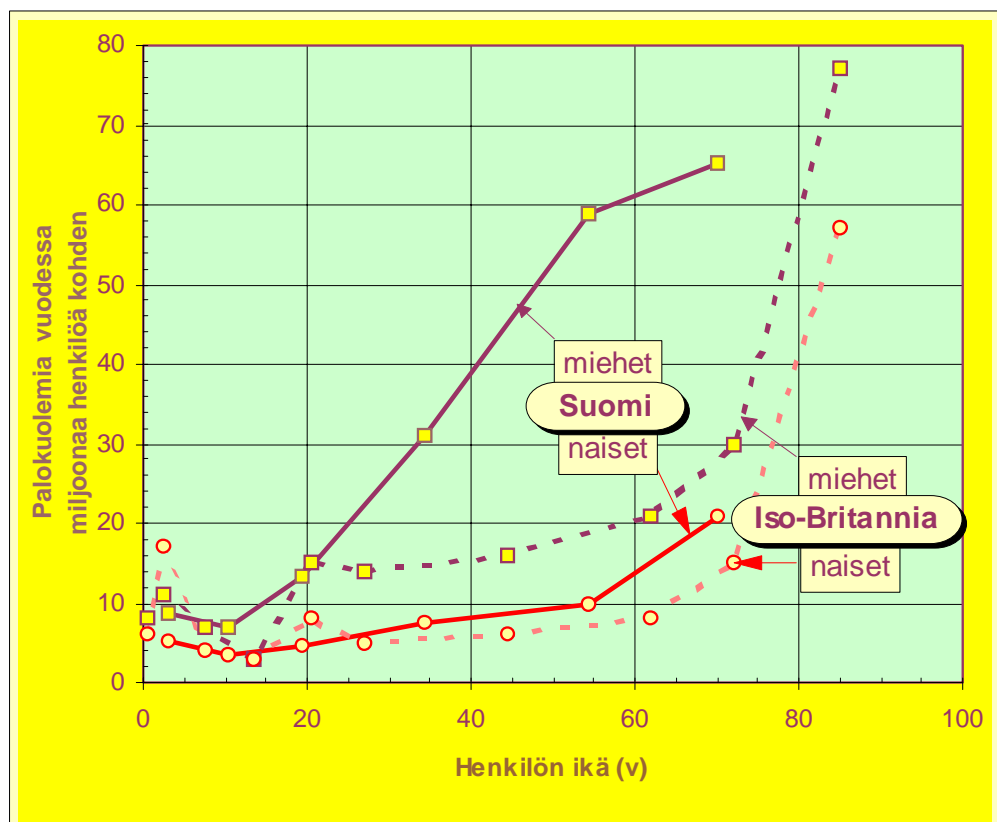


Olavi Keski-Rahkonen & Jouni Björkman

Palotilastoja Suomesta ja ulkomailta toiminnallisten palosäädösten perusteiksi



Palotilastoja Suomesta ja ulkomailta toiminnallisten palosäädösten perusteiksi

Olavi Keski-Rahkonen & Jouni Björkman

VTT Rakennustekniikka



ISBN 951-38-5497-3 (nid.)

ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-5498-1 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1999

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Rakennustekniikka, Rakennusfysiikka, talo- ja palotekniikka, Kivimiehentie 4, PL 1803, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4815

VTT Byggnadsteknik, Byggnadsfysik, hus- och brandteknik, Stenkarlsvägen 4, PB 1803, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4815

VTT Building Technology, Building Physics, Building Services and Fire Technology,
Kivimiehentie 4, P.O.Box 1803, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4815

Toimitus Leena Ukskoski

Libella Painopalvelu Oy, Espoo 1999

Keski-Rahkonen, Olavi & Björkman, Jouni. Palotilastoja Suomesta ja ulkomailta toiminnallisten palo-
säädösten perusteiksi. Espoo 1999. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden –
Research Notes 1990. 56 s.

Avainsanat fire safety, risk analysis, fire statistics, fire regulations

Tiivistelmä

Toiminnallisessa paloturvallisuusajattelussa riskeistä tarvitaan kvantitatiivista tietoa sekä deterministisin että tilastollisin keinoin. Tässä katsauksessa vertaillaan tulipalojen aiheuttamaa henkilö- ja omaisuusriskiä Suomessa ja muutamissa teollisuusmaissa. Suomi on palokuolemissa teollisuusmaiden mustia alueita. Useimmissa teollisuusmaissa palokuolemat vähenevät koko ajan, Suomessa määrät pysyvät samansuuruisina. Suomessa miesten palokuoleman riski on erityisen suuri verrattuna muihin maihin. Työssä ehdotetaan moniuhristen palokuolematilastojen perusteella tavoiteraja suurten kohteiden henkilöturvallisuudelle sekä pelastushenkilöstön turvallisuudelle. Tulipalojen omaisuusriskiä kartoitettiin vakuutusilastoja tutkimalla. Koska nämä eivät kilpailusyistä ole julkisia, kovin tarkkaa kuvaa omaisuusriskien laadusta ja määrästä ei saada. Erityisesti kohteen koon ja palovahingon suuruuden välinen riippuvuus jää hämäräksi. Keskimääräiselle omaisuusriskille rakennuksen kerrosalaa kohden saadaan kuitenkin suuruusluokka-arvio.

Alkusanat

Tämä raportti kuuluu osana VTT Rakennustekniikassa vuosina 1996–2000 käynnissä olevaan kansalliseen tutkimusohjelmaan TOIMINNALLISTEN PALOSÄÄDÖSTEN TEKNISET PERUSTEET (TOPA-projekti).

Tutkimusohjelma koostuu seitsemästä tavoitetta tukevasta osaprojektista:

A0: Toiminnallisen paloturvallisuusarvioinnin yleiset perusteet

A1: Mitoituspalo; palon syttyminen ja kehittyminen

A2: Savun leviäminen

A3: Palon leviäminen; rakenteiden palonkestävyys

A4: Palonilmaisuus ja -sammuus

A5: Poistuminen ja pelastaminen

A6: Palokunnan toimintaedellytykset

A7: Sovellutusesimerkit ja kustannusvaikutukset

Tämä työ kuuluu osaprojektiin A1. Tutkimusohjelmaa rahoittavat Palotutkimusraati, Palosuojelurahasto, ympäristöministeriö, Suomen Vakuutusyhtiöiden Keskusliitto, Rakennustuoteteollisuus ry, Suomen Puututkimus Oy, Teräsrakenneyhdistys ry ja Suomen Muoviteollisuusliitto ry sekä VTT.

Kiitokset professori Sirpa Asko-Seljavaaralle (HYKS) viivästyneitä palokuolemia koskevista kommentteista ja aineistosta.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Alkusanat	4
1. Yleistä riskianalyysistä	7
1.1 Tilastot ja paloturvallisuus	7
1.2 Riskianalyysin lähteitä	7
1.3 Paloriskianalyysi	8
1.4 Tilastojen merkitys	9
1.5 Asiantuntija-arviot	10
1.6 Toiminnallisten säädösten vaikutus paloturvallisuustasoon	10
1.7 Palotilastojen käytettävyys	10
2. Palotilastoaineisto Suomessa	12
2.1 Ylläpidettävät palotilastot	12
2.2 Palotilastojen selvitykset	12
3. Palokuolemat teollisuusmaissa	13
3.1 Palokuolemat eri maissa	13
3.2 Palokuolemien määrä lähimenneisyydessä	14
3.2.1 Kehitys Suomessa	14
3.2.2 Kehitys Skandinaviassa	16
3.2.3 Kehitys muutamissa teollisuusmaissa	19
3.3 Palokuolemien sukupuolijakauma	21
3.4 Iän vaikutus palokuolemiin	21
3.5 Moniuhriset palot	25
3.6 Palokuoleman aikajakauma	28
4. Palokuoleman olosuhteet	30
5. Palomiesten kuolemat	35
6. Omaisuusvahingot	37
6.1 Kansainvälinen vahinkojen vertailu	37
6.2 Pohjoismainen vahinkojen vertailu	39
6.3 Suomen palovahinkotilastoja	40
6.4 Palovakuutusten ominaispiirteitä	44
7. Johtopäätökset	48
7.1 Henkilöturvallisuus	48
7.2 Omaisuuden turvallisuus	49
Lähdeluettelo	51

1. Yleistä riskianalyysistä

1.1 Tilastot ja paloturvallisuus

Henkilöturvallisuus on kaikkialla ensimmäisenä käytetty kriteeri suunniteltaessa tai arvioitaessa rakennuksen paloturvallisuutta. Monissa maissa on pidetty tilastoja paloissa sattuneista henkilövahingoista, mutta käytännön paloturvallisuussuunnitteluun niillä ei ole näihin aikoihin saakka ollut suoranaista vaikutusta. Epäsuoraa vaikutusta on ollut poliittisten päätösten yhteydessä perusteltaessa joitakin toimenpiteitä. Tätä suurempi vaikutus päätöksentekijöihin on ollut suurilla yksittäisillä palokatastrofeilla, joiden jälkeen on ryhdytty eriasteisiin toimenpiteisiin vastaavan tapahtuman toistumisen ehkäisemiseksi. Katastrofien osuus kaikista palojen aiheuttamista henkilövahingoista on kuitenkin tilastollisesti pieni.

Toiminnallisessa paloturvallisuussuunnittelussa palotilastot ja niiden tilastomatemattinen käsittely muodostavat kuitenkin sen kokeellisen aineiston, jonka nojalla turvallisuuden tavoite voidaan asettaa sellaiselle tasolle, joka on realistinen, kansalaisten 'sietämä' ja muutenkin tarkoituksenmukainen.

1.2 Riskianalyysin lähteitä

Toiminnallisen paloturvallisuussuunnittelun matemaattinen malli, riskianalyttinen lähestymistapa, on tuotu rakennus- ja palotekniikkaan muilta teknologian alueilta. Se on alun perin kehitetty ja sitä on pitkään sovellettu erityisesti suuria mahdollisia riskejä sisältävän teollisuuden piirissä. Englantilainen F. R. Farmer sovelsi sitä 1960-luvun alussa ensi kerran ydinvoimaloiden turvallisuustarkasteluihin. Alan käytännön sovellusten julkisia, klassisia merkkipaaluja ovat ennen kaikkea Rasmussenin raportti WASH-1400 (1975), Yhdysvaltain ydinvoimateollisuuden riskejä käsittelevä jättiläisteesos, jonka laatimista johti MIT:n professori Norman C. Rasmussen. Sen pohjalta kehitettiin myöhemmin muutaman komitean työn tuloksena Yhdysvaltojen teollisuudelle ydinvoimaloiden riskianalyysin ohje NUREG/CR-2300 (1983) sekä vastaavat ohjeet muutamissa muissa maissa. Nämä asiakirjat ovat ohjanneet käytännön riskianalyysityötä siitä lähtien ja ovat periaatteiltaan edelleen päivitettyinä voimassa.

Kemian teollisuuden riskianalyysien sovellusten merkkipaaluja ovat Canvey Island (1978), Englannissa Thamesin suulla olevan saaren öljyteollisuuden riskianalyysi sekä Rijnmond Area (1982), Rotterdamin ja Pohjanmeren välisen Reinin suistoalueen teollisuuslaitosten ja sataman riskianalyysi.

Riskianalyysin yleistä tekniikkaa ja menetelmiä on kuvattu esimerkiksi McCormickin (1981) kirjassa, Henleyn ja Kumamoton (1992) käsikirjassa ja Greenin (1982) toimittamassa kokoomateoksessa. Suomen kielellä riskianalyysin tekniikasta Ervamaa ym. (1979) ovat kirjoittaneet oppikirjan. Riskianalyysi on löytänyt nopeasti sovelluskohteita monilla erilaisilla yhteiskunnan alueilla pörssitoiminnasta lääke-tieteeseen, kuten Suomenkin osalta ilmenee analyysin sovelluksia käsittelevästä seminaarijulkaisusta (Hämäläinen ym. 1989).

1.3 Paloriskianalyysi

Palotekniikkaan riskianalyysi tuotiin ensin kantavien rakenteiden palomitoitukseen 1970-luvun alussa osavarmuuskerrointen muodossa (Pettersson ym. 1974). Suomessa sen tunnetuin osa on professori Petterssonin Lundin yliopistossa johtaman projektin tulos kantavien rakenteiden mitoitukselta, mikä meillä on esitetty teoksessa "Teräsrakenteiden palotekninen mitoitus" (Siirilä ym. 1978). Tosin tässä julkaisussa on jätetty kokonaan mainitsematta riskianalyttinen ajattelutapa, joka on Petterssonin projektin alkuperäisjulkaisuissa ja "Teräskirjan" ruotsinkielisessä esikuvassa (Magnusson ym. 1974) keskeisenä esillä. Kattavat esitykset kantavien rakenteiden riskianalyttisen mitoituksen perusteista sekä mitoitusohjeista on kansainvälisen palotutkimuskomitean, CIB W14:n, työpajojen laajoissa raporteissa (Anon 1983, Anon. 1986).

Kantavien rakenteiden ulkopuolella palotekniikkaan ja rakennusten tulipaloihin riskianalyysiä alettiin soveltaa ensin yhdysvaltalaisen Browns Ferryn ydinvoimalan palon (22.3.1975) jälkeen. Saman vuoden lokakuussa ilmestyneessä Rasmussenin raportin lopullisessa versiossa (WASH-1400, 1975) oli jo lyhyt todennäköisyystarkastelu tulipalojen osuudesta voimaloiden kokonaisriskiin, mikä oli tyystin puuttunut edellisenä vuonna lausuntokierrokselle lähetetystä luonnoksesta.

Muulla rakennustekniikassa paloriskianalyysia kokeiltiin jo 1970-luvun lopulla ja kehiteltiin erilaisia, edelleenkin käyttökelpoisia vika- ja tapahtumapuorakenteita (esim. NFPA 1977), mutta tilastotietojen suppeuden ja mallien puuttumisen vuoksi se ei johtanut silloin käytännöllisiin työkaluihin. Paloriskianalyysia on laajassa mitassa alettu soveltaa suhteellisen myöhään vasta toiminnallisten palosäädösten alkaessa korvata perinteisiä komponenttiehin kohdistuvia määräyksiä ja vaatimuksia. Australiassa vietiin paloriskianalyysiin pohjautuva arviointimenetelmä ensimmäisten joukossa käytäntöön säädösten tasolle asti ja muokaten menetelmiä rakennusten paloriskianalyysiin soveltuviksi (Eaton 1991). Pohjoismainen palosäädöskomitea (NKB 1994) käytti työssään paljon australialaisten kokemuksia ja noudatti mallikoodiluonnoksessaan samoja periaatteita.

Suomessa on tehty kauan teollisuuslaitosten paloriskianalyysejä käyttäen eritasoisia tilastollisia ja deterministisiä menetelmiä osana näiden laitosten muuta riskianalyyttistä käsittelyä. Pisimmät perinteet tässä ovat vakuutusyhtiöillä, mutta erityisen intensiivistä soveltaminen on ollut ydinvoimalaitosten turvallisuutta käsittelevässä työssä. Pääosa tästä toiminnasta on tapahtunut alan teollisuuden sisällä eikä tuloksia ole julkaistu avoimessa kirjallisuudessa. Muutamia paloriskianalyysin menetelmiin ja niiden kehittämiseen liittyviä julkisia katsauksia on esitetty viitteissä Keski-Rahkonen 1987, Keski-Rahkonen & Heikkilä 1992 ja Keski-Rahkonen 1995.

Kemian teollisuuden räätälöityjen, palojenkin riskejä käsittelevien indeksipohjaisten menetelmien soveltuvuutta rakennusten paloriskeihin kokeiltiin VTT:llä toteutetussa projektissa ja todettiin, etteivät ne sellaisinaan ole riittävän herkkiä käsittelemään erilaisia tilanteita paloturvallisuuden vaihtoehtojen arvioimiseksi (Keski-Rahkonen ym. 1991). Rakennusten ja laivojen paloturvallisuuden arviointiin kehitettyä amerikkalaista menetelmää, joka nojaa vahvasti asiantuntija-arvioihin, sovellettiin kokeiluluontoisesti pariin kohteeseen hankkimalla ohjelmalle Suomen olosuhteisiin soveltuvaa syöteaineistoa (Björkman & Keski-Rahkonen 1996). Näissä mainituissa sovelluksissa tuli selkeästi ilmi muuallakin yleisesti tunnettu seikka, että riskianalyysi ei voi koskaan olla luotettavampi kuin sen tekemiseen käytetyt lähtötiedot. Näitä lähtötietoja on paloriskien analyysointiin hyvin niukalti saatavissa.

Tässä työssä kerätään kirjallisuudesta olemassa olevaa aineistoa ja muokataan sitä riskianalyysin käyttöön sopivaan muotoon. Kuitenkin vielä nytkin on selvää, että kattavien paloriskianalyysien tekeminen kohtaa samoja vaikeuksia kuin 1970-luvulla (tosin paljon lievempinä puutteina), esim. tilastotietojen niukkuutta, riittämättöminä tai epävarmoina osaprosessien malleina sekä luotettavien kokeellisten tietojen puutteena.

1.4 Tilastojen merkitys

Toiminnallisessa paloturvallisuusajattelussa vaaratilanteen, esimerkiksi syttymisen tai henkilövahingon, todennäköisyys määrää, miten merkittävästä asiasta on kysymys. Eri-laisten tilanteiden taajuudet ja muut paloihin liittyvät mitattavat tiedot saadaan kattavalla tavalla palotilastoista. Tilastoaineisto kertoo menneestä, mutta silti tilastotietoa normitettuna asianmukaiseen kantajoukkoon, kuten väestöön tai rakennuskantaan, on pidettävä parhaimpana palotoimen asioiden mittarina. Palotilastoja kerätään eri maissa pääasiassa hallinnollisiin tarkoituksiin. Niihin ei sisälly läheskään kaikkea sitä tietoa, mitä toiminnallisessa suunnittelussa tarvittaisiin. Tilastoja ei myöskään ole perinteisesti käsitelty sillä tavalla, että niistä olisi luettavissa suoraan sellaisia suureita, joita tarvitaan paloriskianalyysiä tehtäessä.

1.5 Asiantuntija-arviot

Tilastoja korvaamaan käytetään usein asiantuntija-arvioita. Monet palotoimessa työskentelevät uskovat pystyvänsä arvioimaan riskejä oman kokemuksensa ja intuiionsa varassa, ja teoreettisia menetelmiä käyttävienkin on hyvä kuunnella myös käytännön kentän ääntä, jotta he eivät irtautuisi todellisuudesta. Tähän ajattelutapaan liittyy kuitenkin riskianalyyseissa tunnettuja vaaroja, jotka vääristävät tapahtumataajuuksien arvioita (Harper ym. 1994). Esimerkiksi jokin kokemuspöörissä lähimuistissa oleva tapahtuma saattaa aiheettomasti nostaa sen todennäköisyyttä asiantuntija-arvioinnissa. Ilmiö näkyy korostuneena medioissa entisen presidenttimme mainitsemana sopuli-ilmionä; tuoreeltaan sattuneita huomattavia turmia pidetään kaiken mittana, vaikka ne olisivat hyvinkin epätodennäköisiä, kuten äskettäisen Lahden kerrostalopalon (Katajamäki 1997) jälkikeskustelu on osoittanut.

