltola, H., Rajamäki, R. ja Luoma, J. 2013. A tool for safety evaluations of road improvements. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 60, ss. 277–288. doi-link: 10.1016/j.aap.2013.04.008
- Rahikainen, J. ja Keski-Rahkonen, O. 2004, Statistical determination of ignition frequency of structural fires in different premises in Finland, *Fire Technology*, Vol. 40, No. 4, ss. 335–353.
- Rahikainen, J. ja Keski-Rahkonen, O. 1998, Determination of ignition frequency of fires in different premises in Finland, *Fire Engineers Journal*, Nov, ss. 33–37.
- Rahikainen, J. 1998, Palotilastojen analysointi toiminnallisten palosäädösten pohjaksi, Espoo, VTT, VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes 1892, 111 s. + liitt. 79 s. ISBN 951-38-5198-2; 951-38-5199-0, <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1892.pdf>.
- Rajamäki R. 2008, Taajama-alueiden liikennekuolemat vuosina 2000–2005, LINTU-muistio 17.3.2008, Saatavilla pdf-dokumenttina; http://www.lintu.info/taajamien_liikennekuolemat.pdf
- Ristikartano, J., Peltola, H. ja Savolainen, S. 2009. Tiehallinnon liikenneturvallisuusmallien kehittäminen – Esiselvitys. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 78/2008. Tiehallinto, Helsinki 2009. 40 s. + liitt. 5 s. Saatavilla: http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf2/4000676-v_tieh_liikenneturvallisuusmallien_keh.pdf (sivulla käyty 17.6.2014).
- Sisäasiainministeriö 2012, Pelastustoimen toimintavalmiuden suunnitteluohje, Sisäasiainministeriön julkaisut 21/2012, Sisäasiainministeriö, Monistamo, Helsinki 2012, ISBN 978-952-491-749-0 (PDF), 24 s.
- Sisäasiainministeriö 2003, Toimintavalmiusohje A:71, Sisäasiainministeriön pelastusosaston julkaisusarja A, Dnro SM-2002-00018/Tu-35, 12 s.
- Tilastokeskus 1994, Rakennusluokitus 1994, Käsikirjoja 16, 49 s. ISBN 951-47-8735-8, Saatavilla: http://www.stat.fi/tk/tt/luokitukset/lk/rakennus_94_keh.html (sivulla käyty 2.1.2014).
- Tillander, K., Matala, A., Hostikka, S., Tiittanen, P., Kokki, E., Taskinen, O. 2010, Pelastustoimen riskianalysismallien 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>
- Tillander K., Oksanen, T. ja Kokki, E. 2009, Paloriskin arvioinnin tilastopohjaiset tiedot, Espoo, VTT, VTT Tiedotteita 2479, 106 s. + liitt. 5 s. Saatavilla pdf-dokumenttina; <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2479.pdf>
- Tillander, K. 2004, Utilisation of statistics to assess fire risks in buildings, Espoo, VTT Building and Transport, VTT Publications 537, 224 s. + liitt. 37 s. ISBN 951-38-6392-1; 951-38-6393-X, <http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2004/P537.pdf>.
- Tillander, K. & Keski-Rahkonen, O. 2001, Rakennusten syttymistäajuudet PRONTO tietokannasta 1996–1999, Espoo, VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka, VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes 2119, 66 s. + liitt. 16 s. ISBN 951-38-5929-0; 951-38-5930-4, <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2119.pdf>.

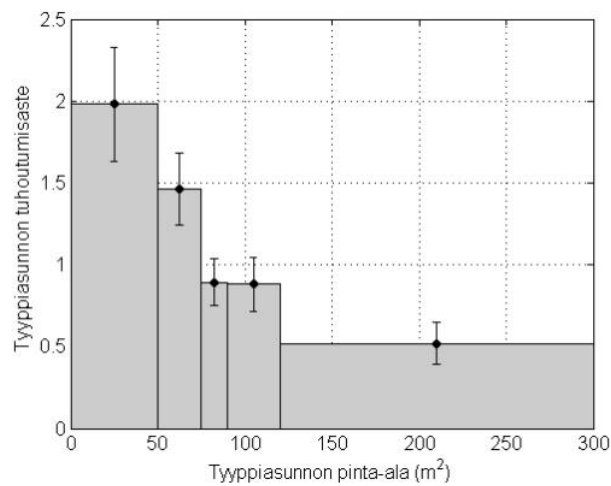


Tillander, K. & Keski-Rahkonen, O. 2003, The ignition frequency of structural fires in Finland 1996–99, Fire safety science: proceedings of the seventh international symposium, 16–21 June 2002, Worcester, Massachusetts, USA, International Association for Fire Safety Science, ss. 1051–1062.

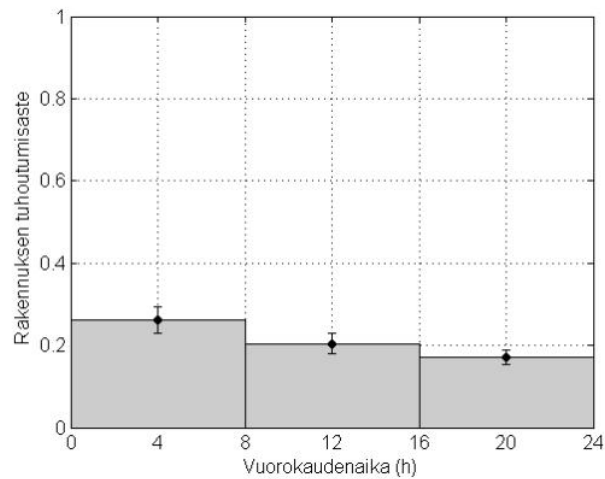
Liite A. Rivi- ja ketjutalot



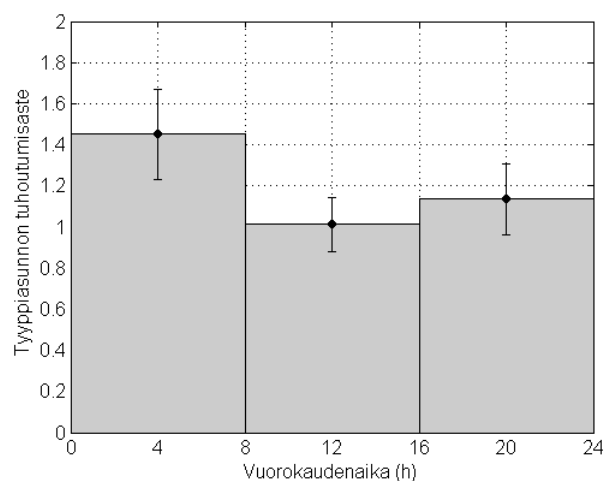
Kuva A1. Rivi- ja ketjutalojen keskimääräinen tuhoutumisaste kerrosalaluokittain.



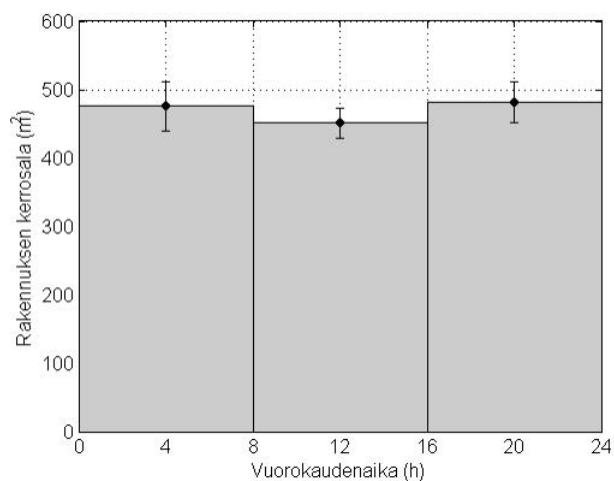
Kuva A2. Rivi- ja ketjutalojen tyypiasunnon keskimääräinen tuhoutumisaste pinta-alaluokittain.



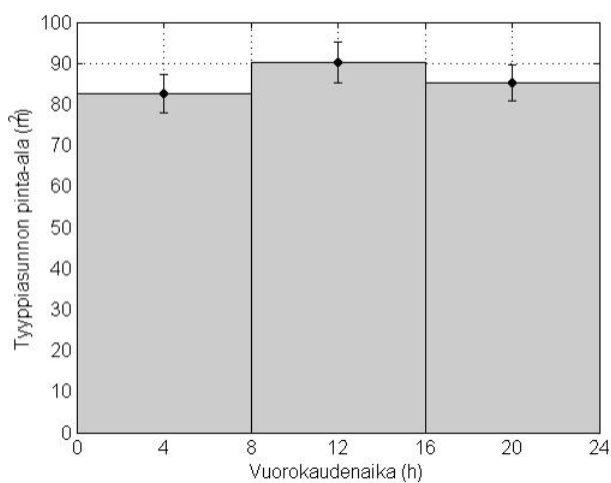
Kuva A3. Rivi- ja ketjutalojen keskimääräinen tuhoutumisaste ilmoitusaikaluokittain.



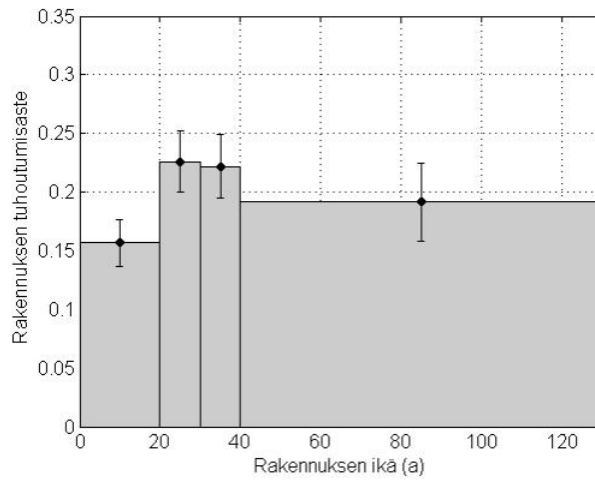
Kuva A4. Rivi- ja ketjutalojen tyypiasunnon keskimääräinen tuhoutumisaste ilmoitusaikaluokittain.



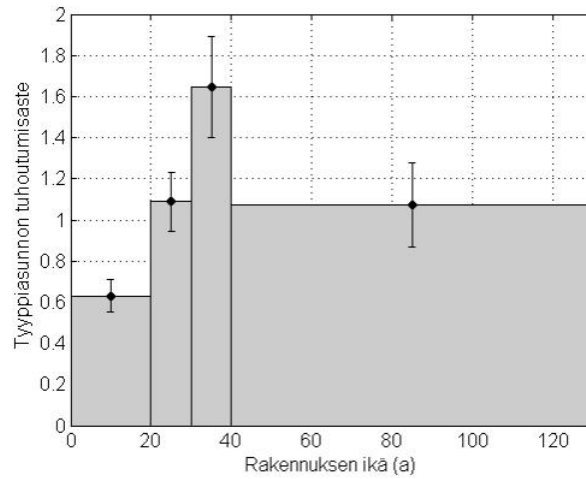
Kuva A5. Rivi- ja ketjutalojen keskimääräinen kerrosala ilmoitusaikaluokittain.



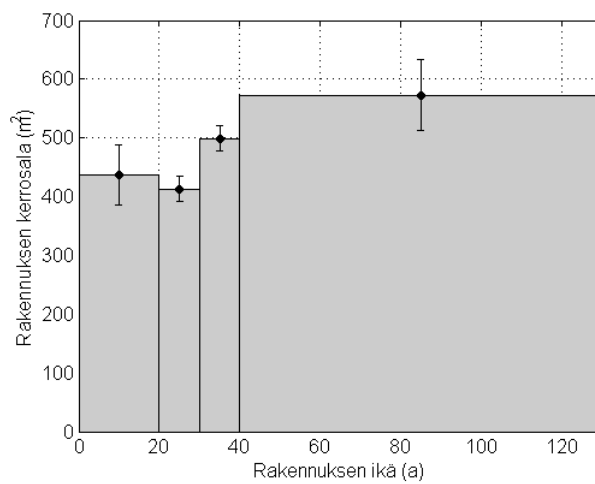
Kuva A6. Rivi- ja ketjutalojen tyypiasunnon keskimääräinen pinta-ala ilmoitusaikaluokittain.



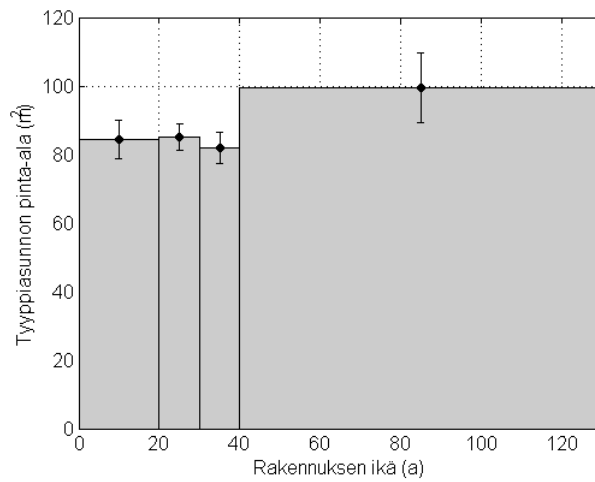
Kuva A7. Rivi- ja ketjutalojen keskimääräinen tuhoutumisaste ikäluokittain.



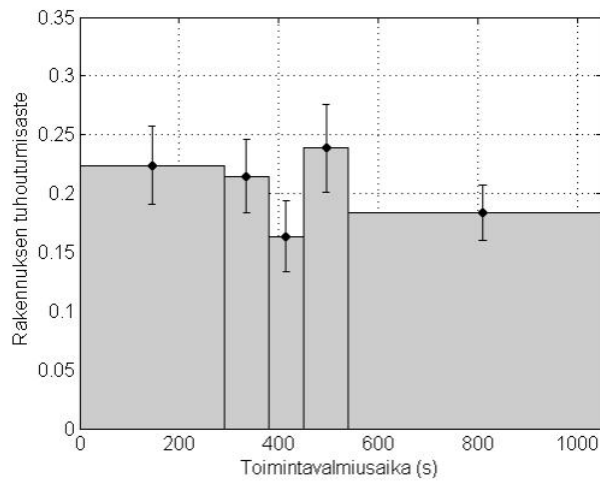
Kuva A8. Rivi- ja ketjutalojen tyyppiasunnon keskimääräinen tuhoutumisaste ikäluokittain.