1.6 Toiminnallisten säädösten vaikutus paloturvallisuustasoon

Yleinen ongelma teollistuneissa maissa toiminnallisten säädösten käyttöönotolle perinteisten säädösten rinnalle on kahden eri menettelyn vastaavuuden vertailu. Mikä on riittävän turvallista yksittäiselle rakennukselle? Se on vaikea mittaus- ja mallitusprobleema, johon vastaus saataneen vasta riittävän pitkän kokemuksen jälkeen. Tätä huomattavasti helpompaa on mitata, mikä on todellinen nykyinen turvallisuustaso. Tähän palotilastot antavat objektiivisen perustan. Tilastoista saatava tieto on historiatietoa, mutta pitämällä mielessä, että rakennuskanta ei olennaisesti muutu tarkasteltavalla aikajännteellä ja ihmisten käyttäytyminen muuttuu hitaasti, palotilastojen analysointi tarjoaa parhaan ja luotettavimman lähtökohdan keskimääräisen turvallisuustason mittaamiseksi. Nykytilanteen turvallisuustaso ei välttämättä ole tavoitetaso, mutta koska sekä väestöpohjan että rakennus- ja laitekannan sekä yleisön käyttäytymisen muutokset ovat hitaahkoja, nykytasoa lienee lähellä siedettävää tasoa ja tarjoaa pohjan toiminnallisen paloturvallisuustason asettamiseksi.

1.7 Palotilastojen käytettävyys

Palotilastot ovat monissa maissa kovin vaillinaisia, mikä vaikeuttaa niiden käyttöä ja helposti johtaa pelkkien asiantuntija-arvioiden soveltamiseen. Suomessa erinomaisen uuden lähtökohdan palotilastojen soveltamiseen antaa vuodesta 1994 alkaen käyttöön otettu onnettomuustietokanta (ONTIKA) -järjestelmä, johon kootaan vuosittain tietoa tulipaloista ja muista onnettomuuksista. Tässä ei käsitellä itse ONTIKAA, koska siitä on palotaajuuksien määrittämiseksi tehty erilliset selvitykset (Rahikainen 1998a, Rahikainen ja Keski-Rahkonen 1998a, b, Keski-Rahkonen 1998a).

Pelkät tapahtumien lukumäärätiedot eivät ole riittäviä, vaan kaikissa ilmiöissä on pyrittävä todennäköisyyksien laskemiseen. Sitä varten on tiedettävä kantajoukko, josta tapahtumat tulevat ja johon niiden lukumäärä normitetaan. Arvioitaessa esimerkiksi palokuoleman todennäköisyyttä kuolemantapausten lukumäärä on jaettava väestön kokonaislukumäärällä tarkasteltavassa kannassa, esimerkiksi Suomen väestössä. Tämän työn tarkoituksena oli koota käytettävissä olevista paloihin liittyvistä tilastoista tietoja Suomesta (vielä ilman ONTIKAA) ja ulkomailta sekä laskea niistä normittamalla asianomaiseen perusjoukkoon taajuuksia ja todennäköisyyksiä, joita voidaan sellaisenaan käyttää toiminnallisen paloriskianalyysin lähtötietoina. Siten palotilastoihin on liitettävä muita tietoja väestöstä, rakennuskannasta ja muista senkaltaisista asioista; vasta näitä tietoja yhdistelemällä saadaan käyttökelpoisia arvioita paloriskianalyysien lähtötiedoiksi.

2. Palotilastoaineisto Suomessa

2.1 Ylläpidettävät palotilastot

Suomessa sisäasiainministeriö on julkaissut palo- ja pelastustoimen vuositilastoa palolaitosten sammutustoimiin johtaneista paloista. Tilasto sisältää mm. henkilövahingot, tiedot paloista lääneittäin onnettomuus-, rakennus- ja toimintotyypeittäin sekä tietoa pelastustoimesta. Vuodesta 1994 käyttöön otettu onnettomuustietokanta ONTIKA korvannee vastaavan vuositilaston jatkossa. Tässä luodaan kuitenkin katsaus lähimenneisyyteen olemassa olevan ONTIKAN ulkopuolisen tilastomateriaalin perusteella, jotta nähtäisiin, millä tasolla henkilöturvallisuutemme on, miten pärjäämme kansainvälisessä vertailussa ja minne olemme menossa.

2.2 Palotilastojen selvitykset

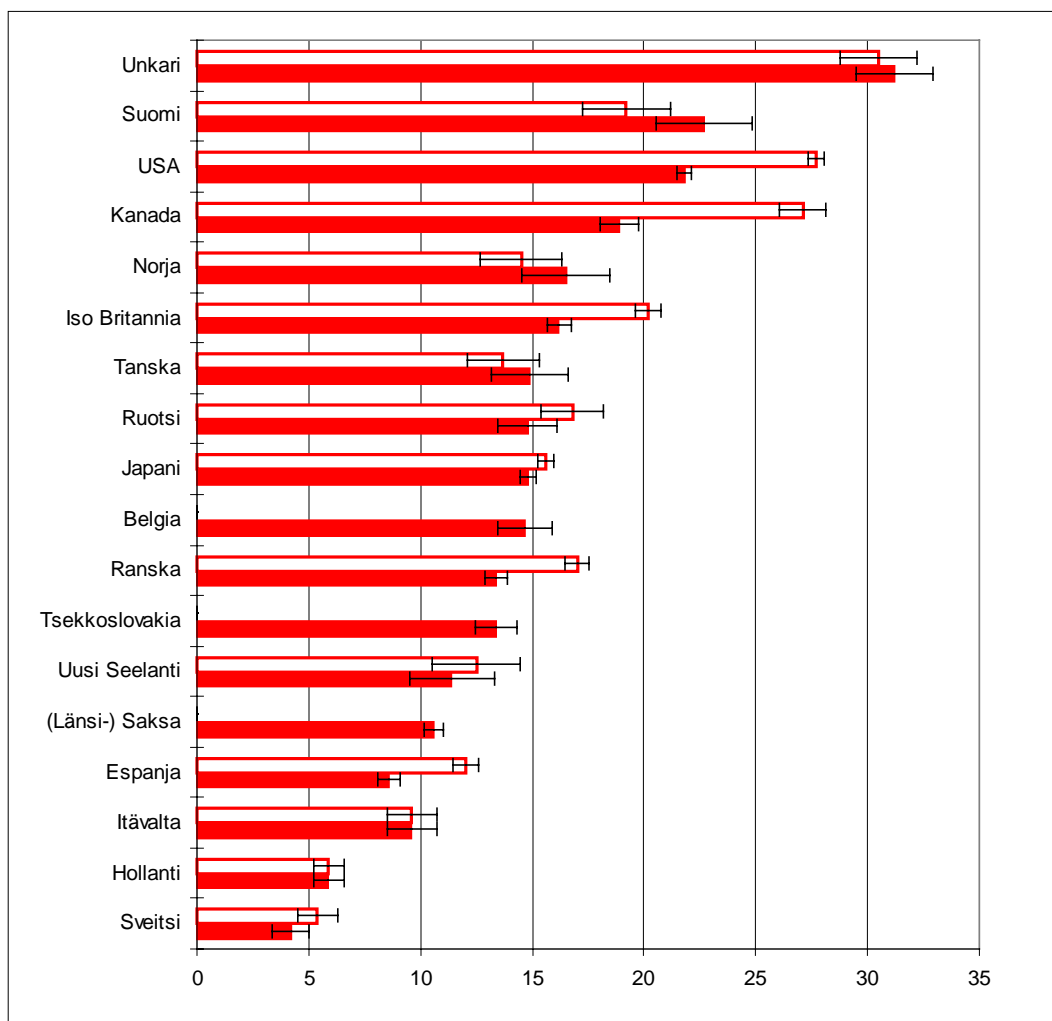
Suomessa on viime sotien jälkeen tehty erilaisiin tarkoituksiin muutamia suppeahkoja selvityksiä palokuolemista. Alanne & Kulha (1988) selvittivät kaikkien vuosina 1985–87 sattuneiden palokuolemien syyt, mikä antoi erittäin yksityiskohtaista tietoa olosuhteista, joissa henkilö menettää henkensä tulopalossa. Karlsson (1988) kirjoitti tämän luottamuksellisen raportin päätuloksista yhteenvedon *Palontorjunta-lehteen*. Työ oli viime vuoteen saakka seikkaperäisin palokuolemien selvitys Suomessa. Sen antama kuva on samansuuntainen kuin Virkkusen ja Alhan (1968) vuoden 1967 aineistoon perustuva suppeampi selvitys. Murhapoltoista, joiden osuus palokuolemista on pienehkö, on äskettäin tehty kaksi lääketieteen väitöskirjaa (Räsänen 1995 ja Repo 1997). Tämän julkaisun riskianalyysejä ja henkilövahinkoja käsittelevä osa on julkaistu jo aiemmin kokonaan (Keski-Rahkonen 1997a) sekä lyhennelmänä (Keski-Rahkonen 1997b). Osittain tämän työn indusoimana käynnistyi muussa yhteydessä palokuolemista tehty aikaisempia huomattavasti laajempi selvitys (Rahikainen 1998b, Rahikainen ja Keski-Rahkonen 1998c, 1999), josta saa erittäin yksityiskohtaisen kuvan palossa kuolevista henkilöistä, kohtalokkaan palon rakennuksesta ja muista tapahtumaan vaikuttavista ympäristötekijöistä.

3. Palokuolemat teollisuusmaissa

3.1 Palokuolemat eri maissa

Kuvassa 1 on esitetty palokuolemat vuodessa miljoonaa asukasta kohden muutamissa maissa (Keski-Rahkonen 1997 lähteissä Anon. 1986, ja Anon. 1995 esitettyjen tietojen perusteella). Palkkien kärjissä olevat janat osoittavat tilastojen satunnaisvaihtelusta johtuvan virheen suuruutta, mutta eivät ota huomioon muita tilastointivirheitä. Vasta sellaiset erot kohteiden välillä, joissa nämä janatkaan eivät peitä toisiaan, ovat tilastollisesti merkittäviä. Väkilukuun suhteutettu vuosittainen palokuolemien määrä vaihtelee kehittyneissäkin teollisuusmaissa huomattavasti maasta toiseen. Tämä ilmentää eroja ihmisten käyttäytymisessä, asumisolosuhteissa, palotoimen tasossa, väestötiheydessä ja väestön ikärakenteessa.

Merkille pantavaa on, että Suomi on palokuolemien lukumäärissä aivan alkupäässä Unkarin, Yhdysvaltain, Kanadan ja Ison-Britannian joukossa. Suomessa kuolee tulipalossa keskimäärin 20 henkilöä, Sveitsissä vain viisi henkilöä miljoonaa asukasta kohden vuodessa. Venäjällä (ei näy kuvassa 1) kuolee tulipaloissa 90 henkeä miljoonaa asukasta kohden (Brushlinsky et al. 1994). Suuret erot eri maiden välillä ovat ymmärrettäviä, mutta useissa, erityisesti suurissa maissa, kuten Yhdysvalloissa ja Venäjällä, palokuolemien määrässä esiintyy merkittäviä paikallisia vaihteluja.



Kuva 1. Vuosittaiset palokuolemat muutamissa maissa miljoonaa asukasta kohden: avoin palkki 1982–83; täysi palkki 1989–91 (Keski-Rahkonen 1997a, b).

3.2 Palokuolemien määrä lähimenneisyydessä

3.2.1 Kehitys Suomessa

Suomessa kuolee tulipaloissa alle 100 henkilöä vuodessa. Palokuolemien määrän kehitys vuodesta 1952 alkaen ilmenee kuvasta 2, joka on piirretty Virkkusen ja Alhan (1968) sekä Peltola-Lammen (1996) julkaisemien tietojen pohjalta¹. (Luvuissa on alkuvuosien osalta huomattavia eroja sisäasiainministeriön palotoimen kertomuksissa esitettyjen lukujen kanssa, jotka on julkaistu vuosittain Palontorjunta-lehdessä.) Kuvan yläosassa ovat palokuolemat suoraan lukumäärinä. Mittauspisteiden ympärille piirretyt pystysuorat janat kertovat, kuinka suuri on puhtaasta satunnaisuudesta johtuva lukumäärien

¹ Vuoden 1996 määrät perustuvat Suomen Pelastusalan Keskusjärjestön (SPEK) lehtitiedoista poimimiin, julkaisemattomiin tuloksiin.

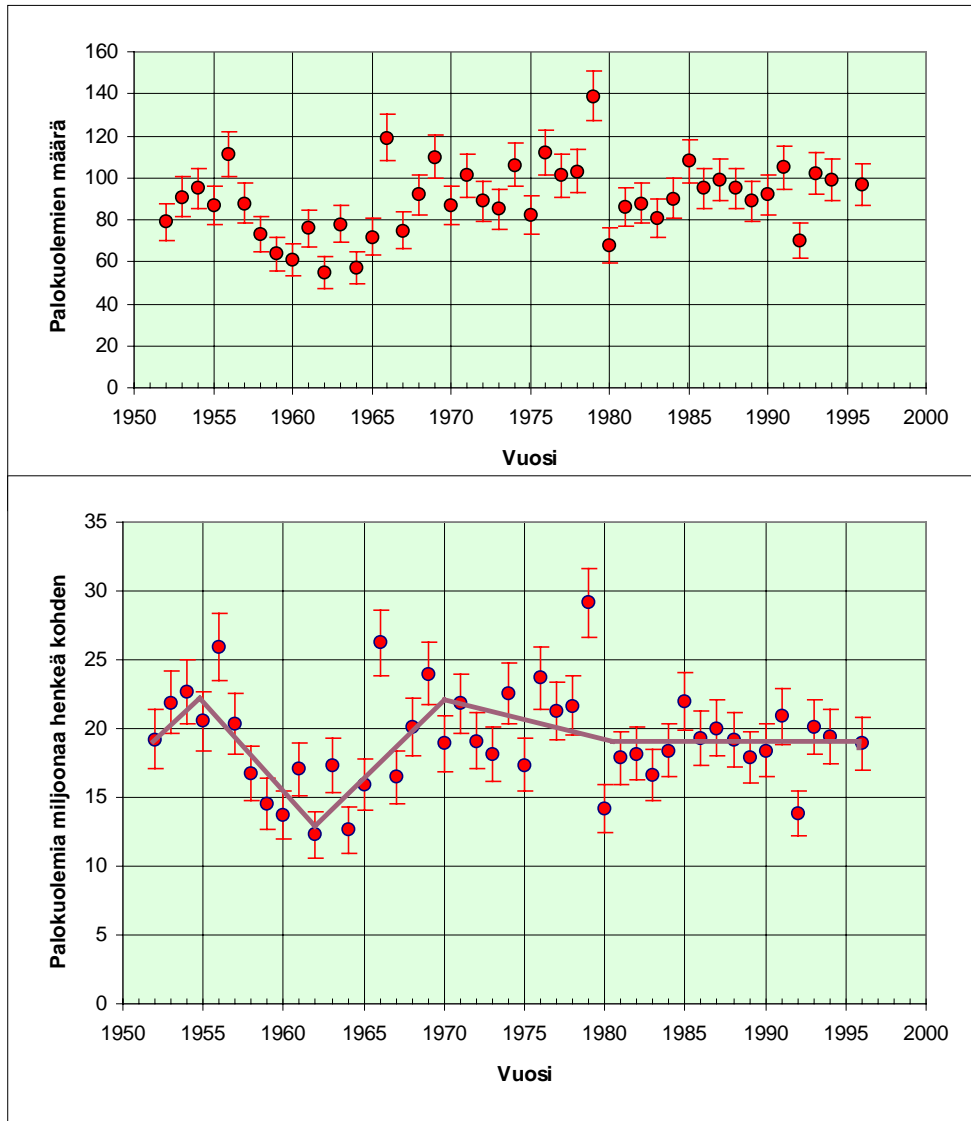
tilastollinen hajonta. Pisteiden poikkeaminen janan mitan naapurivuosien keskiarvosta on luettava pelkänsä sattumaksi eikä sen tarvitse merkitä vielä todellista muutosta kuolemien määrässä. Kuvassa 2 näkyy kuitenkin selvästi kaksi yksittäistapausta: Virtain vanhainkodin palo 1979, missä 27 vanhusta menehtyi (Anon. 1979) sekä toisen suuronnettomuuden, Lapinlahden kunnalliskodin palon 31 uhria vuonna 1966 (Santala 1966). Vuonna 1976 sattuneen Lapuan Patruunatehtaan räjähdysten (Katajamäki 1976) 40 uhria eivät erotu tässä kuvassa yhtä selvästi kuin kaksi edellistä.

Kuvan 2 alaosassa palokuolemat on esitetty todennäköisyyksinä normittamalla niiden määrä Suomen kulloisenkin vuoden väestömäärällä. Täten saatava suure on palokuoleman todennäköisyys henkilövuotta kohden. Kuvasta 2 voidaan lukea, että viime vuosina 19 henkilöä miljoonasta on kuollut tulipaloissa. Matemaattisena todennäköisyytenä tämä merkitään (a = latinan annus = vuosi)

$$(19 \text{ henk/a})/1\,000\,000 \text{ henk} = 1,9 \cdot 10^{-5}/a.$$

Piirtämällä kuvan 2 todennäköisyyspisteisiin hitaasti muuttuvia käyriä nähdään, että palokuolemien todennäköisyydessä oli laskuja ja nousuja vuoteen 1980 saakka, mutta se on sen jälkeen pysynyt virherajojen puitteissa vakiotasolla.

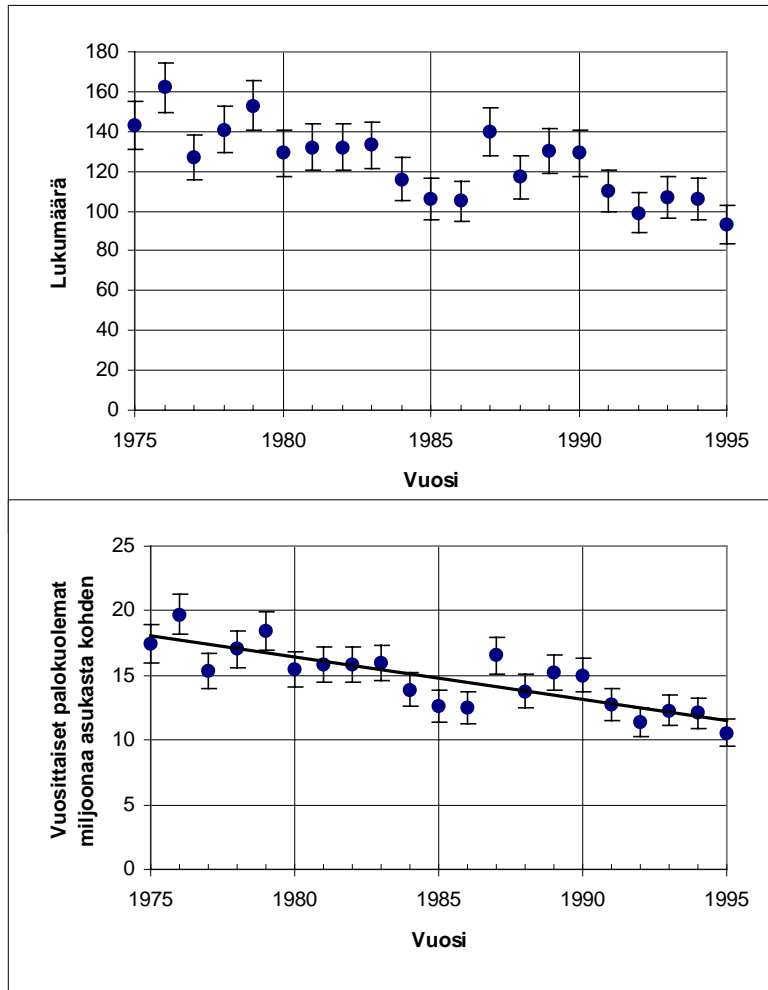
Suomen ja tässä esitettyjen muidenkin maiden väestömäärät on etsitty asianomaisten maiden virallisista tilastoista viittaamatta lähteisiin yksityiskohtaisemmin.



Kuva 2. Palokuolemat tulipaloissa Suomessa vuosina 1960–1994. Ylemmässä kuvassa palossa vuosittain kuolleiden lukumäärät; alemmassa pisteinä vuosittainen palokuolemien lukumäärä miljoonaa asukasta kohden ja yhtenäisellä viivalla lukumäärän keskimääräinen ajallinen kehittyminen. Pisteisiin piirretyt janat osoittavat tilastollisen satunnaisuuden suuruuden (Keski-Rahkonen 1997a, b).

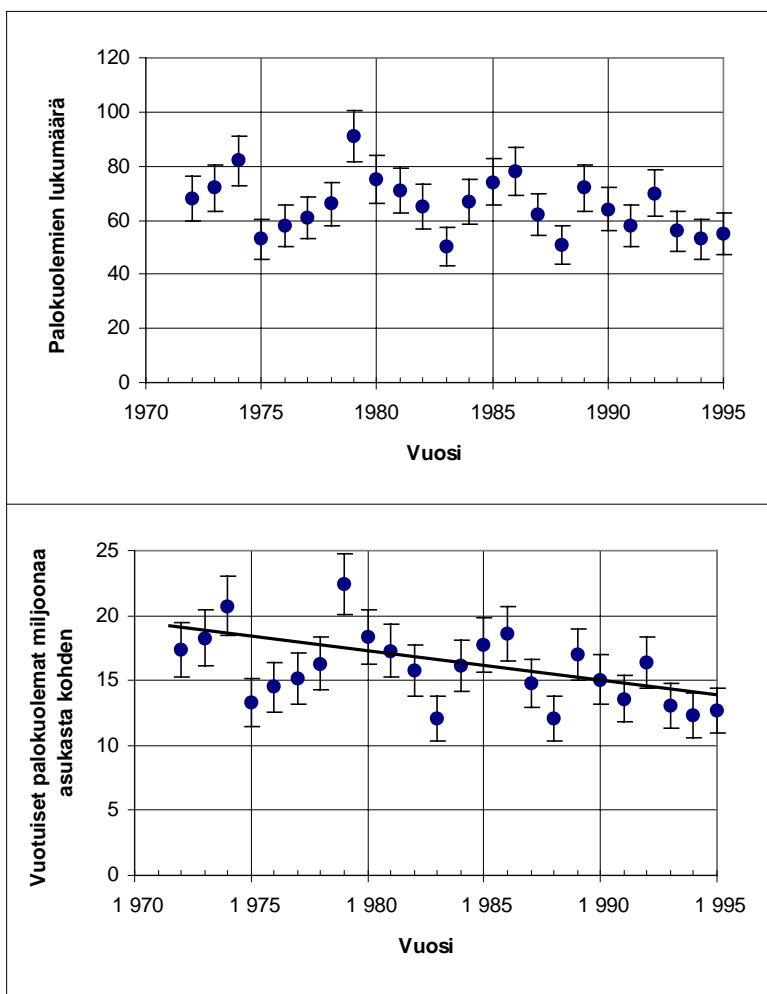
3.2.2 Kehitys Skandinaviassa

Kuvassa 3 palokuolemien määrän kehitys on esitetty vuosina 1975–1995 Ruotsissa samaan tapaan kuin Suomesta kuvassa 2 (Anon. 1985, Anon. 1994, Elbe 1996). Ruotsissa palokuoleman todennäköisyys on vähentynyt tasaisesti koko tarkastelujakson. Vuonna 1995 Ruotsin palokuolemien todennäköisyys oli $1,1 \cdot 10^{-5}/a$, mikä on vain 58 % Suomen tasosta.



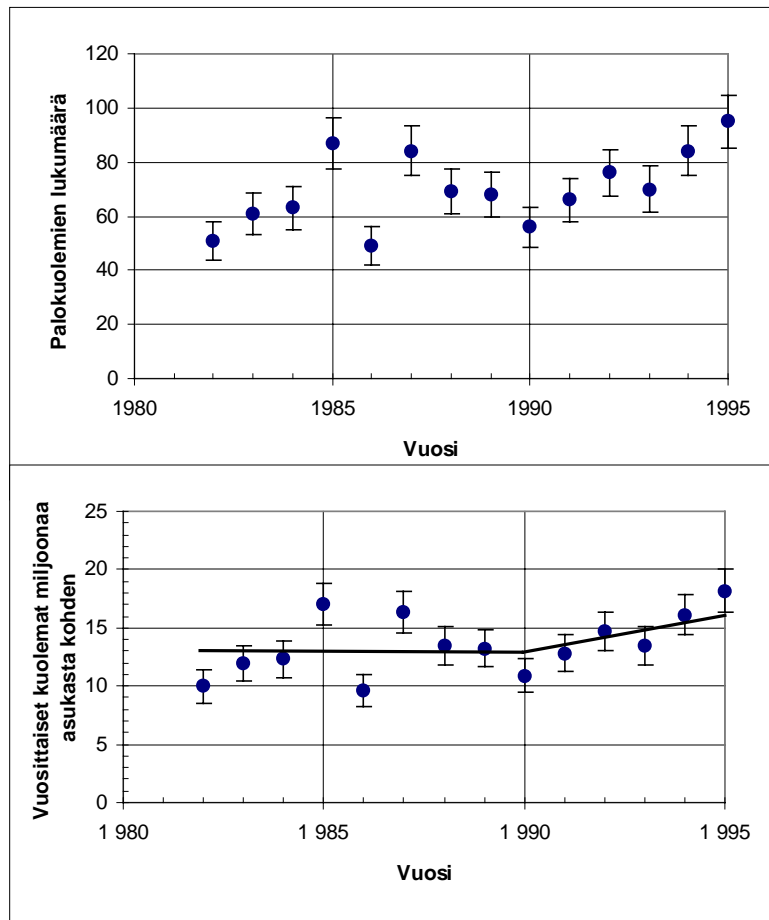
Kuva 3. Vuosittaiset palokuolemat Ruotsissa vuosina 1975–1995. Yläkuvassa todelliset lukumäärät tilastovirhejanoineen ja alakuvassa pisteinä miljoonaa asukasta kohden sekä yhtenäisenä viivana lukumäärän keskimääräinen ajallinen kehittyminen (Keski-Rahkonen 1997a, b).

Kuvassa 4 on palokuolemien kehitys vuosina 1972–1995 Norjassa julkaistujen tilastojen perusteella laskettuina (Anon. 1996 ja 1988). Sielläkin kehitys on ollut laskeva, joskin epätasaisemmin, koko jakson. Vuonna 1995 Norjan palokuolemien todennäköisyys oli $1,4 \cdot 10^{-5}/a$, mikä on 74 % Suomen tasosta.



Kuva 4. Vuosittaiset palokuolemat Norjassa vuosina 1972–95. Yläkuvassa todelliset lukumäärät tilastovirhejanoineen ja alakuvassa pisteinä miljoonaa asukasta kohden sekä yhtenäisenä viivana lukumäärän keskimääräinen ajallinen kehittyminen (Keski-Rahkonen 1997a, b).

Kuvassa 5 on palokuolemien kehitys vuosina 1982–1995 Tanskassa julkaistujen tilastojen perusteella laskettuina (Kristensen 1996, vuosien 1982–92 tiedot julkaisussa Keski-Rahkonen (1999) mainituista lähteistä). Tarkastelujakso on lyhyehkö, mutta vaikuttaa, että kuolemat ovat 1990-luvulla lisääntyneet. Vuonna 1995 Tanskan palokuolemien todennäköisyys oli $1,6 \cdot 10^{-5}/a$, mikä on 84 % Suomen tasosta.



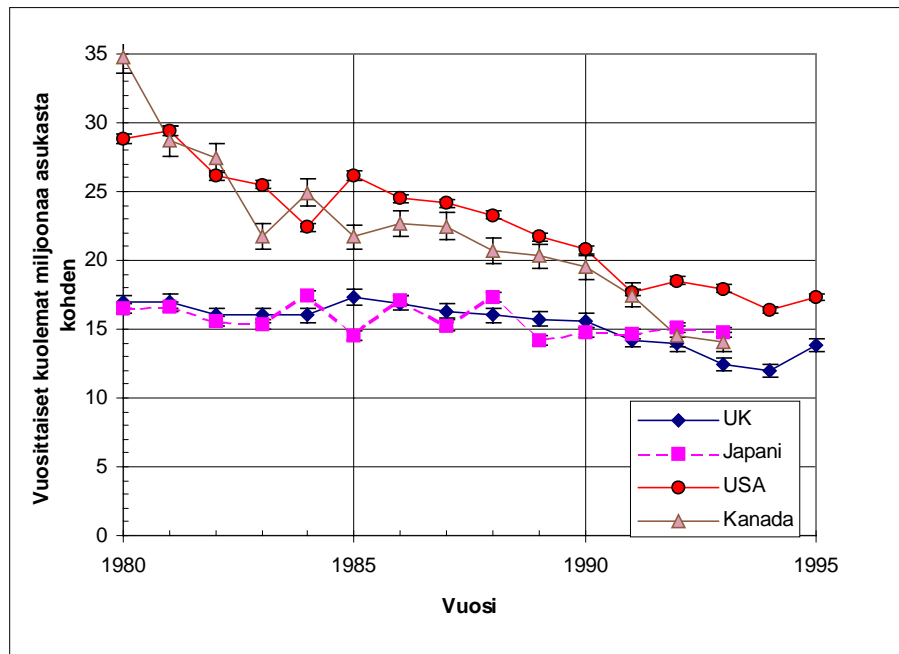
Kuva 5. Vuosittaiset palokuolemat Tanskassa vuosina 1982–95. Yläkuvassa todelliset lukumäärät tilastovirhejanoineen ja alakuvassa pisteinä miljoonaa asukasta kohden sekä yhtenäisenä viivana lukumäärän keskimääräinen ajallinen kehittyminen (Keski-Rahkonen1997a, b).

3.2.3 Kehitys muutamissa teollisuusmaissa

Kuvaan 6 on kerätty palokuolemien kehitys neljästä tärkeästä teollisuusmaasta vuodesta 1980 alkaen. Yhdysvallat ja Japani ovat mukana suurina ja kehittyneinä teollisuusmaina, joiden rakennuskannat edustavat teollisuusmaiden ääripäitä summittaisesti arvioiden. Englanti on mukana, koska sieltä on saatavissa erittäin hyvät tilastotiedot, ja Kanada ilmastoltaan Suomen kaltaisena maana. Kylminä kausina ulkolämpötilan ja palokuolemien välinen tilastollinen yhteys on voitu havaita monesta maasta. Suomessa, jonka lämmitysjärjestelmät ovat hyvin kehittyneet, tällaista tutkimusta ei ole vielä tehty, mutta ennakko-oletuksena riippuvuuden voisi arvioida olevan esimerkiksi Englantia heikommän.

Yhdysvaltain ja osa Kanadan tiedoista on peräisin Hallin (1988) ja Karterin (1996) artikkeleista sekä viime vuosien tiedot Kanadasta raportista "Fire Losses in Canada" (1993). Englannin tiedot ovat heidän virallisista palotilastoistaan (Goddard 1997, Anon. 1992, 1995a, b, c). Japanin Fire Defense Agency julkaisee laajat vuosittaiset palotilastot (Annual Fire Report 1992, White Book 1988).

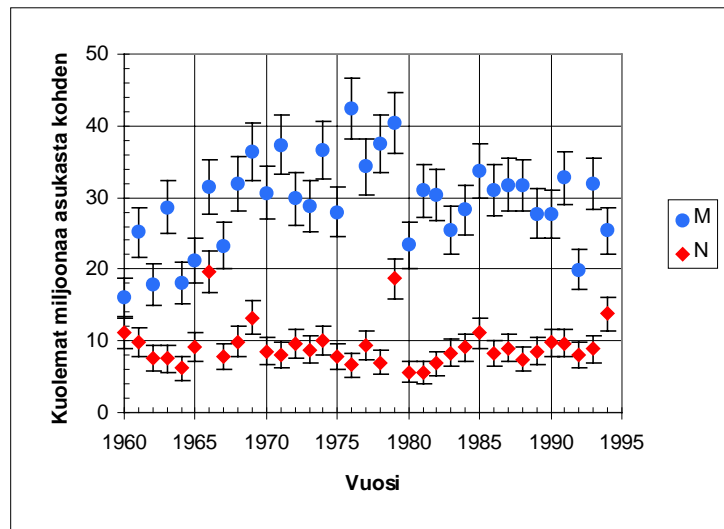
Kuvassa 6 on palokuolemien määrä näissä maissa vuodesta 1980 alkaen. Siitä näkyy, että Yhdysvalloissa ja Kanadassa palokuoleman todennäköisyys on vähentynyt koko ajan suurin piirtein tasaisella nopeudella siten, että todennäköisyys on tällä tarkasteluvälillä puolittunut. Britanniassa ja Japanissa se on taasen pysynyt melkein vakiotasolla: vuonna 1980 alle 17 ja vuonna 1995 noin 14 kuolemaa miljoonaa asukasta kohden sovittoa havaintopisteisiin laskevan suoran. Tämän jakson aikana Yhdysvallat ja Kanada ovat päässeet likimain yhtä alhaiselle tasolle kuin Japani ja Britannia. Koska määrät vaihtelevat parin hajonnan verran vuodesta toiseen, tarvitaan useamman vuoden jakso, jotta voitaisiin sanoa, alittavatko Kanada ja Yhdysvallat Japanin ja Britannian tason, vaiko tasoittuuko lasku, kuten Yhdysvaltojen käyrä näyttää viime vuosina tehneen. Englannin käyrän selvä nousu vuonna 1995 selittynee sillä, että vuodesta 1994 mukaan on luettu "viivästyneesti" palossa menehtyneet sekä lämmön ja savun vaikutuksiin kuolleet (Goddard 1997).



Kuva 6. Palokuolemien määrä muutamissa teollisuusmaissa 1980-luvun alusta saakka (Keski-Rahkonen 1997a, b).

3.3 Palokuolemien sukupuolijakauma

Kuvasta 7, joka on laadittu Peltola-Lammen (1996) esittämän taulukon perusteella, näkyy, että vuodesta 1960 Suomessa naisten palokuolleisuus on säilynyt vakiona, noin kahdeksan kuolemaa miljoonaa asukasta kohden vuodessa. Miesten kuolleisuus on lisääntynyt 1970-luvun jälkipuoliskolla, mutta sen jälkeen se on ollut 30 kuolemaa miljoonaa asukasta kohden vuodessa. Miesten kuolleisuuden vuosittainen hajonta on selvästi suurempaa kuin naisten. Naisten kuolemissa näkyvät jo edellä mainitut pahimmat yksittäiset palot: Lapinlahden kunnalliskodin mielisairasosaston palo 1966, missä 31 naispotilasta menetti henkensä (Santala 1966), sekä Virtain vanhainkodin palo 1979, missä 27 vanhusta menehtyi (Anon. 1979). Molemmat palot syttyivät huolimattomasta tupakoinnista, levisivät nopeasti herkästi palavien sisusteiden ja pinnoitemateriaalien vuoksi sekä osoittautuivat kohtalokkaiksi suljettujen tilojen tai potilaiden liikuntakyvyttömyyden vuoksi.



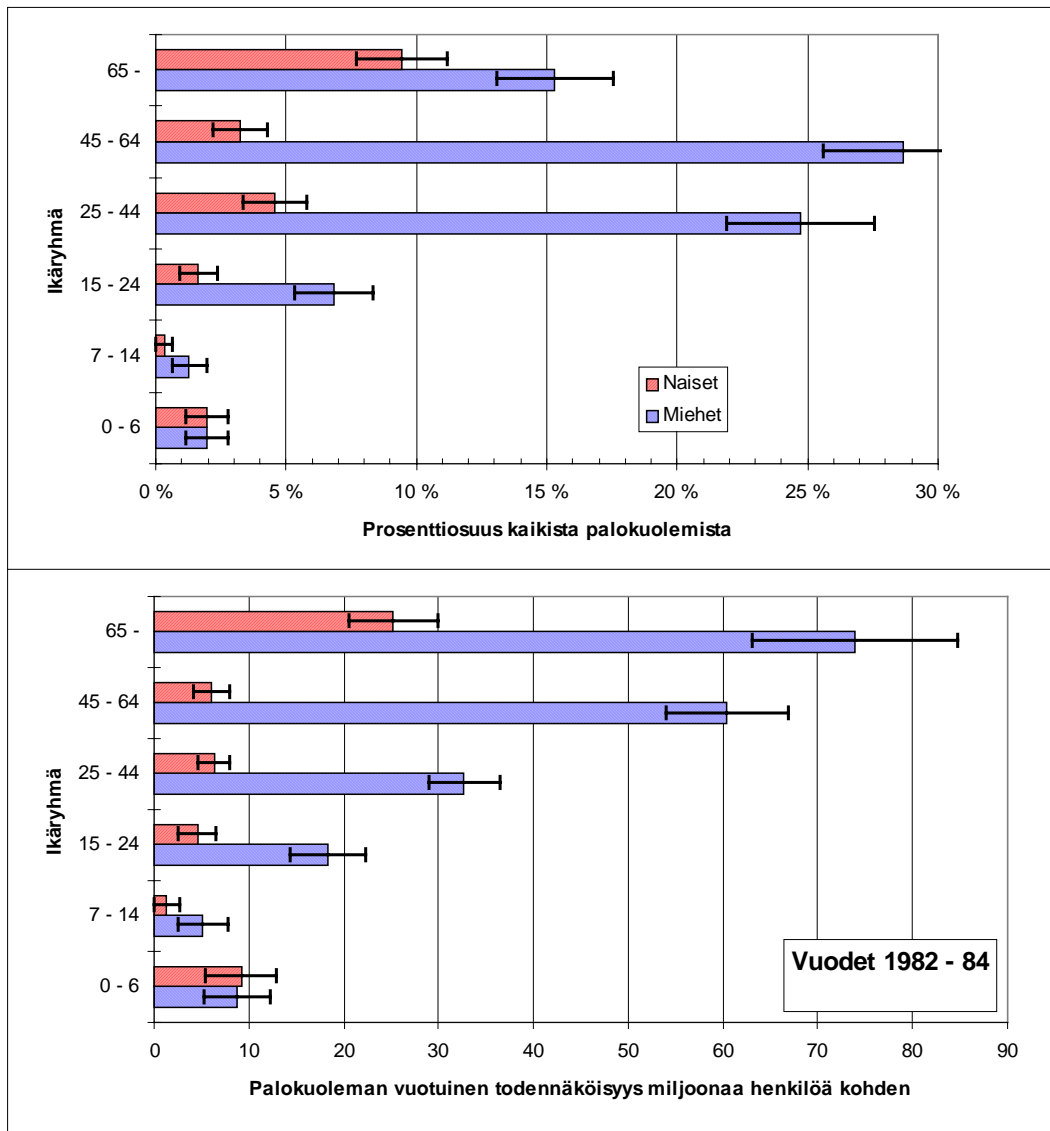
Kuva 7. Miesten ja naisten palokuolemat Suomessa vuosina 1960–94 (Keski-Rahkonen 1997a, b).