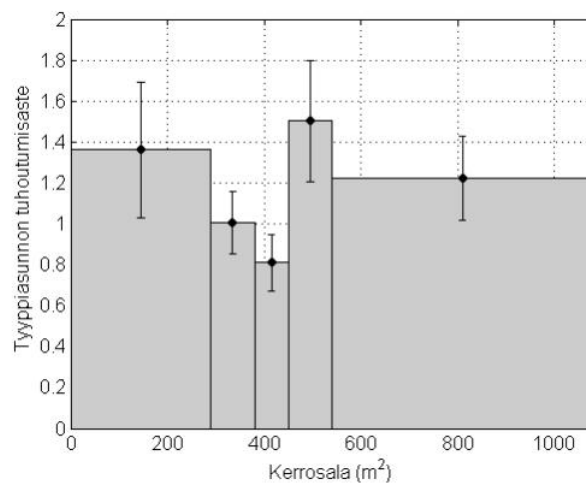
Kuva A9. Rivi- ja ketjutalojen keskimääräinen kerrosala ikäluokittain.



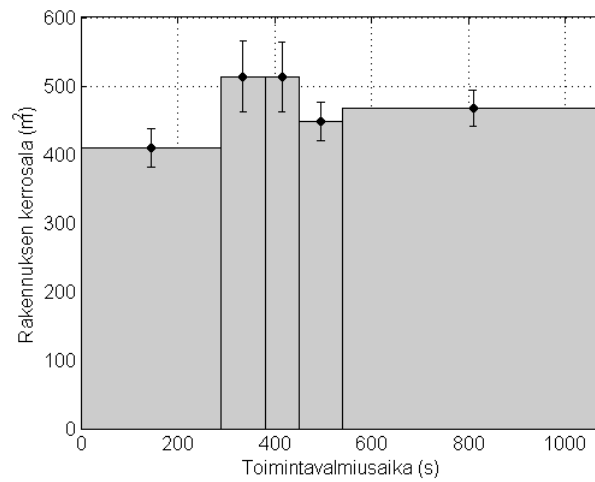
Kuva A10. Rivi- ja ketjutalojen tyypiasunnon keskimääräinen pinta-ala ikäluokittain.



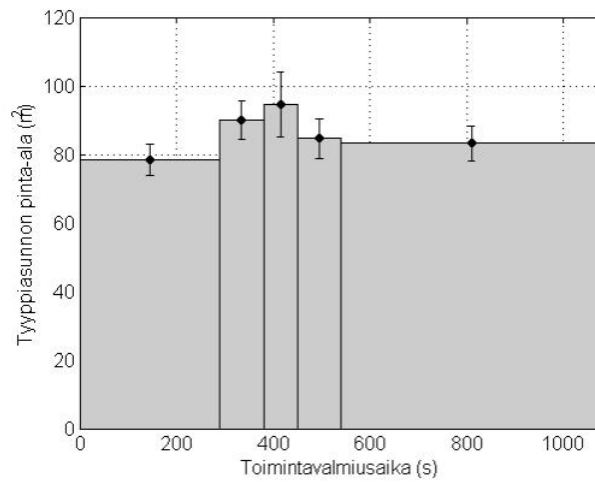
Kuva A11. Rivi- ja ketjutalojen keskimääräinen tuhoutumisaste toimintavalmiusaikalukittain.



Kuva A12. Rivi- ja ketjutalojen tyypiasunnon keskimääräinen tuhoutumisaste toimintavalmiusaikalukittain.

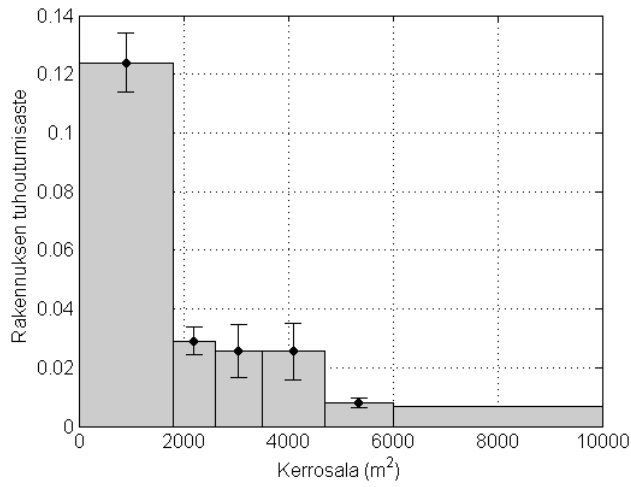


Kuva A13. Rivi- ja ketjutalojen keskimääräinen kerrosala toimintavalmiusaikalukittain.

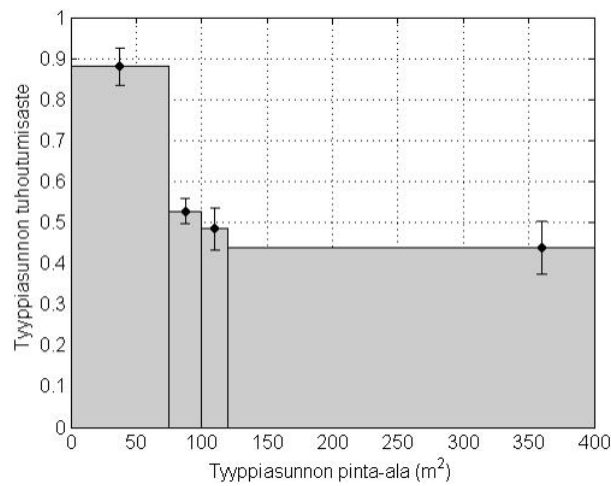


Kuva A14. Rivi- ja ketjutalojen tyypiasunnon keskimääräinen pinta-ala toimintavalmiusaikalukittain.

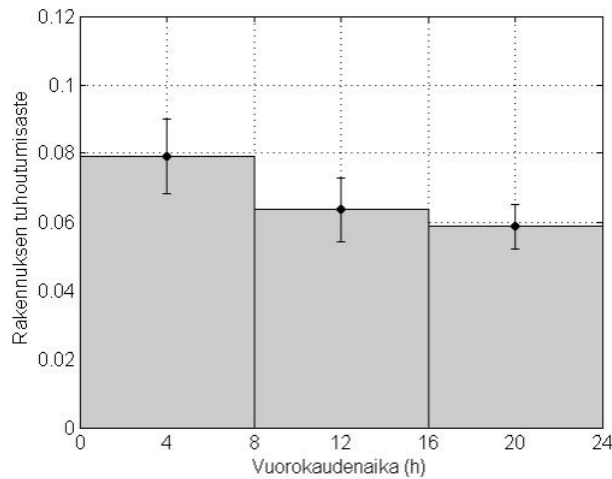
Liite B. Kerrostalot



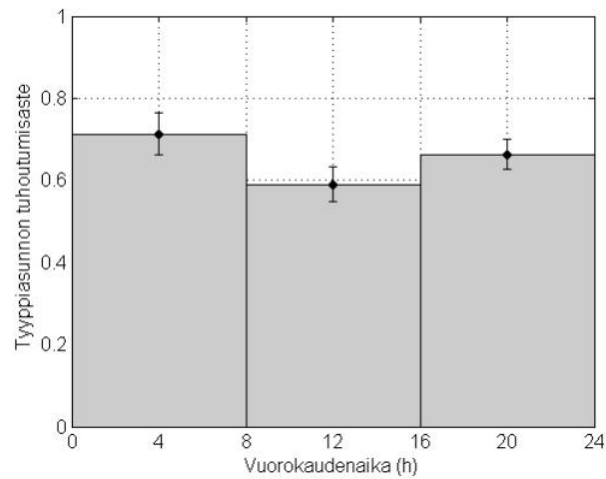
Kuva B1. Asuikerrostalojen keskimääräinen tuhoutumisaste kerrosalaluokittain.