3.4 Iän vaikutus palokuolemiin

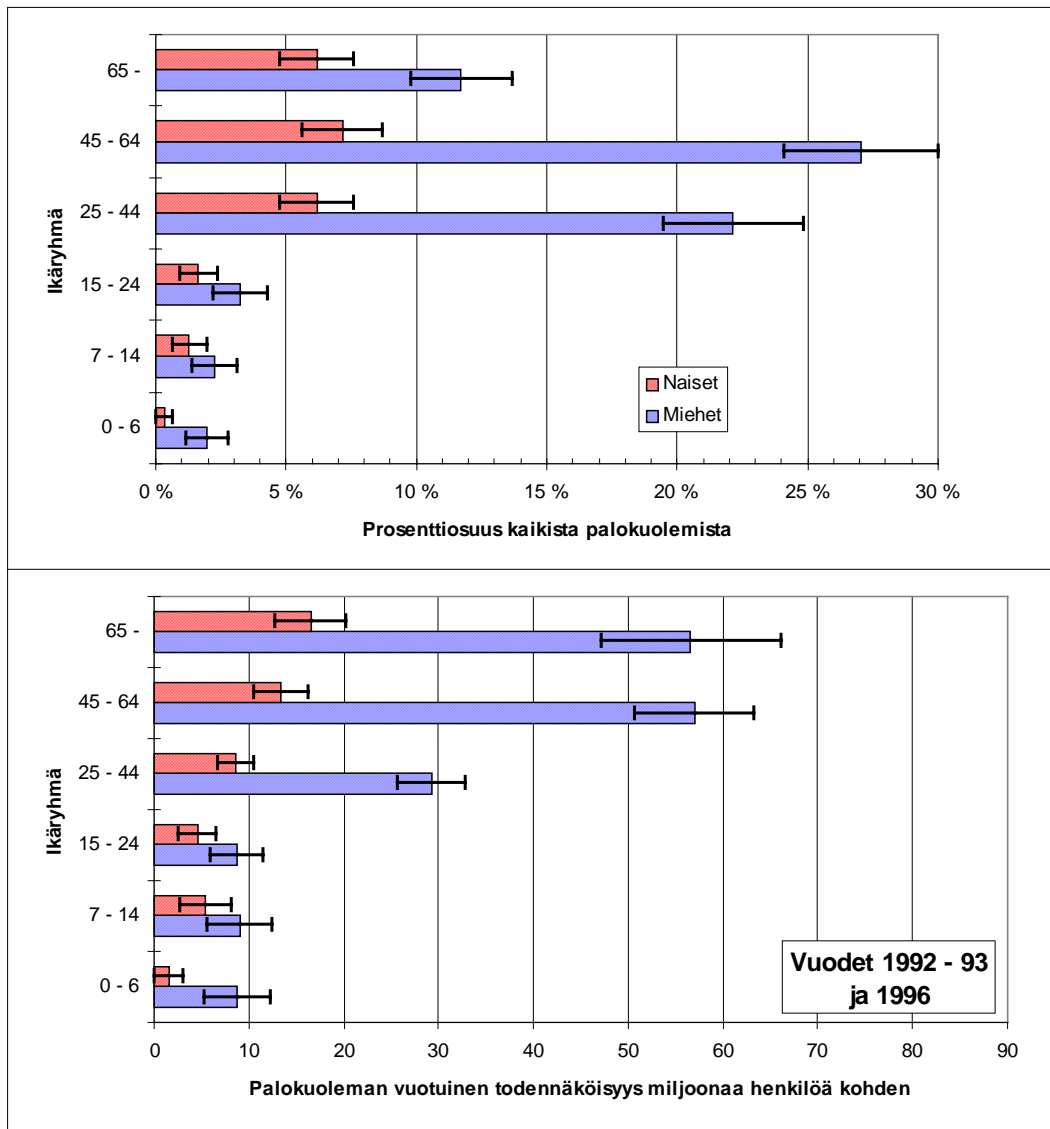
Kuvan 8 yläosassa ovat Alanteen ja Kulhan (1988) aineiston perusteella vuosien 1982–84 palokuolemat ikäryhmittäin erikseen kummallekin sukupuolelle. Siitä selviää, että miesten osuus palokuolemista on kaikissa aikuisten alle eläkeikäisten ryhmissä moninkertainen naisiin verrattuna. Kuvan 8 alaosassa sama asia esitetään palokuoleman todennäköisyytenä normittamalla kunkin ikäryhmän suuruudella. Siitä selviää, että miesten palokuoleman todennäköisyys kasvaa heti teini-iän jälkeen jatkuvasti mutta naisilla kasvu alkaa vasta eläkeikäisenä. Kuvassa 9 vastaavat asiat esitetään kymmenisen vuotta uudemman aineiston perusteella (SPEKin julkaisemattomaan aineistoon perustuen).

Siinä käyttäytyminen on aivan sama virherajojen puitteissa, mutta erot miesten ja naisten välillä eivät ole aivan niin silmiinpistäviä. Tarkemman kuvan saamiseksi tietoja olisi yhdistettävä useammalta vuodelta, jotta satunnaisuuden vaikutus pienentyisi.

Sukupuolten ero ei ole synnynnäinen, sillä aikuisikään saakka erot eivät ole tilastollisesti merkittäviä. Mikä aikuisessa miehisyydessä vaikuttaa palokuolemariskin jatkuvaan kasvamiseen iän mukana ja miksi naiset säästyvät tältä “ikäntymiseltä”, näyttää nykyisten tietojemme perusteella vielä selvittämättömältä. Useimmiten selitykseksi tarjotaan alkoholia, mutta näiden lukujen valossa sekään ei ole täysin ilmeistä. Asian selvittämiseksi tarvittaisiin lisätutkimuksia ensinnäkin siitä, keitä paloissa kuolevat henkilöt ovat. Palokuolemien sukupuolijakaumaa muistuttava käyttäytyminen havaitaan myös muissa tapaturmiksi tai väkivallaksi luokitelluissa kuolemansyissä (Lautkaski ym. 1988). Tässä työssä ei ole mahdollisuuksia paneutua tarkemmin näihin kysymyksiin.



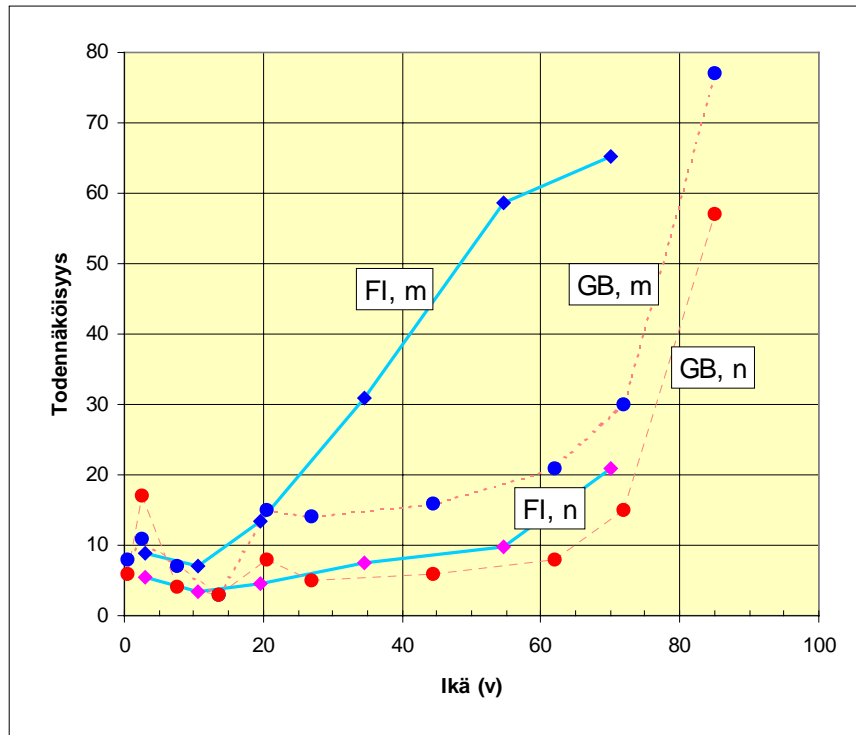
Kuva 8. Palokuolemat ikäryhmittäin eri sukupuolilla vuosina 1982–84. Yläkuvassa prosenttiosuudet ikäryhmittäin; alakuvassa ikäryhmittäin laskettu keskimääräinen palokuoleman vuotuinen todennäköisyys miljoonaa henkilöä kohden (Keski-Rahkonen 1997a, b).



Kuva 9. Palokuolemat ikäryhmittäin eri sukupuolilla vuosina 1992–93 ja 1996. Yläkuvassa prosentiosuudet ikäryhmittäin; alakuvassa ikäryhmittäin laskettu keskimääräinen palokuoleman vuotuinen todennäköisyys miljoonaa henkilöä kohden (Keski-Rahkonen 1997a, b).

Kuvassa 10 on palokuoleman todennäköisyydet sukupuolittain iän funktiona kahdesta maasta: Suomen osalta käyrät ovat kuvien 8 ja 9 keskiarvoja; Englannista on piirretty vuoden 1995 palokuolemiin perustuvat käyrät ilman virherajoja (Goddard 1997). Kuvasta 10 näkyy, että Englannissakin miesten palokuolemien riski on kaikissa ikäryhmissä, vanhinta lukuun ottamatta, 2 ... 3-kertainen naisten riskiin verrattuna. Suomessa miesten riski alkaa kasvaa kuitenkin heti aikuisiästä ja poikkeaa kaikista muista kuvan 10 käyristä merkittävästi korkeinta ikäryhmää lukuun ottamatta. Kunkin käyrän korkeimman iän pisteet eivät ole kovin hyvin vertailukelpoisia, koska ryhmään kuuluvat Suomessa kaikki yli 65-vuotiaat ja Englannissa yli 80-vuotiaat. Erilaisen

ikärajan sekä kunkin neljän ryhmän erilaisen ikäjakauman vuoksi tulokset näiden viimeisten pisteiden osalta ovat vain suuntaa antavia.



Kuva 10. Eri sukupuolten palokuolemien todennäköisyys miljoonaa henkilöä kohden ikäryhmittäin Suomessa ja Englannissa (Keski-Rahkonen 1997a, b).

3.5 Moniuhriset palot

Kuvassa 11 on uhrien lukumäärän N funktiona todennäköisyys tulipaloa kohden, kun siinä menehtyy täsmälleen N henkilöä (Keski-Rahkonen 1998, 1999a, b). Tämä tieto on merkittävä arvioitaessa suurilta kohteilta vaadittavaa paloturvallisuutta, kun kohteen luonteen perusteella siinä on mahdollista tulipalon seurauksena syntyä tilanne, jossa kaikki tai huomattava osa palon vaikutuspiirissä olevista henkilöistä on vaarassa menehtyä palossa. Tällaisia tyypillisiä kohteita ovat kaikki kokoontumistilat, majoitus- ja hoitorakennukset, myymälät, ravintolat, massakulkuneuvot ja maanalaiset tilat. Alle kymmenen hengen uhrimäärää tarkasteltaessa mukaan tulevat lisäksi kaikki asuinrakennukset, koska pienissäkin rakennuksissa voi samanaikaisesti olla tämä määrä henkilöitä.

Kuvaan 11 kerättiin teollisuusmaista julkaistuista palotilastoista moniuhristen palotapausten määrät ja normitettiin ne kyseisen maan tulipalojen kokonaismäärällä. Koska tulipalon määritelmä eri maissa voi poiketa huomattavasti, kaikki kuvan 11 luvut eivät ole täysin vertailukelpoisia. Useissa maissa tulipalo rekisteröidään tilastoihin silloin, kun palokunta käy kohteessa. Näistä erosta huolimatta eri maista saadut käyrät

näyttävät kuvassa 11 samankaltaisilta ja eri maiden tulokset ovat tarkemmin kuin tekijän 5 sisällä samoja. Riskianalyttisessä tarkastelussa, jossa suureet ovat luonteeltaan logaritmisia, tämä ero on vielä täysin siedettävä. Erityisen huomattavaa on, että kuvaan 11 piirrettyjen käyrien kulmakerroin uhrien lukumäärän funktiona on likimain sama joka maassa.

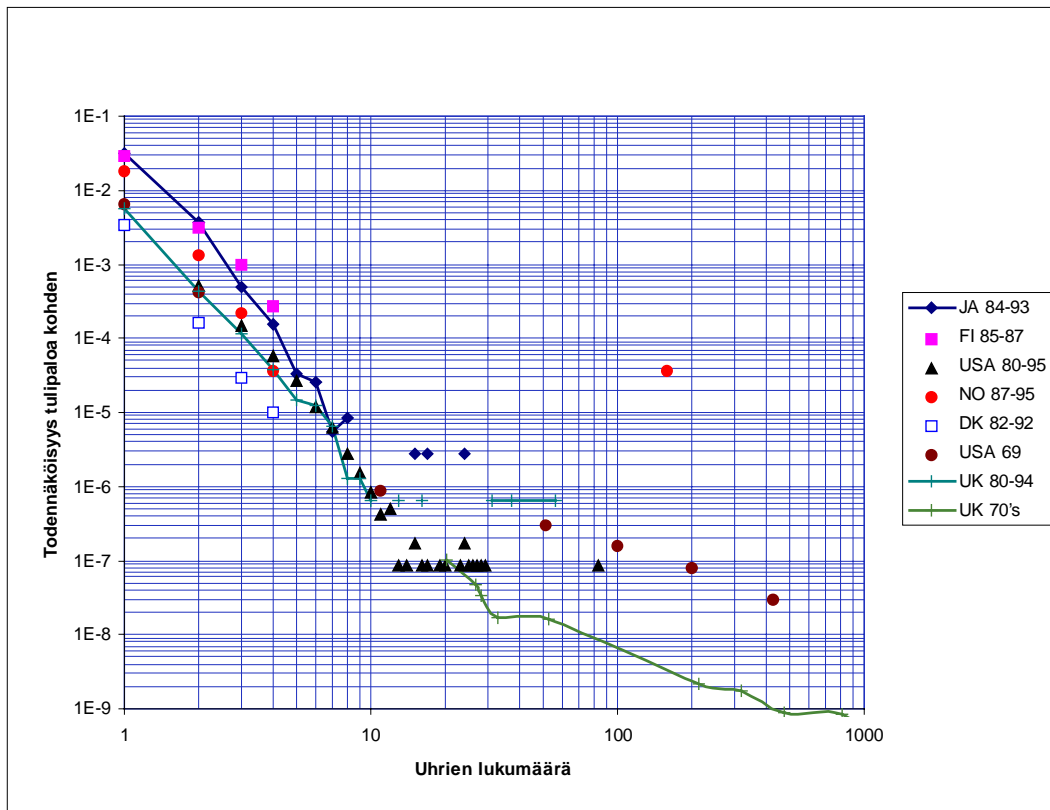
Piirrettyjen pisteiden kautta vedettyä keskimääräistä käyrää voidaan pitää rajakäyränä nykytilanteessa. Uusia kohteita suunniteltaessa olisi tavoitteena pidettävä, että moniuhristen palojen todennäköisyys niissä pysyy tämän käyrän alapuolella.

Arvioitaessa toiminnallisesti suuren kohteen paloturvallisuutta, on lähdettävä oletuksesta, että onnettomien yhteensattumien seurauksena kaikki kohteessa olevat henkilöt saattavat olla hengenvaarassa. Siksi suunnittelun tuloksena on pystyttävä osoittamaan, että palon sattuessa todennäköisyys on tässä esitetyn rajakäyrän alapuolella. Oteetaan asian havainnollistamiseksi kaksi esimerkkiä:

Esimerkki 1: Rakennetaan omakotitalo viisihenkiselle perheelle. Koska kaikki viisi henkeä ovat huomattavan osan ajasta rakennuksessa yhtä aikaa ja muutama ylimääräinen vieraskin voi olla mukana, todennäköisyyden tulipalon sattuessa talon sellaisesta tuhoutumisesta, jossa kaikki siellä olevat henkilöt menettäisivät henkensä, on oltava pienempi kuin $1 \cdot 10^{-5}$, jotta rakennus olisi yhtä turvallinen kuin vastaavat rakennukset nykyisin keskimäärin

Esimerkki 2: Entinen pienteollisuushalli otetaan uusiokäyttöön ja sisustetaan diskoksi 100 hengelle, jota varten myös poistumisväylät mitoitetaan². Tähdien vetämänä ja paikan omistajan ahneuden myötävaikutuksella sisään ahtautuukin 300 henkeä, ja tunnelma saadaan tosi kuumaksi. Paikka on myös tehty fantastiseksi tilapäisellä rekvisiitilla (= herkästi palavalla materiaalilla). Yksi sisääntulleista on jo etukäteen epäillyt valloitusmahdollisuuksiaan ja varustautunut siksi epätavallisin nestemäisin eväin. Jos hän päättää käyttää niitä, kuvan 11 mukaan hänellä saisi olla vain yksi mahdollisuus miljardista onnistua hyvin tuhopolttoyriyksessään. Tämä on niin pieni luku, että sen kokoa ei voi kunnolla käsittää. Täydelliseen tuhoamiseen tulipalo on usein liian hidas, mikäli henkilöt ovat liikuntakykyisiä. Kuitenkaan kymmenen uhrin mahdollisuus täyteen ahdetussa tilassa ei tunnu epärealistiselta, kun ottaa huomioon kaaoksen syntymismahdollisuuden. Todennäköisyyden kymmenen uhrin menetykselle olisi oltava pienempi kuin yksi miljoonasta, jotta tila täyttäisi paloturvallisuustason. Tämä esimerkki osoittaa, että tahallisten sytyttämisten osuuden yhä lisääntyessä varsinkin kokoontumistilojen paloturvallisuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota katastrofien välttämiseksi. Kuvan 11 käyrä antaa selkeän kvantitatiivisen ohjeen, mille tasolle tällaisten tilojen paloturvallisuus on vietävä.

² Kirjoitettu ennen Göteborgin diskopalon sattumista.



Kuva 11. Palossa menehtyvien uhrien määrän jakauma todennäköisyytenä kaikista palotapahtumista Suomessa (1988) ja muutamissa muissa maissa. Jakaumaa voidaan kuvata vaimennetulla Pareton jakaumalla (Keski-Rahkonen 1998a, b).

Tarkasteltaessa kuvan 11 pisteitä havaitaan suurista tilastollisista virheistä huolimatta, että käyrien kulmakertoimessa on huomattavan jyrkkä muutos, kun uhrien lukumäärä ylittää rajan 10–15. Raja ei ole kaikissa käyrissä aivan samalla kohdalla. Kun katsottiin tapauksia, joissa uhrien lukumäärä ylitti kymmenen, havaittiin, että ne sattuiivat lähes aina muissa kuin ihmisten kodin kaltaisissa tiloissa. Kaikissa maissa taasen korkeintaan muutaman uhrin vaativat palot tapahtuvat asunnoissa tai kodinomaisissa ympäristöissä. Vaikka sitovasti osoittavaa tilastoaineistoa ei ole vielä kerätty, onkin oletettavissa, että kuvan 11 käyrän muoto aiheutuu alle kymmenen uhrin paloissa pääasiassa asuntotilojen uhreista, ja tapahtuman luonne on erilainen kuin suuremmissa paloissa. Suomen palotilastojen tarkastelu (Rahikainen 1998b) osoitti, että uhrina oli useimmiten palon aiheuttaja itse ja moniuhrisissa paloissa hänelle jollain tavalla läheisiä ihmisiä. Uhrien lukumäärä kuvastaa siten tällaisen henkilön lähipiirin laajuutta, koska palon sattuessa huomattavalla todennäköisyydellä melkoinen osa syttymistilassa olevista henkilöistä jää palon uhreiksi. Suurimmissa tämänkaltaisissa paloissa uhrin muodostavat joko perheen tai perheen vieraineen, jotka kaikki ovat menehtyneet yhden asunnon muodostavan huoneiston tai pientalon nopeasti kehittyneessä palossa.

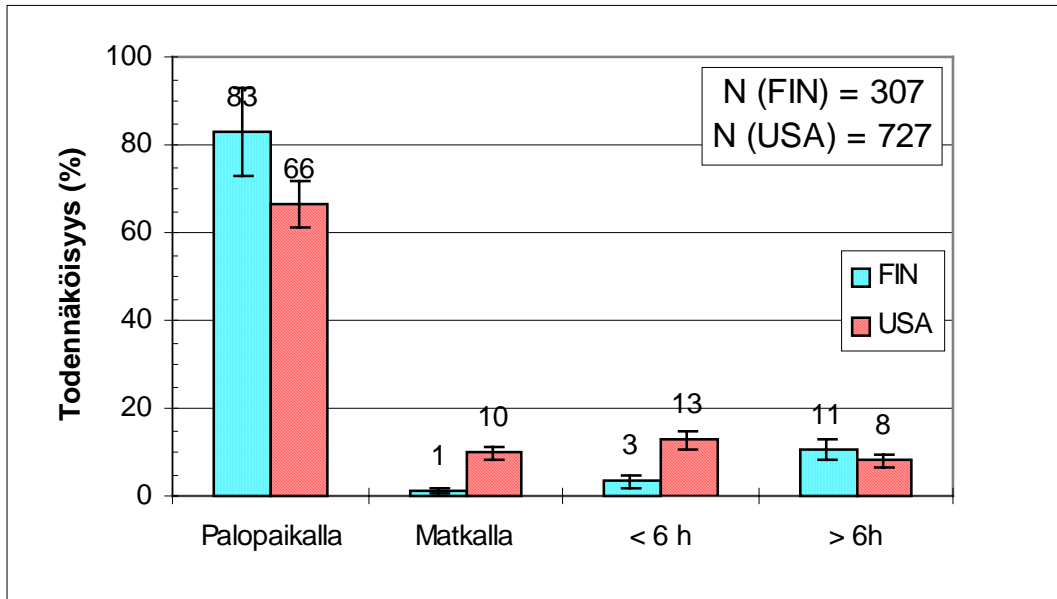
Suuremmissa onnettomuuksissa ($N > 10$) ihmisiä on palotilassa syttymishetkellä paljon ja palo aiheuttaa koko ryhmälle "yhteisvian", josta he yrittävät päästä turvaan. Moniuhriten katastrofi syntyy, kun palon alkukehittyminen on epätavallisen raju (Scandinavian Star -laiva Norjassa, NOU 1991; King's Cross metroasema Lontoossa, Crossland 1992; Switel Hotel Antwerpenissa, De Vreese 1996, Van Hees ym. 1998), poistuminen syttymistilasta viivästyy tungokseen (Beverly Hill's Supper Club Kentuckyssa, Best 1978; Makedoniska Föreningen Göteborgissa, Nordenfelt 1998, Anon. 1999), tai poistuminen viivästyy jostain muusta ulkoisesta syystä (Scandinavian Star, NOU 1991, Bradfordin jalkapallostadion Englannissa, Klem 1986).

3.6 Palokuoleman aikajakauma

Kaikki tulipalon uhrin eivät kuole heti palopaikalla. Alanteen ja Kulhan (1988) tutkimuksessa uhrin jaettiin palopaikalta löydettyihin, sekä 1, 2, 4, 8 ja 24 tunnin sisällä palon alkamisesta kuolleisiin sekä yli 24 tunnin jälkeen kuolleisiin. Kuvassa 12 on palokuolemien aikajakauma neljään ryhmään jaoteltuna. Kuvassa on myös Yhdysvalloissa New Jerseyssä tehdyssä tutkimuksessa (Barillo & Goode 1996) 727 palokuolemaa vuosilta 1985–91. Luvussa olivat mukana kaikki tulipaloon, palo-vammoihin tai savun hengittämiseen kuolleet henkilöt.

Kummassakin suurin ryhmä (FIN 83%, USA 66%) ovat palopaikalta kuolleena löydetty. Matkalla sairaalaan uhreista menehtyi Yhdysvalloissa 10 %. Suomessa matkalla menehtyneiksi arvioitiin puolet alle tunnin kuluessa menehtyneistä. Siksi Suomen luku ei ole varsinainen mittaus eikä kovin vertailukelpoinen Yhdysvaltojen tuloksen kanssa. Sairaalassa viimeistään kuusi tuntia palon alkamisen jälkeen uhreista menehtyi Suomessa 3 % ja Yhdysvalloissa 13 %; keskiarvo oli Suomessa 1,7 tuntia ja Yhdysvalloissa 1,9 tuntia. Yli kuuden tunnin kuluttua palon alkamisesta menehtyi Suomessa 11 % ja Yhdysvalloissa 8 % keskimääräisen elinajan ollessa 8,6 päivää. Suomen osalta tästä elinajasta ei ole käytettävissä tietoja.

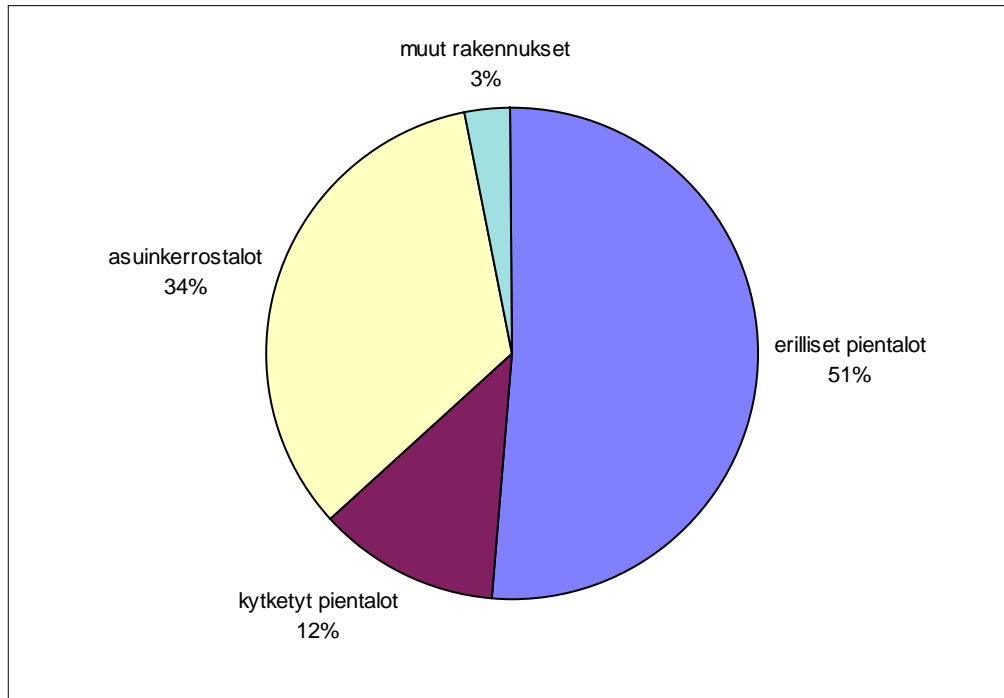
Tuloksista nähdään, että Suomessa palopaikalta uhreista löydetään noin 80 %, mutta New Jerseyssä vain kaksi kolmasosaa. Näiden lukujen virhejannot menevät päällekkäin, joten ero ei ole tilastollisesti merkittävä. Kummassakin tapauksessa otokset ovat piehenköjä tarkempien tilastojakaumien tekemiseen. Yli kuuden tunnin kuluttua palon alkamisesta menehtyy Suomessa 8 % ja New Jerseyssä 11 % palon uhreista. Tilastollinen hajonta huomioon ottaen näitä todennäköisyyksiä voidaan pitää samoina. Tämän perusteella Suomen tilastoinnin ajankohdan vaihtamisesta vain palopaikalta tavattuihin uhreihin entisen noin vuorokauden viiveen sijasta ei ole uhrien kokonaismäärän osalta ratkaisevaa merkitystä. Sitä vastoin viivästyneesti palossa kuolleiden ottaminen mukaan tilastoon nostaa uhrien kokonaismäärää jo arviolta parikymmentä prosenttia.



Kuva 12. Palokuolemien aikajakauma Suomessa ja Yhdysvalloissa (Keski-Rahkonen 1997a).

4. Palokuoleman olosuhteet

Alanteen ja Kulhan (1988) tutkimuksessa kuolemaan johtaneista tulipaloista 1985–87 käsiteltiin tarkkaan myös kuolemaan johtaneiden palojen ympäristön olosuhteita, joista tässä esitetään lyhyt graafinen yhteenveto. Kuvassa 13 on Suomen väestön jakaantuminen erityyppisten asuinrakennusten osalle vuonna 1988.

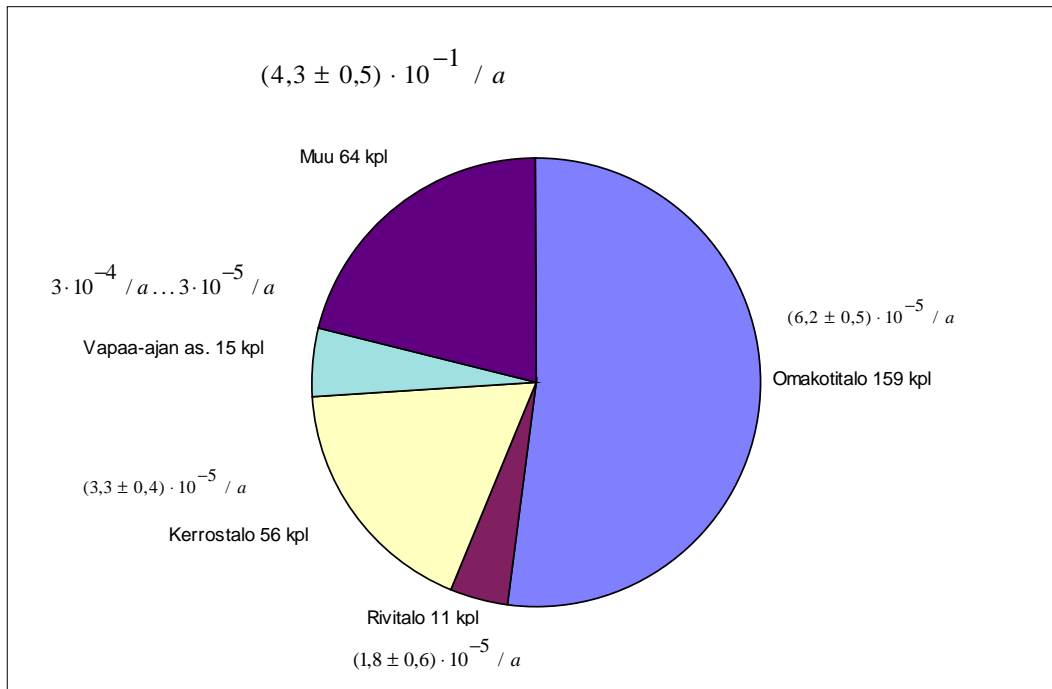


Kuva 13. Asukkaiden suhteellinen osuus erityyppisissä rakennuksissa vuonna 1988 (Rakentaminen ja asuminen 1989).

Kuvassa 14 palokuolemien osuudet eri rakennustyypeissä esitetään saman luokituksen perusteella kuin kuvassa 13. Koska valtaosa kuolemantapauksista sattuu asuinrakennuksissa, palokuoleman absoluuttinen todennäköisyys on mahdollista arvioida karkeasti erityyppisissä rakennuksissa. Kuolemien todennäköisyys on $(6,2 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$ /a omakotitalossa, $(3,3 \pm 0,4) \cdot 10^{-5}$ /a kerrostalossa ja $(1,8 \pm 0,6) \cdot 10^{-5}$ /a rivitalossa, $3 \cdot 10^{-4} \dots 3 \cdot 10^{-5}$ /a vapaa-ajan asunnossa (olettaen, että vuodesta 10 % on loma-aikaa ja 10 % lomajasta ollaan mökillä) ja $(4,3 \pm 0,5) \cdot 10^{-4}$ /a muissa rakennuksissa. Tämä viimeksi mainittu luokka on tässä tarkastelussa kaikista epävarmin ja saattaa olla aivan väärällä dekadillakin. Virhearviot perustuvat vain palokuolemien pienestä lukumäärästä aiheutuvaan tilastohajontaan. Rakennuksessa oleskeluaikaa, jonka virhe korostuu muissa rakennuksissa, ei nykyisten tietojen valossa ole mahdollista arvioida tieteellisellä tarkkuudella tekemättä laajoja havaintosarjoja. Näistä luvuista voisi karkeasti päätellä, että kerrostalossa asuminen on paloturvallisuuden suhteen noin kaksi kertaa ja omakotitalossa kolme kertaa niin vaarallista kuin rivitalossa. Mistä tämä aiheutuu, asukkaista, rakennuksesta vai muusta, ei ole näiden tietojen valossa ratkaistavissa, vaikka niistä löytyisi

ainesta erilaisille spekulatioille. Asiaan on saatavissa hiukan tieteellistä lisävalaistusta palokuoleman uhrin tarkemmasta analyysistä (Rahikainen ja Keski-Rahkonen 1998c) sekä viitteitä myös rakennuksen vaikutuksesta (Rahikainen 1998b), vaikka tämä viimeinen osa onkin vaikeasti tulkittavissa tilastoinnin puutteellisuuden vuoksi. Merkittävää on huomata, että vapaa-ajan asunnossa palokuoleman riski on selvästi vakinaisen asunnon riskiä suurempi. Tämä ilmiö johtunee näiden rakennusten keskimääräistä heikomman kunnon ja varustelutason lisäksi yleisesti tunnetusta ihmisten suuremmasta riskinottoaiomuksesta vapaa-aikanaan.

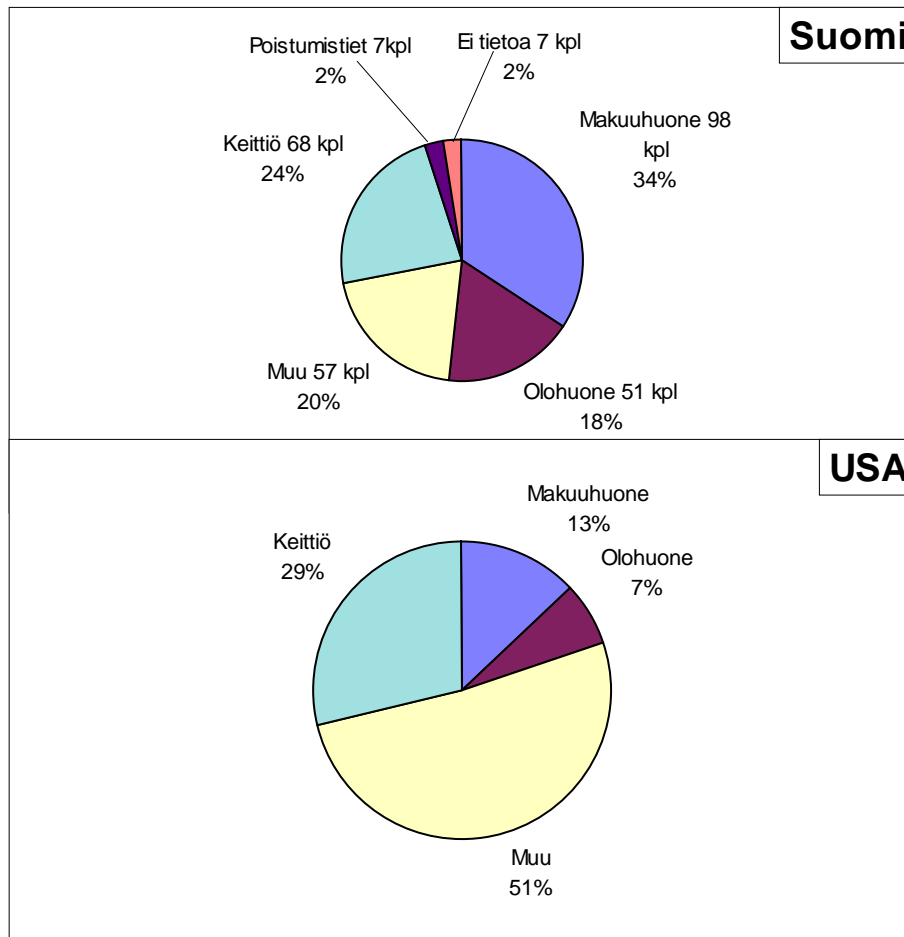
Palokuolemien ja loukkaantumisien suhde noin 0,15 Alanteen ja Kulhan (1988) mukaan. Tämäkin luku on vain suuntaa antava, koska loukkantuneita ei ole rekisteröity yhtä tarkasti kuin kuolleita eivätkä loukkaantumisen määritelmät ole kovinkaan yksikäsitteisiä.



Kuva 14. Palokuolemien suhteellinen osuus sekä absoluuttinen palokuoleman riski eri asuinrakennustyypeissä.

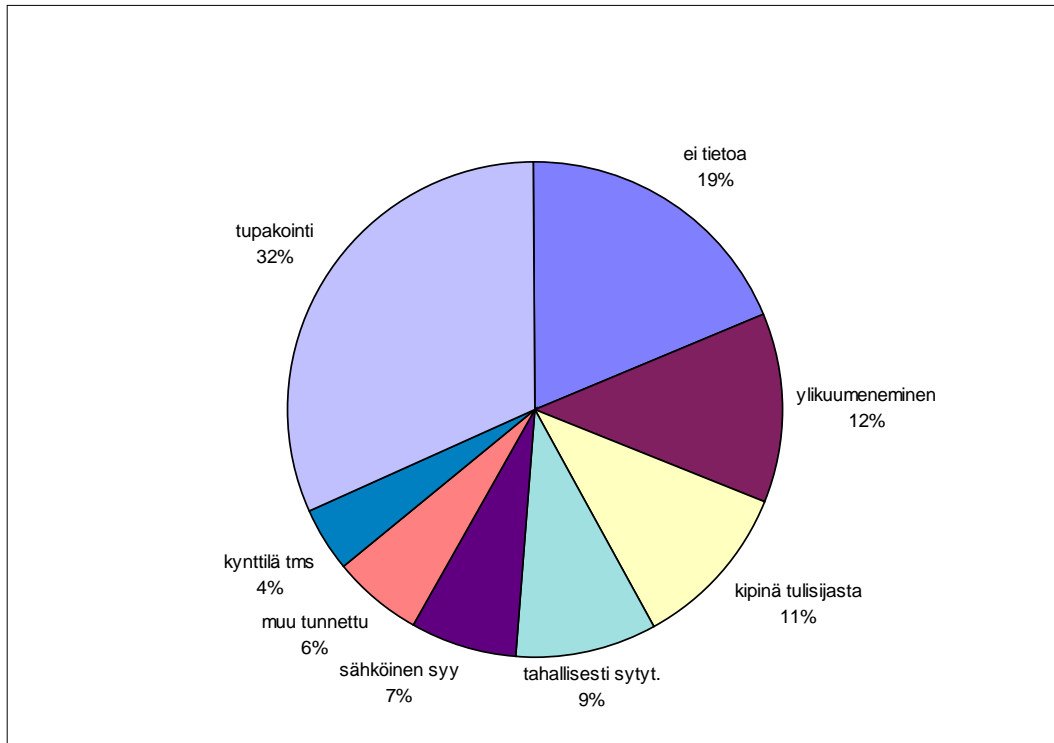
Syttymisalue kohtalokkaissa tulipaloissa (Alanne ja Kulha 1988) on esitetty kuvassa 15. Asunnoissa kuolemaan johtava palo syttyy useimmiten makuuhuoneesta. Tämä viittaa hyvin vuoteessa tupakointiin. Kuitenkin keittiö edustaa syttymispaikkana merkittävää osaa. Onhan siellä suurin osa kotitalouksien kuumista kappaleista ja tulisijoista. Olohuoneessa on lähes yhtä suuri syttymistäajuus, mikä selittyy pehmustettujen huonekalujen syttymisestä. Eteistilat ja portaikko ovat melko harvoin palon syttymispaikkana, sillä niissä ei oleskella paljon ja ne eivät yleensä sisällä paljon palokuormaa.