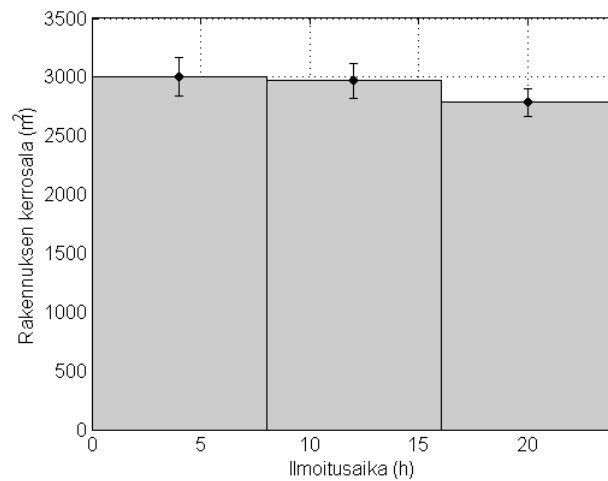
Kuva B2. Asuikerrostalojen tyyppiasunnon keskimääräinen tuhoutumisaste pinta-alaluokittain.



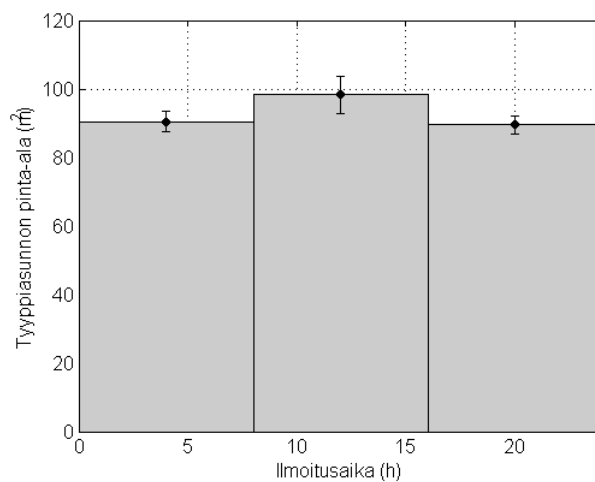
Kuva B3. Asuikerrostalojen keskimääräinen tuhoutumisaste ilmoitusaikaluokittain.



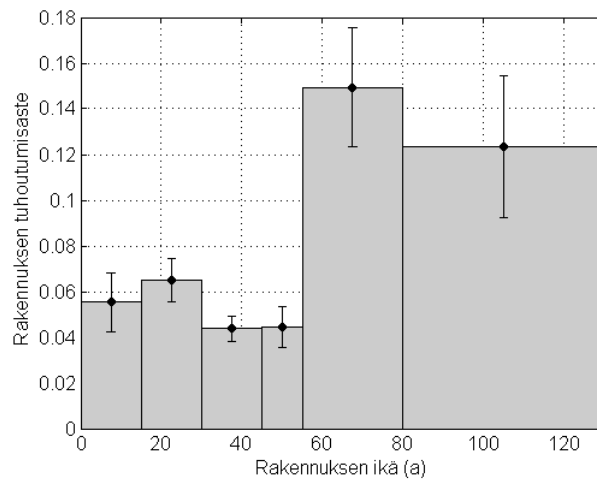
Kuva B4. Asuinkerrostalojen tyypiasunnon keskimääräinen tuhoutumisaste ilmoitusaikaluokittain.



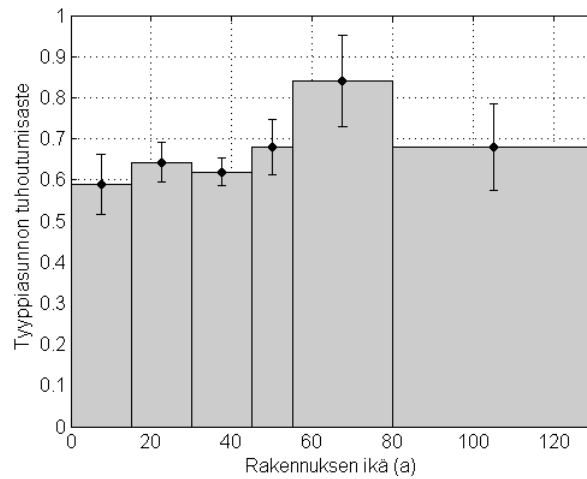
Kuva B5. Asuinkerrostalojen keskimääräinen kerrosala ilmoitusaikaluokittain.



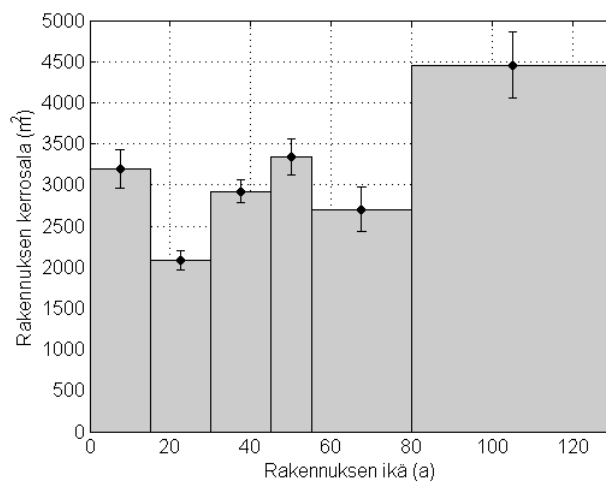
Kuva B6. Asuinkerrostalojen tyypiasunnon keskimääräinen pinta-ala ilmoitusaikaluokittain.



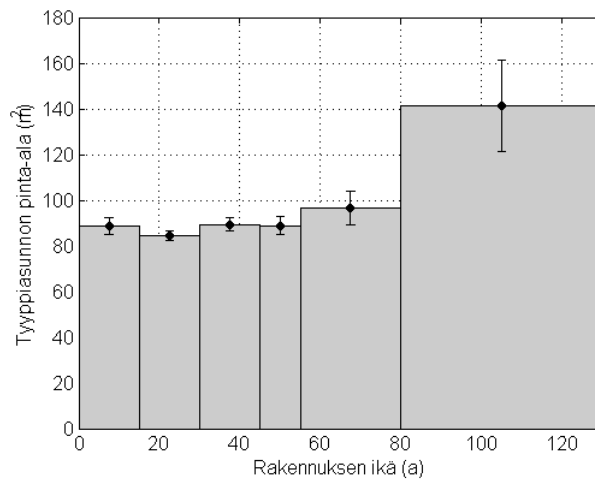
Kuva B7. Asuinkerrostalojen keskimääräinen tuhoutumisaste ikäluokittain.



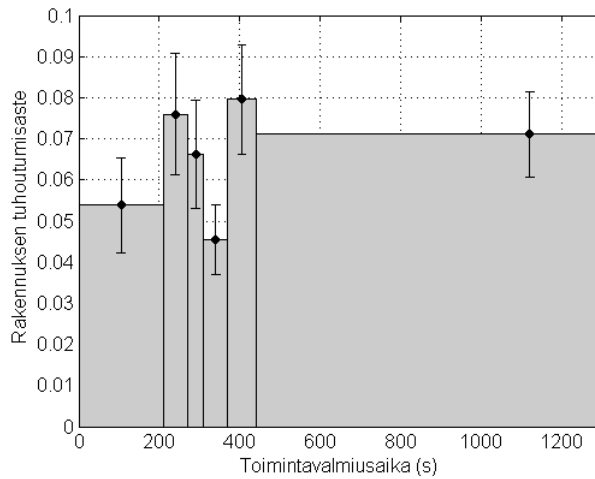
Kuva B8. Asuinkerrostalojen tyyppiasunon keskimääräinen tuhoutumisaste ikäluokittain.



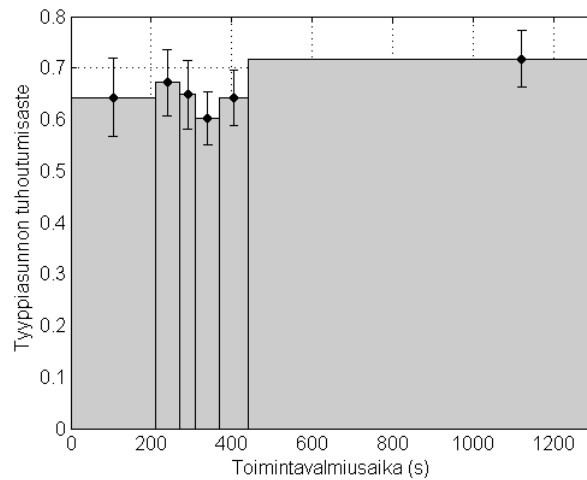
Kuva B9. Asuinkerrostalojen keskimääräinen kerrosala ikäluokittain.



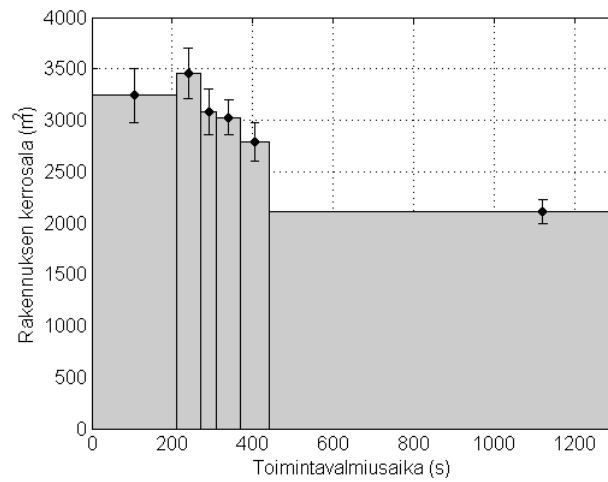
Kuva B10. Asuinkerrostalojen tyypiasunnon keskimääräinen pinta-ala ikäluokittain.



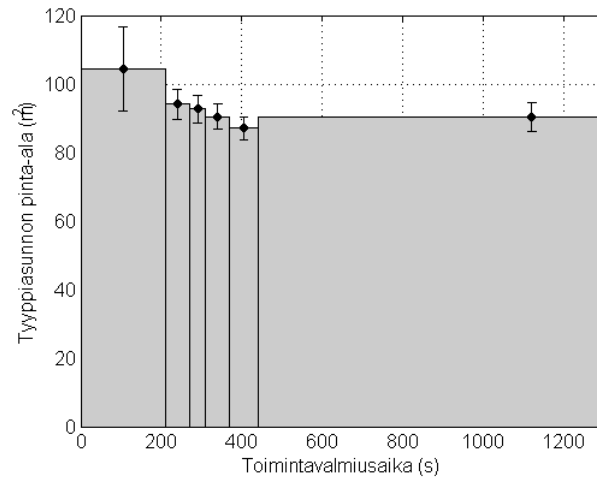
Kuva B11. Asuinkerrostalojen keskimääräinen tuhoutumisaste toimintavalmiusaikalukittain.



Kuva B12. Asuinkerrostalojen tyypiasunnon keskimääräinen tuhoutumisaste toimintavalmiusaikalukittain.

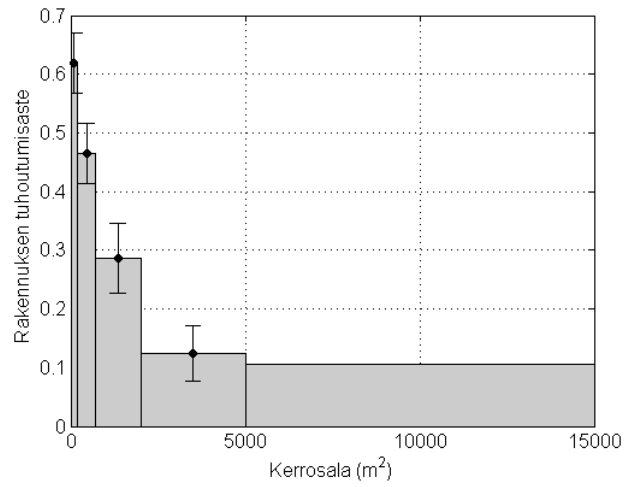


Kuva B13. Asuinkerrostalojen keskimääräinen kerrosala toimintavalmiusaikalukittain.

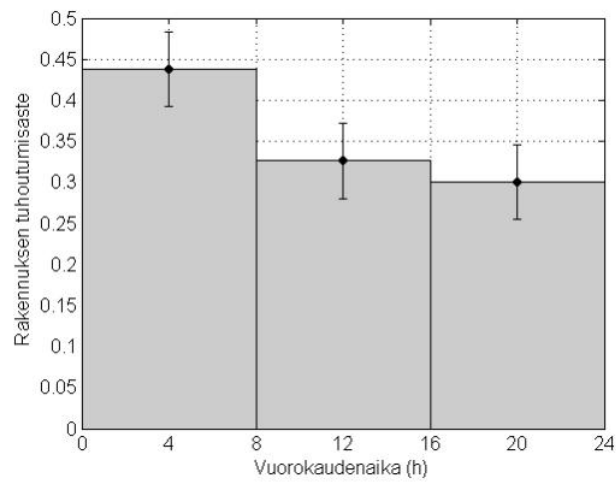


Kuva B14. Asuinkerrostalojen tyyppiasunnon keskimääräinen pinta-ala toimintavalmiusaikalukittain.