Käytettävissämme ei ollut tilastoja erityyppisten huonetilojen kerrosalasta maassamme mutta huoneistojen lukumäärät, keskimääräiset pinta-alat ja asukasmäärät eri rakennustyypeissä olivat. Käyttäen karkeata huoneiden pinta-alan arviointia ja sovittaen ne asukasmääriin voitiin konstruoida jonkinlainen huonetyyppien pinta-alajakauma, jonka voi arvioida olevan tekijää 2 tarkempi. Kun katsottiin palokuolemia eri huonetyypeissä niiden kokonaispinta-alaa kohden, poistumisteillä kuolemia oli selvästi vähemmän kuin pinta-ala edellyttäisi ja keittiöissä lievästi enemmän. Arvion virherajat ovat kuitenkin niin suuret, että mitään erityisen vaarallista tai erityisen turvallista osaa rakennuksesta ei voida tämän tarkastelun perusteella varmuudella nimetä. Yhdysvalloissa palokuolemat poikkeavat kuvan 15 mukaan selvästi Suomen kuolemista ainakin kahdessa suhteessa: (i) keittiön vallitsevana osuutena verrattuna muihin asuinhuoneisiin, ja (ii) muiden huoneiden suurena osuutena kokonaismäärästä. Ensimmäinen on varmasti yhteydessä avotulen käyttöön amerikkalaisissa keittiöissä (kaasu) sekä pienten lasten oleskeluun kotona enemmän määrin kuin Suomessa. Muiden huoneiden suuri osuus heijastanee amerikkalaisen omakotitalon rakennetta suomalaiseseen asuntoon verrattuna: suuret autotallit, kodinhoitohuoneet ja muut aputilat, jotka Suomessa ovat yleensä pinta-alaltaan paljon vaatimattomampia, mikäli niitä asunnossa on ylipäättänsä.

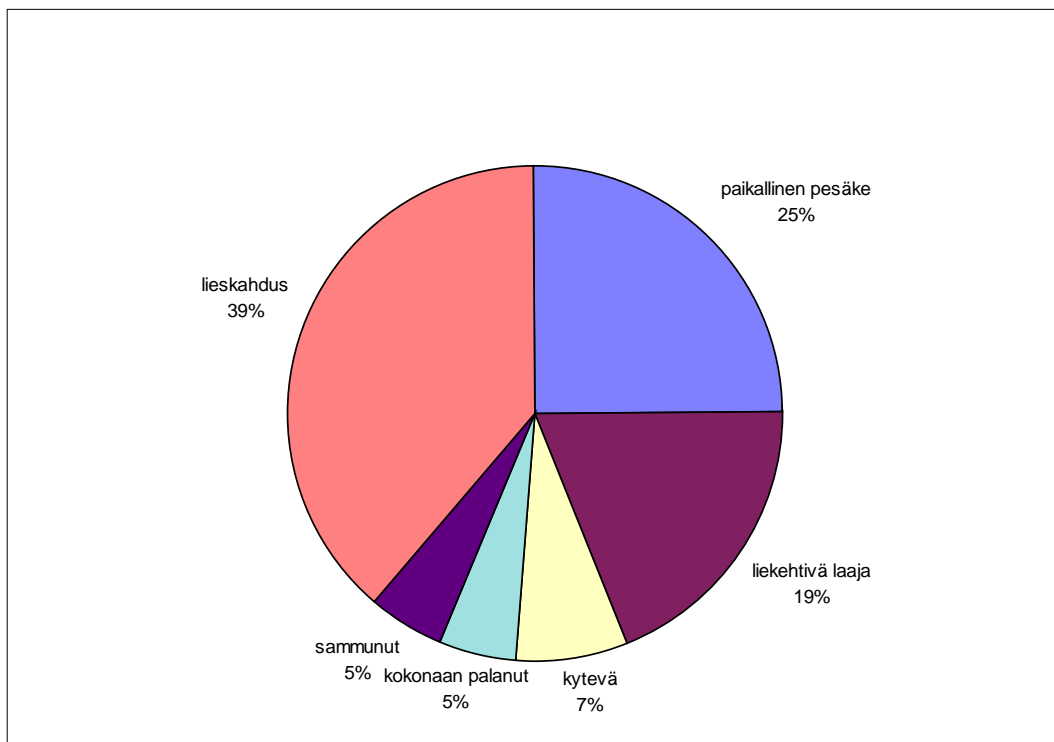


Kuva 15. Kohtalokkaiden palojen syttymisalue (Suomi, Alanne ja Kulha 1988, Yhdysvallat, <http://www.usfa.fema.gov/nfdc/national.htm>, 1999).

Kuvassa 16 on kohtalokkaan palon syttymissyitä, joista tupakoinnin suuri osuus on silmiinpistävä. Kuvassa 17 on kohtalokkaan palon laajuus havaitaessa, missä on silmiinpistävää lieskahtaneiden palojen suuri osuus sekä laajat liekehtivät palot, jotka käsittävät noin kaksi kolmasosaa kaikista näistä paloista. Tästä on pääteltävissä, että kohtalokkaassa palossa tulta käsitellään huolimattomasti sellaisessa ympäristössä, jossa se pääsee leviämään nopeasti.



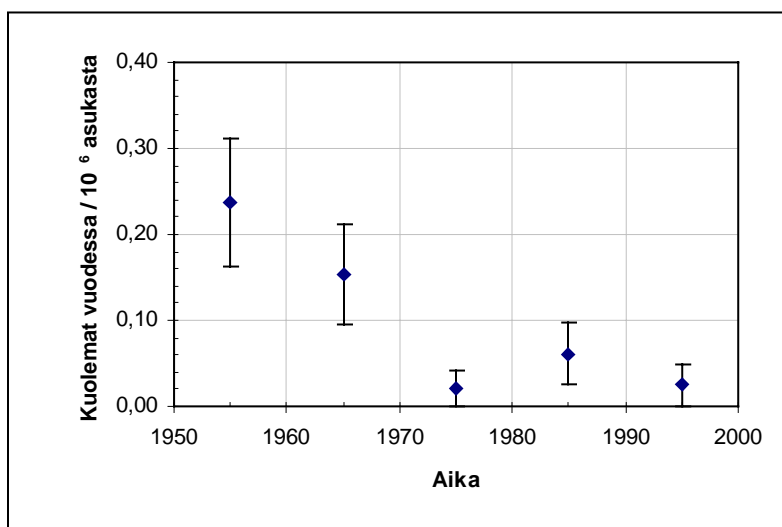
Kuva 16. Syttymissy kuolemaan johtaneissa paloissa (Alanne ja Kulha 1988).



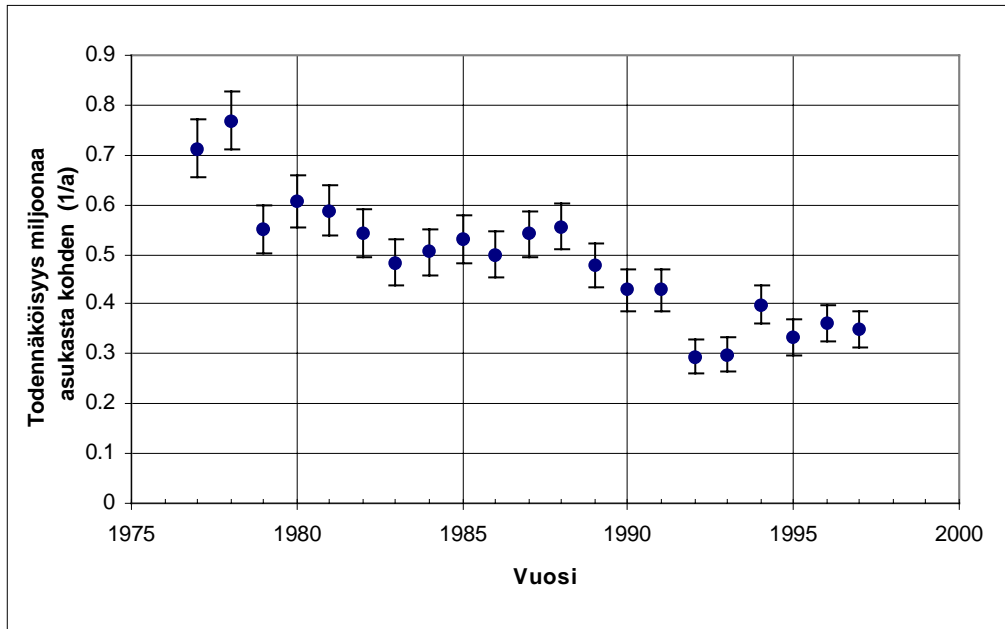
Kuva 17. Kohtalokkaan palon laajuus havaittaessa (Alanne ja Kulha 1988).

5. Palomiesten kuolemat

Kuvassa 18 on Niemisen (1999) laskemat Suomen vakinaisten palomiesten kuolemat työtehtävissä vuodesta 1950 saakka kymmenen vuoden keskiarvoina. Koska lukumäärät ovat pieniä, tilastohajonta on huomattavan suurta. Siitä huolimatta kuvasta 18 näkyy, että kuolemaan johtavan tapaturman todennäköisyys on pienentynyt 1970-luvun loppuun saakka huolimatta palomiesten lukumäärän kasvamisesta. Alkaen 1980-luvulta todennäköisyys on pysynyt tilastohajonnan puitteissa vakiona ja on $(4 \pm 2) \cdot 10^{-8}/a$. Kaikkiaan palomiehille sattui vuosina 1970–97 yhteensä 13 kuolemaan johtanutta tapaturmaa työtehtävissä, mikä väestöön normitettuna todennäköisyytenä on $(1 \pm 0,3) \cdot 10^{-7}/a$. Kuvassa 19 on Yhdysvaltojen palomiesten kuoleman todennäköisyys normitettuna väestöön vuosilta 1977–1997. Suuntaus on koko ajan ollut laskeva, vaikka vieläkin Yhdysvalloissa palomiesten kuolintodennäköisyys lienee suurempi kuin useissa muissa teollisuusmaissa. Se oli keskimäärin $(4,9 \pm 0,4) \cdot 10^{-7}/a$ esitettyä ajanjaksona ja viimeisenä vuotena $(3,5 \pm 0,4) \cdot 10^{-7}/a$. Britanniassa palomiehien kuoli vuosina 1987–97 virantoimituksessa 16 henkeä, mikä väkilukuun suhteutettuna on $(2,5 \pm 0,6) \cdot 10^{-8}/a$ (Collier ja Watson 1998). Suomessa vakinaisten palomiesten kuoleman riski palopaikalla on dekadia pienempi kuin Yhdysvalloissa mutta virherajojen puitteissa sama kuin Britanniassa. Kaikki palomiehet mukaan lukien riski on viidennes Yhdysvaltojen riskistä, mutta kolminkertainen Britannian riskiin verrattuna.



Kuva 18. Palomiesten kuolemat vuodessa miljoonaa asukasta kohden Suomessa vuodesta 1950 lähtien kymmenen vuoden keskiarvoina (Nieminen 1999).



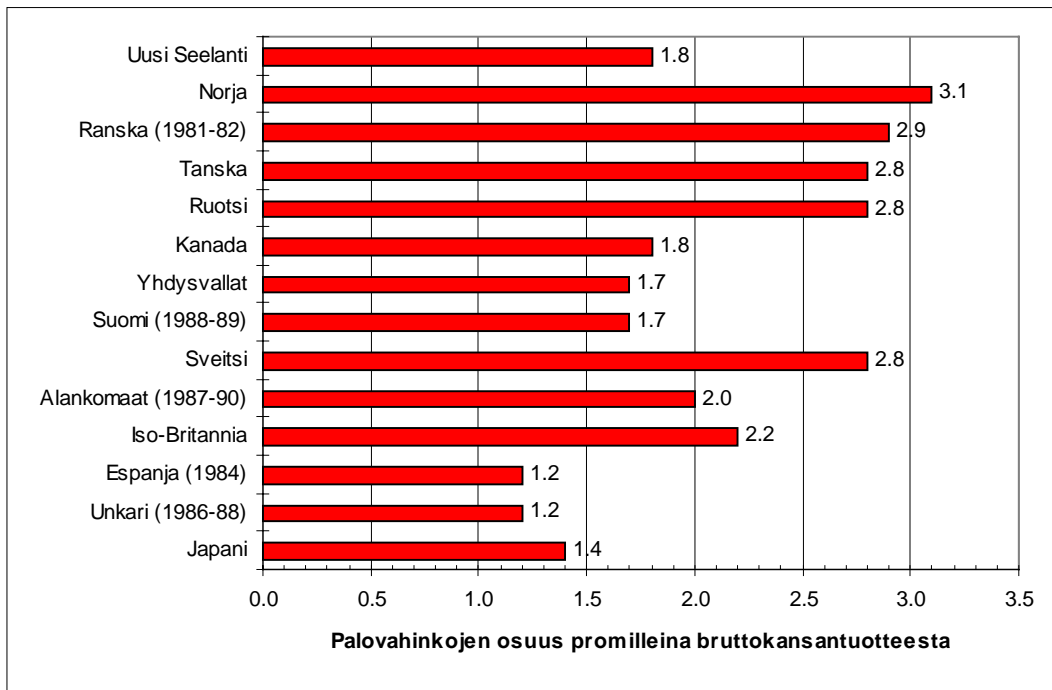
Kuva 19. Palomiesten kuoleman todennäköisyys virantoimituksessa Yhdysvalloissa vuosina 1977–1997 (http://www.usfa.fema.gov/nfdc/ff_casualties.htm).

6. Omaisuusvahingot

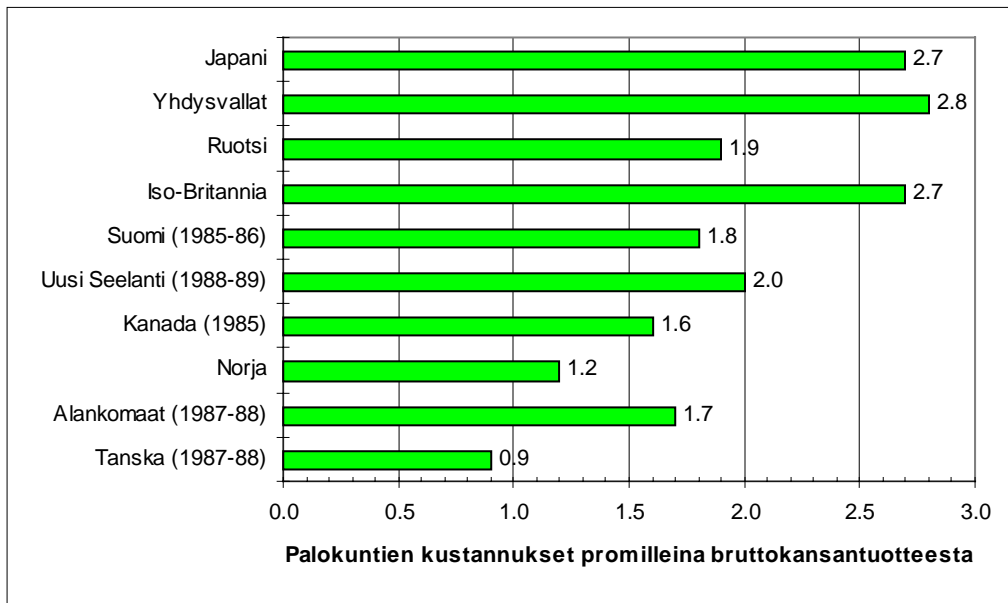
6.1 Kansainvälinen vahinkojen vertailu

Suorat palovahingot muutamissa teollisuusmaissa esiteään kuvassa 20 (Anon 1995b). Suomi on näissä keskivaiheilla (1,7 ‰ bruttokansantuotteesta vuosina 1988 ja 1989), samassa Yhdysvaltojen kanssa. Suurimmat vahingot ovat Norjassa (3,1 ‰) ja pienimmät Unkarissa ja Espanjassa (1,2 ‰).

Palokuntien kustannukset esitetään kuvassa 21 promilleina bruttokansantuotteesta (Anon 1995b). Nämä kustannukset vaihtelevat Yhdysvaltojen 2,8 ‰:sta Tanskan 0,9 ‰:iin. Suomessa ne ovat vuosina 1985–86 1,8 ‰ bruttokansantuotteesta.



Kuva 20. Suorat palovahingot promilleina bruttokansantuotteesta eri maissa keskimäärin vuosina 1989–1991 (Anon 1995b).



Kuva 21. Palokuntien kustannukset keskimäärin promilleina brutto-kansantuotteesta eri maissa vuosina 1989–1991 (Anon. 1995b).

Tulipalojen kokonaiskustannuksista on huomattavasti vaikeampi saada arvioita. Yhdysvalloissa julkaistun tutkimuksen mukaan (Hall 1989) sikäläiset kustannukset tulipaloissa tai niiden torjunnassa vuosilta 1980–1986 jakautuivat keskimäärin taulukossa 1 esitetyllä tavalla. Siinä on myös esitetty Suomesta arvioituja kustannuksia, jotka ovat vain suuntaa antavia, sillä suhteelliset prosenttiosuudet perustuvat teollisuuden suurpaloista tehtyyn arviointiin (Anon. 1987). Varsinaisiksi suoraan mitatuiksi kustannuksi Suomen sarakkeessa on kursivoituilla numeroilla merkitty kuvissa 20 ja 21 esitetyt luvut. Kun verrataan Suomen kokonaiskustannuksia Yhdysvaltain kustannuksiin, suurimpana erona näkyy Yhdysvalloissa henkilökustannusten suuri osuus. Tämä johtuu pääasiassa palomiesten suuremmasta vahinkoriskistä sammutustehtävissä Yhdysvalloissa, kuten käy ilmi kuvista 18 ja 19, sillä siviilihenkilöiden vahinkoriski on molemmissa maissa suurin piirtein sama. Yhdysvalloissa laskelmissa palomiesten henkilövahinkokustannukset siirretään suoraan palokuntien kustannuksiksi, jolloin siviilihenkilöiden vahingoiksi saadaan 2,6 ‰ ja ammattipalokuntien kustannuksiksi 3,2 ‰ bruttokansantuotteesta. Suurin tekijä tässä ovat palomiesten loukkaantumisista aiheutuvat kustannukset. Henkilöä kohden laskettaessa Yhdysvalloissa palokustannukset olivat tällä seurantajaksolla 187 USD/henkilö, kun bruttokansantuote samalta ajanjaksolta oli 14 700 USD/henkilö. Laskennan vaikeimpia tehtäviä on määritellä henkilövahinkojen hinta. Erilaisista perusteista lähtien on Yhdysvalloissa esitetty kuolemantapaukselle lukuja 1 ... 2 mUSD, joten tässä käytetään arvoa 1,5 mUSD. Loukkaantumisen keskihinnaksi on otettu 35 000 USD (Hall 1989). Suomesta ei ole virallisesti käytettävissä vastaavanlaisia arviointeja, jossa henkilövahingot olisi laskettu rahana.

Johtopäätöksenä taulukosta 1 voimme tehdä kuitenkin arvion, että tulipalojen aineelliset kokonaiskustannukset bruttokansantuotteeseen suhteutettuina ovat Suomessa saman suuruisia kuin Yhdysvalloissa ja 1 ... 2 % bruttokansantuotteesta.

Taulukko 1. Tulipalojen kokonaiskustannusten jakautuminen eri osatekijöihin promilleina bruttokansantuotteesta, suluissa kustannuslajin suhteellinen osuus prosentteina (Hall 1989).