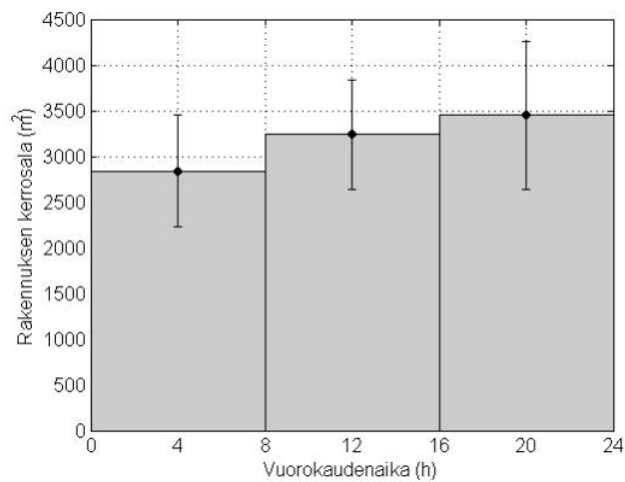
Liite C. Liikerakennukset



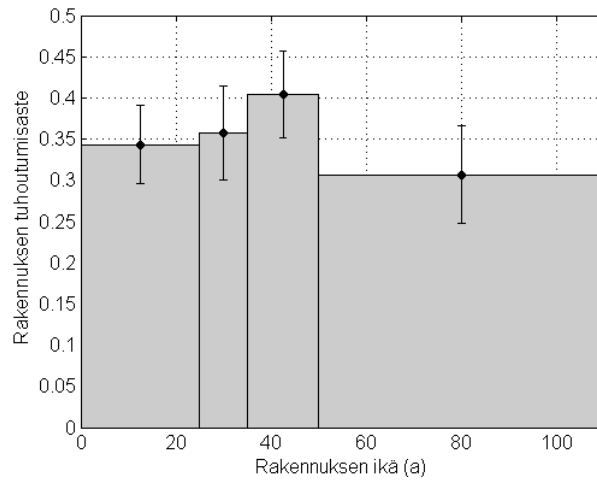
Kuva C1. Liikerakennusten keskimääräinen tuhoutumisaste kerrosalaluokittain.



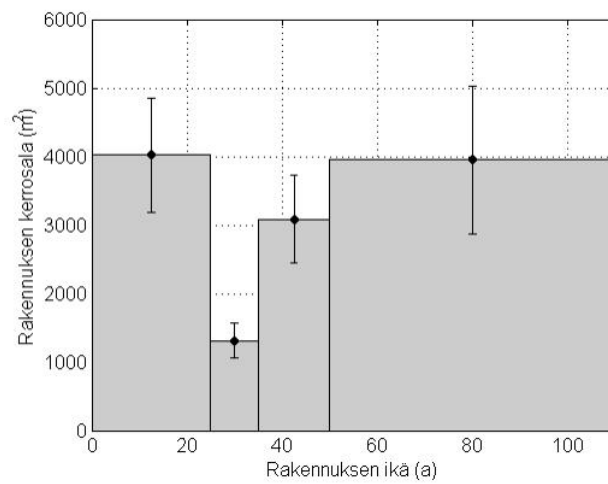
Kuva C2. Liikerakennusten keskimääräinen tuhoutumisaste ilmoitusaikaluokittain.



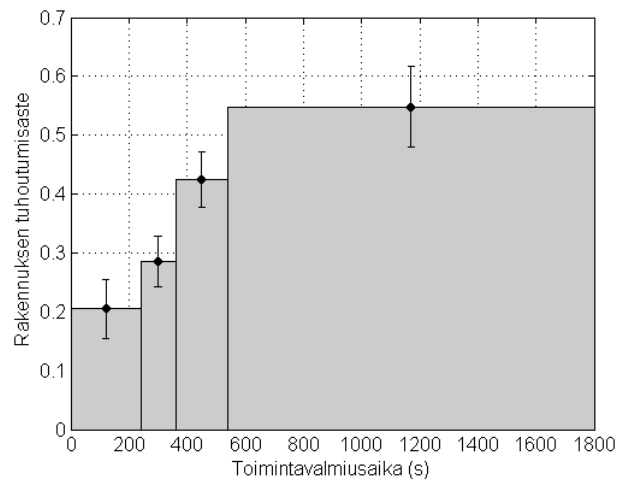
Kuva C3. Liikerakennusten keskimääräinen kerrosala ilmoitusaikaluokittain.



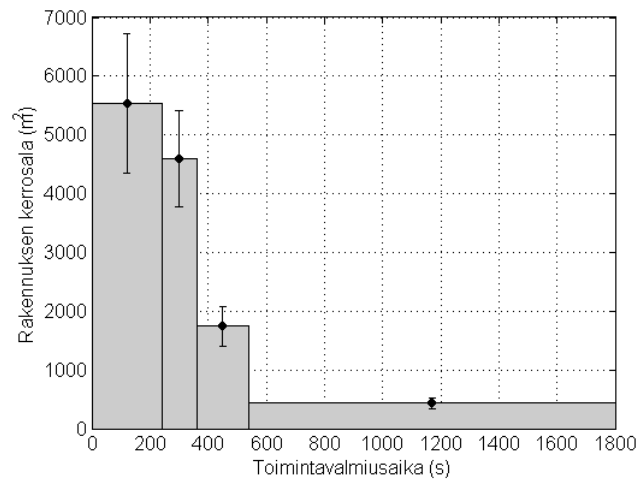
Kuva C4. Liikerakennusten keskimääräinen tuhoutumisaste ikäluokittain.



Kuva C5. Liikerakennusten keskimääräinen kerrosala ikäluokittain.

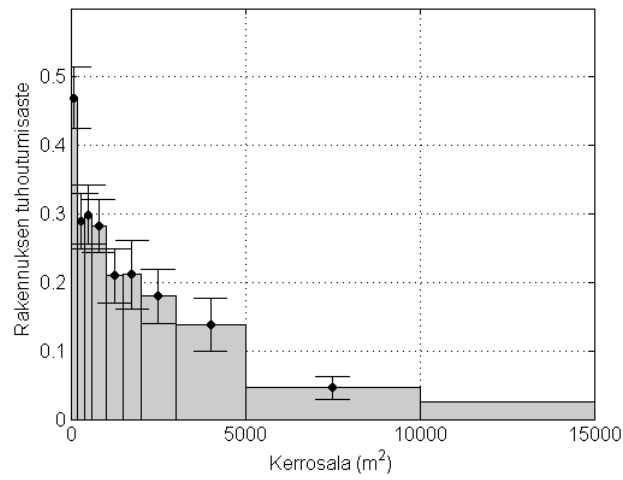


Kuva C6. Liikerakennusten keskimääräinen tuhoutumisaste toimintavalmiusaikalukittain.

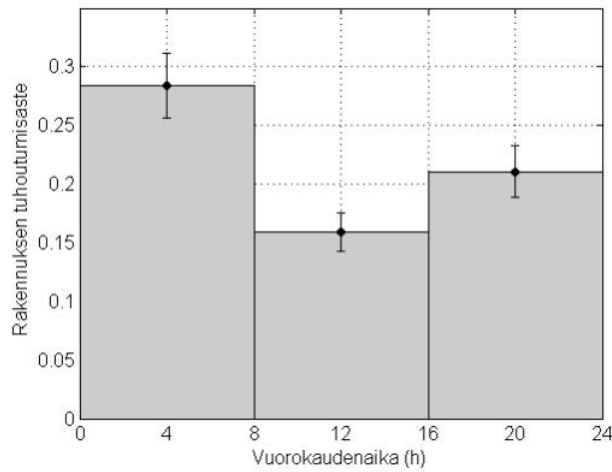


Kuva C7. Liikerakennusten keskimääräinen kerrosala toimintavalmiusaikalukittain.

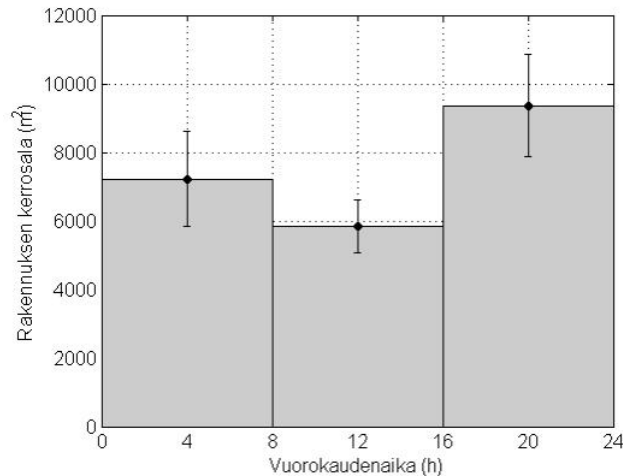
Liite D. Teollisuusrakennukset



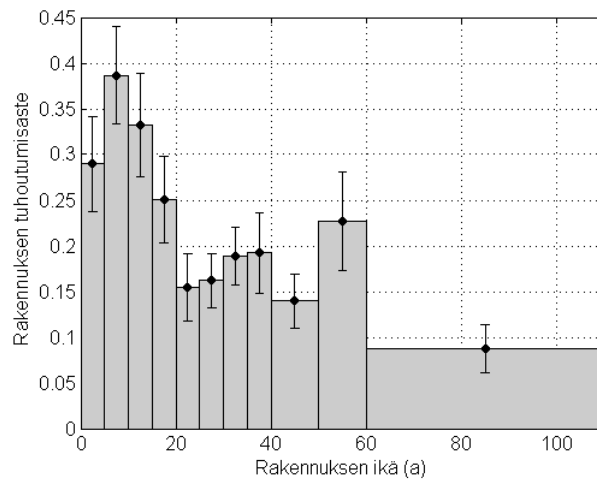
Kuva D1. Teollisuusrakennusten keskimääräinen tuhoutumisaste kerrosalaluokittain.



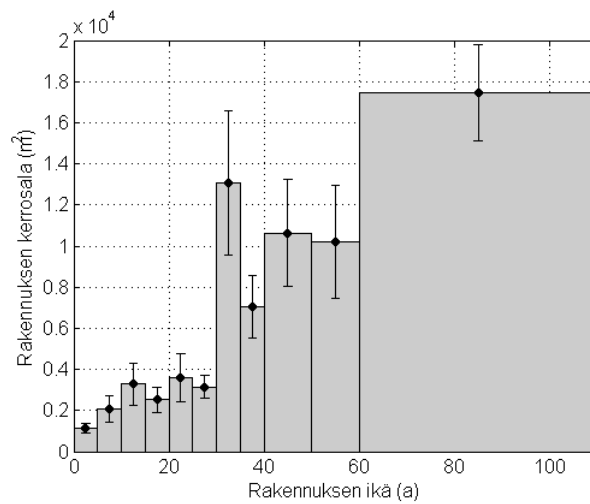
Kuva D2. Teollisuusrakennusten keskimääräinen tuhoutumisaste ilmoitusaikaluokittain.



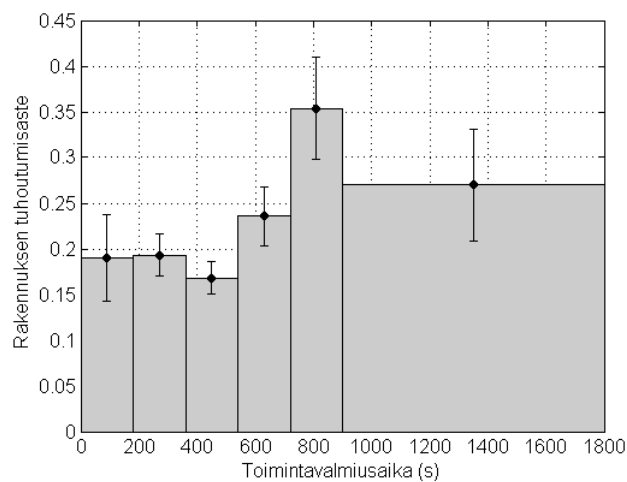
Kuva D3. Teollisuusrakennusten keskimääräinen kerrosala ilmoitusaikaluokittain.



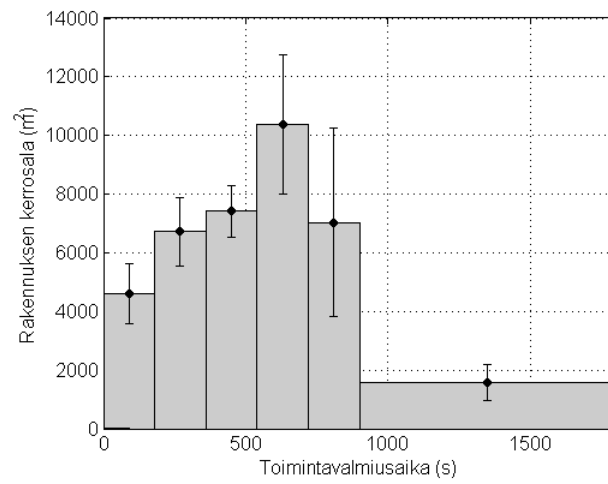
Kuva D4. Teollisuusrakennusten keskimääräinen tuhoutumisaste ikäluokittain.



Kuva D5. Teollisuusrakennusten keskimääräinen kerrosala ikäluokittain.

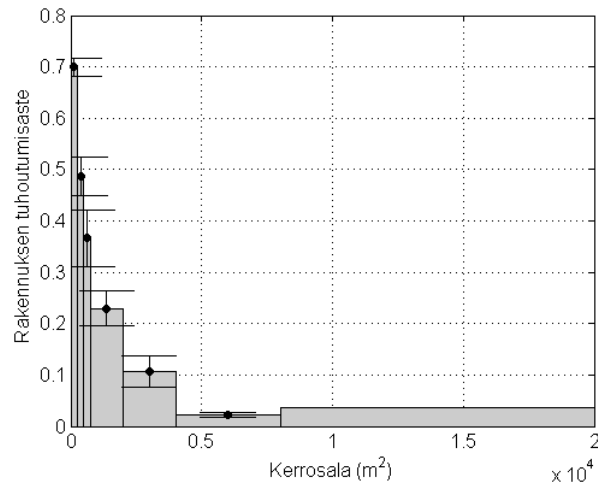


Kuva D6. Teollisuusrakennusten keskimääräinen tuhoutumisaste toimintavalmiusaikalukittain.