Kustannuslaji	Määrä promilleina bruttokansantuotteesta	
	Suomi	USA
Henkilövahingot	(5)	3,7 (29)
Suorat omaisuusvahingot	1,7 (30)	2,3 (18)
Palokuntien kustannukset	1,8 (15)	2,2 (18)
Palovakuutukset	(15)	1,5 (12)
Rakenteellinen paloturvallisuus	(30)	2,9 (23)
Epäsuorat kustannukset	(5)	?
Yhteensä	(100)	12,6 (100)

6.2 Pohjoismainen vahinkojen vertailu

Palovakuutustilastojen tarkastelu antaa luotettavan kuvan palojen taloudellisesta merkityksestä. Pohjoismaisista palovahingoista on tehty seikkaperäinen selvitys jonkin aikaa sitten Norjassa (Danielsen 1991). Siitä selviää, että aineelliset palovahingot ovat Suomessa olleet huomattavasti pienempiä kuin muissa Pohjoismaissa. Viisikymmentäluvulla kaikki Pohjoismaat olivat samalla tasalla verrattaessa palovahinkojen määrää bruttokansantuotteeseen. Vuodesta 1970 tarkastelujakson loppuun 1988 Tanskan vahinkotasoa on ollut hiukan Suomea korkeampi, Ruotsissa puolitoistakertainen ja Norjassa kaksinkertainen Suomeen verrattuna. Raportissa yritettiin vertailumenetelmin analysoida tarkkaan, miksi vahingot olivat Norjassa niin suuret. Vakuutustilastojen lisäksi käytävissä ei ollut kattavia sarjoja tilastoja itse tulopaloista, mutta johtopäätöksissä Danielsen (1991) arvioi, ettei Norjassa pala useammin kuin muissa Pohjoismaissa, mutta vahinkojen suuruus johtuu ilmeisesti pääasiassa seuraavista tekijöistä:

- Teollisuus- ja liikerakennuksissa on paljon suuria palo-osastoja, joissa ei savunpoistoa lukuun ottamatta ole muita paloturvallisuuslaitteita.
- Sprinklaus on melko harvinaista teollisuus- ja liikerakennuksissa.
- Viranomaiset hoitavat palotarkastukset heikosti.
- Laajat osastoimattomat, palavasta materiaaleista tehdyt kattorakennelmat, joissa ei ole säädösten mukaisia osastorajoja.
- Riittämätön säädösten noudattamisen viranomaisvalvonta.
- Puutteellinen vakuutusyhtiöiden kohteiden valvonta.

Nämä syyt ovat merkille pantavia, koska toiminnallisia ohjeita käytettäessä usein taukkomitoituksen osastointikoko ylitetään. Myös palotarkastuksen heikkous sekä vakuutusyhtiön aktiivisen osuuden puutteellisuus ovat silmiinpistäviä, sillä nämä asiat ovat myös Suomessa ONTIKAN tilastoja tarkasteltaessa tulleet selvästi esiin kriittisinä tekijöinä.

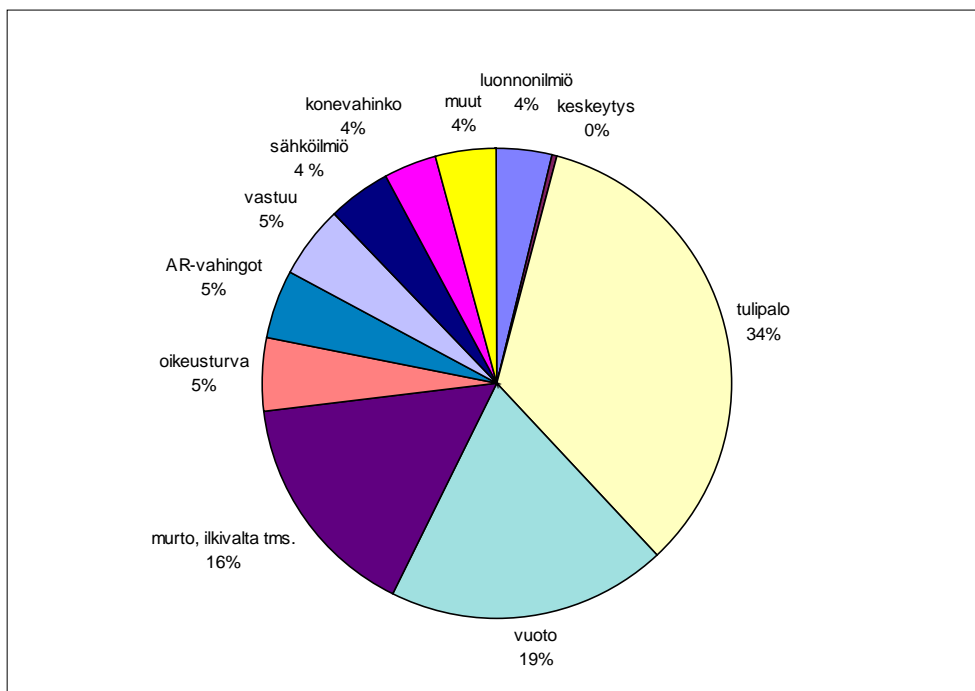
6.3 Suomen palovahinkotilastoja

Tässä raportissa ei käsitellä Danielсенin (1991) tutkimusta enemmän vaan pyritään antamaan muutamilla tilastotiedoilla jonkinasteinen kuva palovahingoista Suomessa. Tuli-palojen rahallisista menetyksistä Suomessa parhaimman kuvan saa Suomen Vakuutusyhtiöiden Keskusliiton korvaustilastoista (kuvat 22–25). Tarkastelun pohjana on tilasto vuosiväliltä 1991–95 (SVK 1996). Kuvassa 22 on erilaisten vahinko-vakuutusten vakuutuskorvausten osuudet vahinkolajeittain vuonna 1995 (SVK 1996). Siitä ilmenee, että suorien palovahinkojen osuus kaikista vahinkokorvauksista oli noin kolmannes. Rahallisesti kaikkiaan erityyppisissä vakuutuksissa olevien, palosta johtu-vien suorien vahinkojen korvaukset olivat vuosina 1991–95 keskimäärin 566 mmk vuodessa.

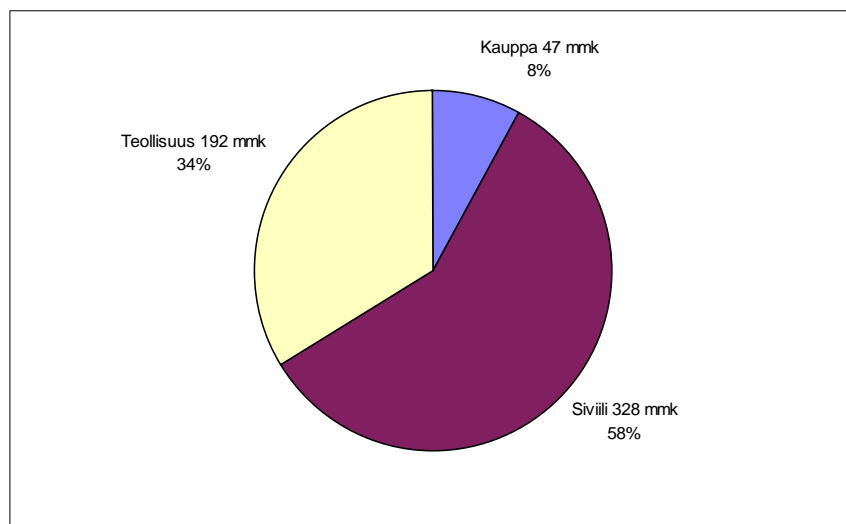
Kuvassa 23 on vahinkojen jakautuminen prosentiosuuksina ja markkamääräisesti eri vakuutusvastuualueiden kesken, mistä ilmenee, että korvattujen palovahinkojen kokonaisuudesta lankeaa teollisuudelle 34 % ja siviilisektorille 58 %. Palovahinkojen suhteellinen osuus on kuitenkin lähes kolme kertaa merkittävämpi teollisuudessa kuin siviilipuolella. Kaupan osuus kaikista palovahinkokorvauksista on pienehkö, mutta palovahinkokorvausten osuus kaikista alan esinevakuutuskorvauksista on kuitenkin kolmasosa. Varsinaisten palovakuutusten lisäksi palovahinkoja korvataan yhdistelmävakuutuksista. Kuvassa 24 on eri yhdistelmävakuutuksissa olevien palovahinkojen osuus vuonna 1995 (SVK 1996).

Kuvassa 25 on esitetty korvatut palovahingot alueittain (vanhojen läänien mukaan) vuosina 1991–95. Yläkuvan ulompi rengas kuvaa vahinkoja ja sisempi rengas väestömäärää vuonna 1982. Alakuvassa on vahingon suuruus asukasta kohden markkoina. Vahinkojen määriä tarkasteltaessa vanhat Uudenmaan lääni, Turun ja Porin lääni sekä Vaasan ja Oulun läänit yhdessä muodostavat suuruusjärjestyksessä merkittävimmät alueet. Koska niissä myös väestöä asuu suhteessa eniten, kuvan 25 alaosaan on piirretty palovahingon suuruus asukasta kohden. Se oli Suomessa mainittuna ajanjaksona keskimäärin vuodessa 117 mk/asukas. Maan suhteellisesti mustimmat alueet vahinkojen osalta ovat siten Perä-Pohjola ja Lappi (134 % keskiarvosta) sekä seuraavana Ahvenanmaa (129 %). Vahingot ovat suhteellisesti pienimmät pääkaupunkiseudulla (84 % keskiarvosta) ja Karjalassa (90 %). Vaikka maan eri alueilla vahingot ovat keskimäärin erisuuruisia, mustimmalla alueella vahingot ovat vain 1,6-kertaiset valkoisimpaan alueeseen verrattuna, mikä ei ole vielä kovin dramaattista. Tällä perusteella maatamme voi sen suuresta

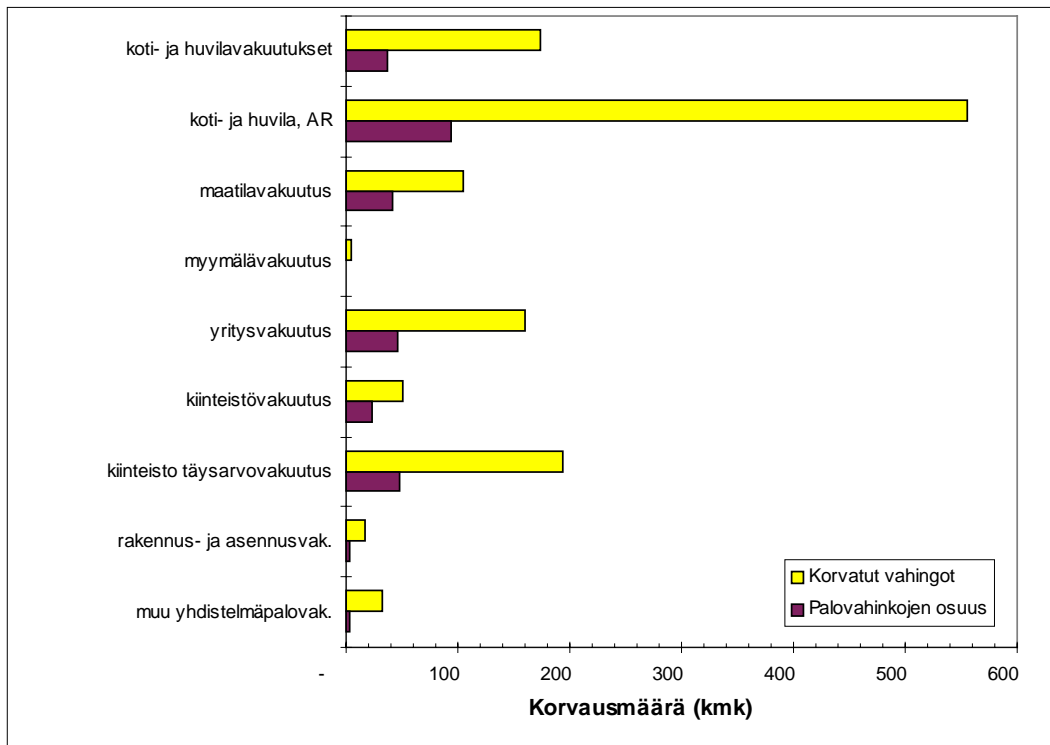
koosta sekä pohjoisen ja etelän suurista luonnonolosuhteiden eroista huolimatta pitää melko tasaisena.



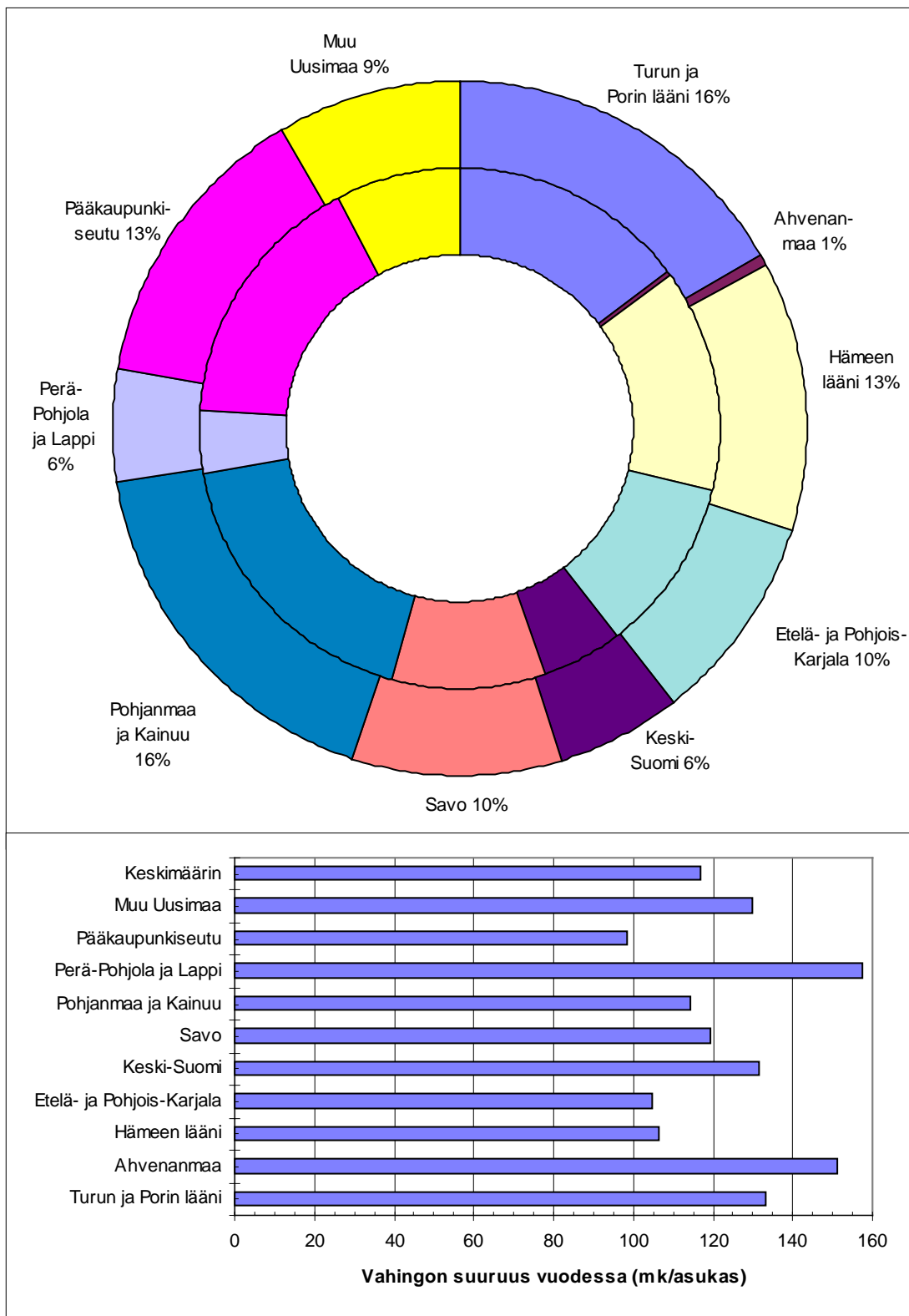
Kuva 22. Osuudet vakuutuskorvauksista vahinkolajeittain vuonna 1995 (SVK 1996).



Kuva 23. Eri vakuutusvastuualueiden osuudet korvatuista palovahingoista keskimäärin vuosina 1991–1995 (SVK 1996).



Kuva 24. Korvattujen palovahinkojen osuudet eri yhdistelmävakuutuksista vuonna (SVK 1996).



Kuva 25. Korvatut palovahingot alueittain vuosina 1991–1995. Yläkuvan ulompi rengas kuvaa vahinkoja ja sisempi rengas väestömäärää vuonna 1982. Alakuvassa on vahingon suuruus asukasta kohden (SVK 1996).

6.4 Palovakuutusten ominaispiirteitä

Kuvassa 26 on Suomen tilastollisen vuosikirjan (vuosilta 1927–1998) tietoihin perustuen palo- ja muun esinevakuutuksen maksupromillen, vahinkopromillen ja vahinkosuhteen kehitys tällä vuosisadalla. Maksupromille on vakuutusmaksun osuus vakuutussalkun nimellisarvosta promilleina lausuttuna ja vahinkopromille vastaavasti korvaussumman osuus promilleina vakuutussalkun arvosta. Vahinkosuhte on vahinkopromillen suhde maksupromilleen. Kuvan 26 merkitys toiminnallisen mitoituksen kannalta on antaa yleiskuva tulipalon omaisuusriskin arvioinnista pitkän ajanjakson aikana alaan parhaiten erikoistuneiden osajien, palovakuutusyhtiöiden, näkemyksen mukaan. Tiedot oli helppo saada samasta teossarjasta, ja koko vuosisadan kattava aikajänne antaa kuvan riskin kehittymisestä, jonka aikana rakennuskanta, ihmisten käyttäytyminen, ulkoiset olosuhteet (sota-ajat) ja teknologia ovat muuttuneet erittäin voimakkaasti.

Kuvasta 26 näkyy, että maksupromillen kehitys on lähes koko ajan ollut laskeva ja nykytaso on vain kolmannes vuosisadan alun tasosta. Kuten vahinkopromillestä näkyy, sota-ajat (erityisesti 1918) ovat indusoineet vahinkoihin piikit, joita on maksettu takaisin korotettuna vahinkopromillena noin vuosikymmenen ajan. Kuitenkin vahinkosuhte on pysynyt yllättävän vakaana. Muutamia häiriövuosia lukuun ottamatta se on kohonnut vuosisadan alun 0,5:n tienoilta kilpailun kiristymisen, volyyymien kasvun ja yhteyksien kehittymisen parantumisen myötä 0,7:n tuntumaan tällä hetkellä. Karkeasti ottaen kuvan 26 viesti on, että rakennuksen palosta johtuva omaisuusvahingon riski on keskimäärin nykyisin 0,7 kertaa sen vakuutusmaksun suuruus.

Kuvassa 27 on laskettu vakuutuskannan kehittyminen toisen maailmansodan jälkeisenä aikana Suomessa henkilöä kohden vuoden 1998 rahana. Kuvan 27 ylempi käyrä päättyy vuoteen 1987, minkä jälkeen vakuutusyhtiöt eivät kilpailusyistä enää julkaise vakuutuskantansa suuruutta. Vakuutusmaksut ja -suoritteet ovat senkin jälkeen julkisia, kuten kuvan 27 alaosasta ilmenee (Suomen tilastollinen vuosikirja 1950–1998, Vakuutusyhtiöt 1994). Vaikka kaikkia kohteita ei ole vakuutettu, kuva 27 antaa oikean suuruusluokan palojen uhkaaman omaisuuden arvosta, joka 1987 oli noin 400 kmk/henkilö. Vahingon suuruuden voi arvoida vakuutusmaksusta ja vakuutus-suoritteesta, joista 1998 edellinen oli noin 500 ja jälkimmäinen noin 400 mk/henkilö.