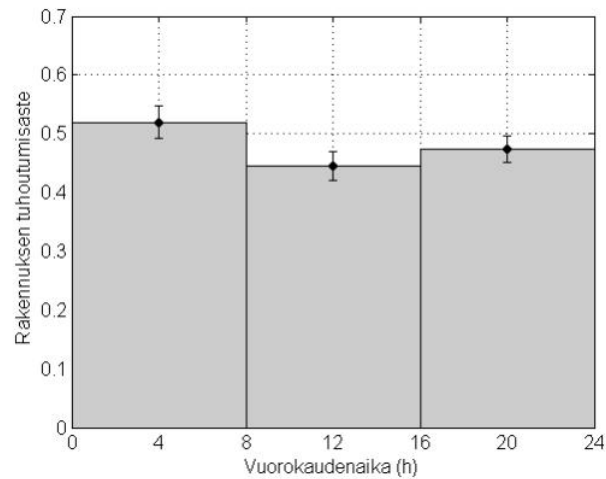


Kuva D7. Teollisuusrakennusten keskimääräinen kerrosala toimintavalmiusaikalukittain.

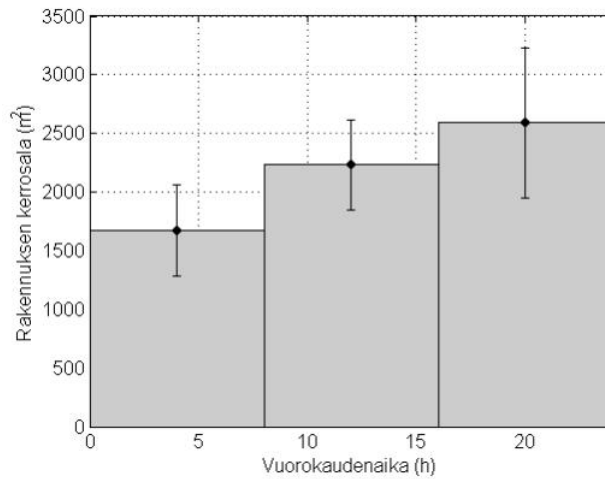
Liite E. Rakennusluokat D, E, F, G, H, K ja L



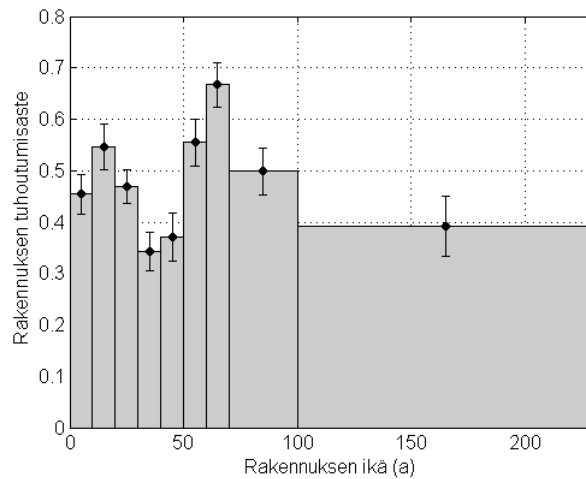
Kuva E1. Keskimääräinen tuhoutumisaste kerrosalaluokittain rakennusluokissa D, E, F, G, H, K ja L.



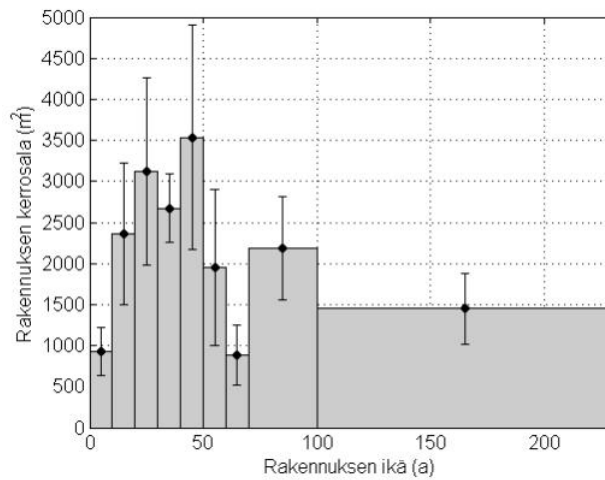
Kuva E2. Keskimääräinen tuhoutumisaste ilmoitusaikaluokittain rakennusluokissa D, E, F, G, H, K ja L.



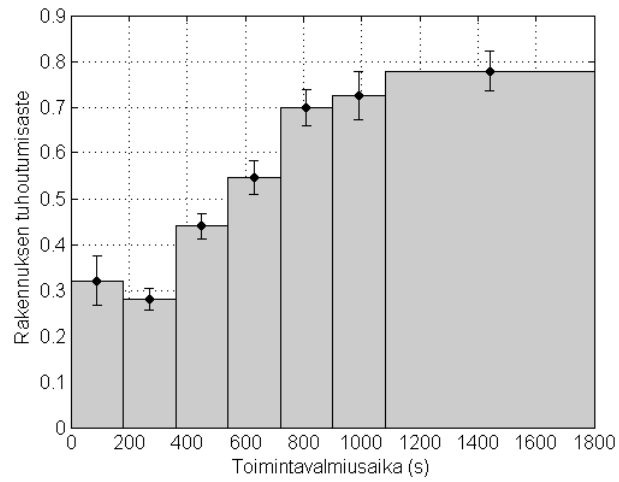
Kuva E3. Keskimääräinen kerrosala ilmoitusaikalukittain rakennusluokissa D, E, F, G, H, K ja L.



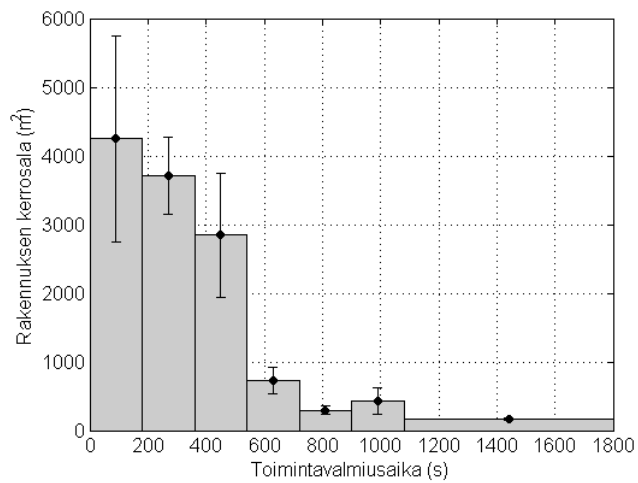
Kuva E4. Keskimääräinen tuhoutumisaste ikäluokittain rakennusluokissa D, E, F, G, H, K ja L.



Kuva E5. Keskimääräinen kerrosala ikäluokittain rakennusluokissa D, E, F, G, H, K ja L.



Kuva E6. Keskimääräinen tuhoutumisaste toimintavalmiusaikalukittain rakennusluokissa D, E, F, G, H, K ja L.



Kuva E7. Keskimääräinen kerrosala toimintavalmiusaikalukittain rakennusluokissa D, E, F, G, H, K ja L.