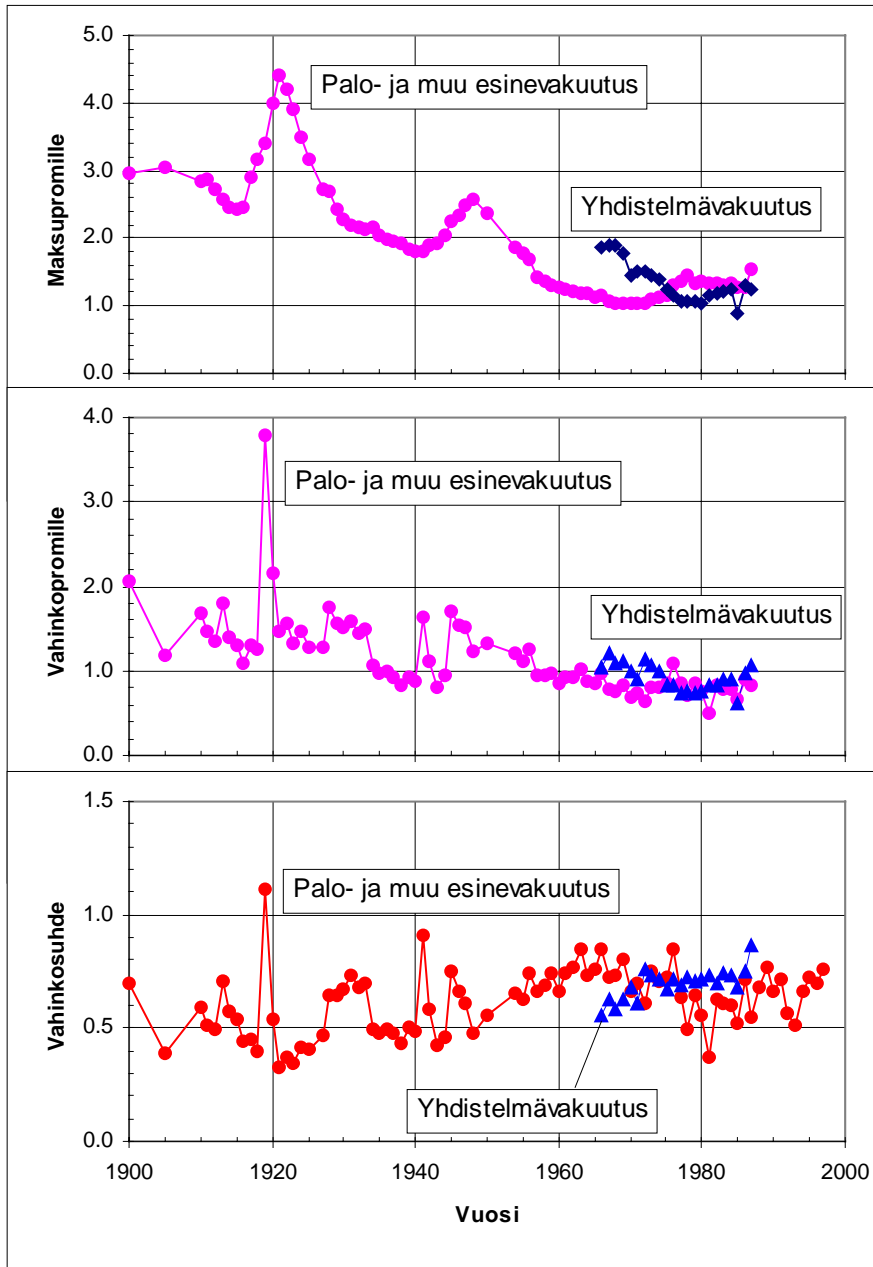
Asukasluvun lisäksi ja ohella kerrosala lienee sopiva tekijä normittaa rakennusten palovahinkoja. Kuvassa 28 tämä on tehty vakuutuskannalle, vakuutusmaksulle ja vakuutus-suoritteelle. Siitä nähdään, että vakuutuskanta kerrosalaa kohden on kasvanut vuodesta 1960 vuoteen 1987 noin tekijällä 1,5. Vakuutusmaksusta ja vakuutus-suoritteesta on pitemmät aikasarjat, jotka ulottuvat viimeisen lamakaudenkin yli. Vaihtelut ovat samansuuruisia kuin vakuutuskannassa, ja laman jälkeen kumpikin näyttää asettuneen melko vakaalle tasolle (taulukko 2). Kuvan 28 näkökulmasta on rakennuskannasta kattavammat tiedot kuin kaikkien rakennusten arvosta, sillä mukaan ei ole edes arvioiden otettu

vakuuttamattomien rakennusten arvoa (valtio, kunnat, suuret yritykset), jotka kuitenkin ovat mukana rakennuskannassa. Siten vakuutuskanta antaa rakennusten arvosta alalikiarvon, minkä luvuistakin voi arvata, sillä ne alittavat asuinrakennusten käyvät neliöhinnat. Sama koskee vakuutusmaksua ja vakuutus-suoritetta. Maksutuotto (n. 8 mk/m²a) ja vakuutussuorite (=maksetut korvaukset) (n. 5 mk/m²a) antavat alalikiarvon rakennuksen paloriskin odotusarvolle. Vaatisi huomattavan työpanoksen, jotta näitä lukuja voitaisiin korjata realistisesti kohti niiden todellista arvoa, mutta karkea valistunut arvaus korjauskertoimesta k olisi $1 \leq k \leq 2$. Suuruusluokka-arviona omaisuusvahingoista voimme siten pitää 10 mk/m²a.

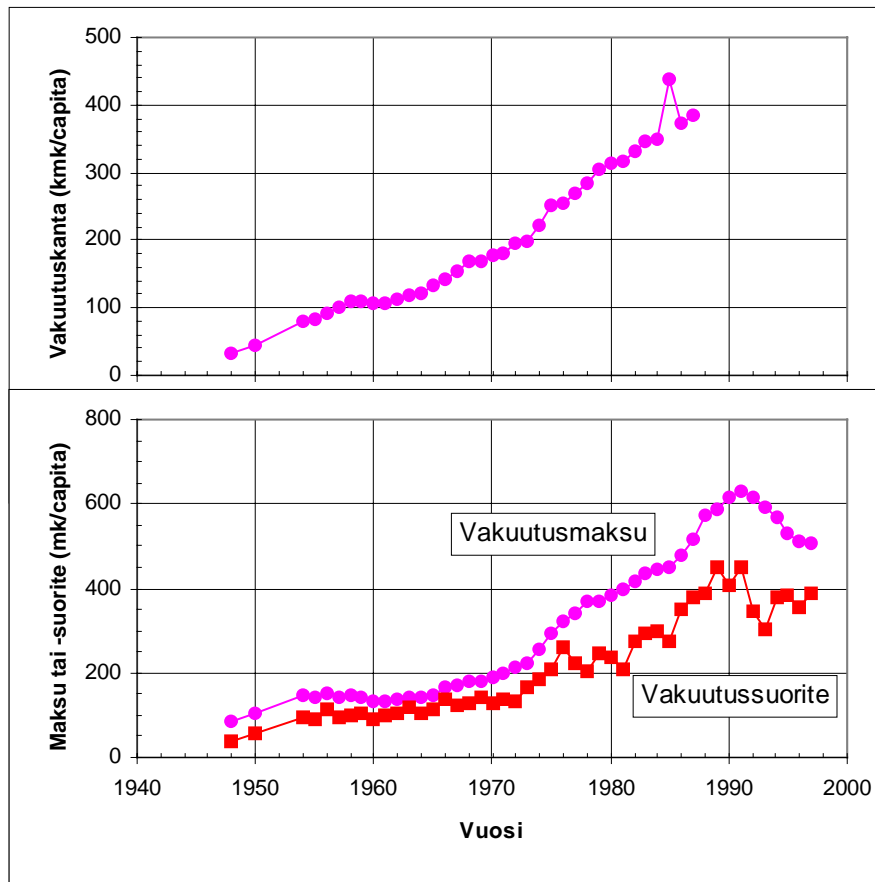
Taulukko 2. Vakuutusmaksujen tuotot ja korvauskulut kerrosneliötä kohden vuodessa (Vakuutusyhtiöt 1994).

Vuosi	Vakuutusmaksutuotot mk/m ² a	Vakuutussuorite mk/m ² a	Vahinkosuhte
1990	8,30	5,89	0,71
1994	7,82	5,33	0,68

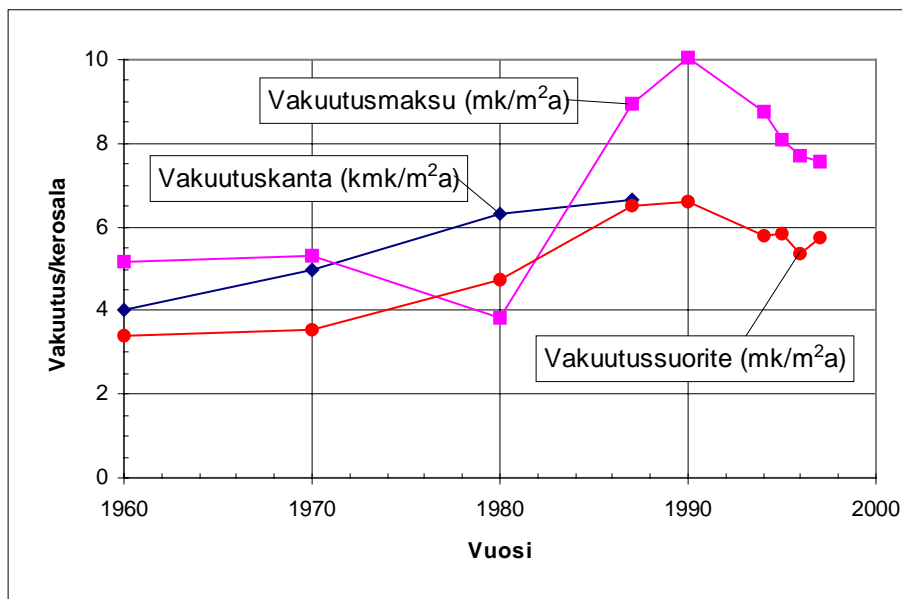
Keskiarvojen lisäksi toiminnallisessa suunnittelussa kiinnostaisi erityisesti kohteen koon ja palovahingon suuruuden välinen riippuvuus. Koska käytettävissämme ei ole tuhansia kappaleita käsittävää tilastoaineistoa, jossa kohteen arvo ja sattuneen vahingon suuruudet tunnettaisiin, asia jää toistaiseksi hämäräksi.



Kuva 26. Vakuutusmaksujen ja korvausten osuus promilleina vakuutuskannasta Suomen palovakuutuksissa sekä vahinkosuhde (Suomen tilastollinen vuosikirja 1927–1998).



Kuva 27. Vakuutuskaanan sekä -maksujen ja -suoritteiden kehitys henkilöä kohden Suomessa toisen maailmansodan jälkeisenä aikana (Suomen tilastollinen vuosikirja 1950–1998).



Kuva 28. Vakuutuskaanta, vakuutusmaksutulo ja vakuutussuorite kerrosalaa kohden vuodessa Suomessa (Suomen tilastollinen vuosikirja 1962–1998, Rakennukset ja toimitilat 1990).

7. Johtopäätökset

7.1 Henkilöturvallisuus

Tämän lyhyen kansainvälisen vertailun perusteella palokuolemien tilanteesta Suomessa voidaan tehdä ainakin seuraavat johtopäätökset:

Suomi on teollisuusmaista palokuolemien synkkiä maita, kuolemia on kaikkia muista Pohjoismaista enemmän.

Suomessa palokuolemia on ollut viimeiset 15 vuotta saman verran, kun suunta yleensä teollisuusmaissa on ollut vähenevä, Pohjoismaista Ruotsissa ja Norjassa vähenevä, mutta Tanskassa viime aikoina kasvava.

Miesten palokuolemat ovat Suomessa moninkertaiset naisten kuolemiin verrattuna. Suhde on merkittävästi suurempi kuin muissa meihin verrattavissa teollisuusmaissa.

Miesten palokuolemien riski kasvaa koko aikuisiän, mutta naisilla se alkaa kohota vasta eläkeiässä.

Noin 80 % uhreista on kuolleita jo palopaikalla, joten uuden tilastointitavan käyttöönotto ei selitä ONTIKASTA saatavia pieniä palokuolemien määriä.

Toiminnallista mitoitusta käytettäneen vain harvoin asuinrakennusten suunnitteluun. Siten sen vaikutus palokuolemiin säilynee vähäisenä, koska asuinrakennuksia luku ottamatta muissa tiloissa palokuolemat ovat harvinaisia. Toiminnallisen mitoituksen avaintehtävä julkisten ja muiden suurten kohteiden paloturvallisuussuunnittelussa on estää katastrofien syntyminen takaamalla henkilöille palotilanteessa poistumismahdollisuus riittävän suurella todennäköisyydellä ja luomalla pelastushenkilöstölle turvalliset toimintamahdollisuudet. Sitä vastoin nykyisillä toiminnallisen suunnittelun menetelmillä ei voida kvantitatiivisesti ennustaa yksittäisen tai muutaman henkilön todennäköisyyttä menehtyä tulipalossa, mikäli he sattuvat olemaan palon syttymispaikan lähellä.

Kuva 11 antaa viitteitä suurilta kohteilta vaadittavasta henkilöturvallisuustasosta. Kymmenen henkilön joutuessa yhdestä kohdasta syttyneessä palossa hengenvaaraan, todennäköisyyden heidän menehtymiseensä tulisi olla pienempi kuin $1 \cdot 10^{-7}$ tulipaloa kohden. Sadan henkilön altistuessa todennäköisyys saisi olla vain $1 \cdot 10^{-8}$ ja tuhannen henkilön altistuessa $1 \cdot 10^{-9}$ tulipaloa kohden. Suurissa tiloissa, missä osastokoon rajoitus ei enää ole turvatekijänä käytettävissä, tuloksiin päästään palon leviämisen rajoittamisella (rakenne- ja materiaalivalinnat), aktiivisilla ilmaisu- ja sammutin-järjestelmillä sekä riittävillä poistumisen takaavilla järjestelyillä.

Kuvan 11 sisältö ei ole vielä kovin lopullinen, sillä yli kymmenen hengen palokuolemista se sisältää puutteellisen määrän havaintoja. Siksi näitä tietoja tulisi täydentää laajalla kansainvälisillä vertailuilla väestöltään suurista maista. Sen perusteella palokuolemien riskitasolle saataisiin piirrettyksi käyrä, jonka perusteella voidaan esittää hieman yleispätevämmät kvantitatiiviset todennäköisyysvaatimukset toiminnallisen mitoituksen henkilöturvallisuuden perustaksi. Siihen perustuen viranomaiset voisivat sitten kussakin maassa tehdä asiasta poliittiset päätöksensä, jotka kirjataan säädösten vaatimuksiksi.

Tutkimus antoi viitteitä, jotka Rahikaisen (1998b) (Rahikainen ja Keski-Rahkonen 1998c) palokuolematutkimus on varmistanut, ettei toiminnallisella suunnittelulla voida olennaisesti parantaa Suomen mustia palokuolematilastoja, vaan siihen tarvitaan toisenlaisia menetelmiä: valistusta, neuvontaa ja ehkä varsin kouriintuntuvaa henkilökohtaista apua.

Palomiesten turvallisuus Suomessa lienee hyvä (Britannian tasoa), ja toiminnallisen suunnittelun kriteeriksi olisikin otettava, että sen todennäköisyys ($1 \cdot 10^{-7}/a$) ei nykyisestä nousisi.

7.2 Omaisuuden turvallisuus

Tilastovertailujen perusteella omaisuusvahingot ovat Suomen tulipaloissa kansainvälisesti ottaen pienet, noin prosentti bruttokansantuotteesta. Turvallisuus on alueellisesti melko tasainen, mutta käyttötaluokkien välisiä vertailuja ei ole voitu tilastojen puuttuessa tehdä kovin kvantitatiivisesti. Mitoittavana palon aiheuttamana omaisuusvahingon odotusarvona ehdotetaan tämän tutkimuksen tuloksena käytettäväksi $10 \text{ mk/m}^2\text{a}$. Tähän lukuun, mikä on aivan alustava, voidaan verrata erilaisia omaisuuden suojaamiseen tähtääviä paloturvallisuustoimenpiteitä. Tässä laskelmassa eivät ole mukana epäsuorat palovahingot eivätkä muutenkin tietyn kohteen tehtävän kannalta tärkeitä seikat. Niiden rahallinen arviointi voi aiheuttaa mainitun hinnan kohoamisen jopa kertaluvuilla.

Toiminnallinen suunnittelu kaataa joitakin paloturvallisuutemme peruspilareita. Siten Norjan palovahinkojen arvioinnissa havaittuja seikkoja olisi pidettävä mielessä, jotta ei ajaututtaisi vähitellen omaisuusvahingoissa heidän tasolleen. Nämä näkökohdat hiukan uudelleen muotoiltuina ovat:

- Teollisuus- ja liikerakennusten suuret palo-osastot on suojattava savunpoiston lisäksi muilla aktiivisilla keinoilla.
- Teollisuus- ja liikerakennuksia on sprinklattava tehokkaasti.
- Palotarkastuksia ja viranomaisneuvontaa on oltava nykyistä enemmän suurissa riskikohteissa.

- Laajat osastoimattomat palavasta materiaaleista tehdyt kattorakennelmat on otettava erityisesti huomioon tarkastuksissa ja suunnittelussa.
- Viranomaisten on valvottava suunnittelua ja säädösten noudattamista, sekä vakuutusyhtiöiden on paneuduttava suuriin riskikohteisiin.

Lähdeluettelo

Alanne, R. & Kulha, T. 1988. Palokuolemat Suomessa 1985–1987. Tutkimus poliisiopiston päällystökurssilla 22/88. Espoo. 54 s. (julkaisematon).

Annual Fire Report 1992. 1994. Disaster Section, Fire Defence Agency Japan, Report Nr. 49. 241 s. (japaninkielinen).

Anon. 1979. Virtain kunnalliskodin palo vaati 27 vanhuksen hengen. Palontorjunta, Vol. 30, No. 1, s. 8–9.

Anon. 1989. A Conceptual Approach Towards a Probability Based Design Guide on Structural Fire Safety, CIB W14 Workshop “Structural Fire Safety”, January 1983. Fire Safety Journal, Vol. 6, s. 1–79.

Anon. 1985. Brandskadorna 1984. Brandförsvar, Vol. 22, No. 6–7, s. 69–71.

Anon. 1986a. Design Guide, Structural Fire Safety, Workshop CIB W14. Fire Safety Journal, Vol. 10, s. 77–137.

Anon. 1986b. Political heed of 'forgotten' fire costs rising. Fire, Vol. 79, No. 976, s. 21.

Anon. 1987. Rakennustavan vaikutus teollisuuden palovahinkoihin. Palontorjunta 38, s. 450–452.

Anon. 1988. Norsk Brannvern Forening, Styrets årsberetning for 1987. Brann & Sikkerhet, Vol. 63, 2, s. 37–47. (norjankielinen).

Anon. 1992. Fire Statistics, United Kingdom 1990, Home Office, Statistics Division 3, London. 146 s.

Anon. 1994. Brandstatistiken för 1993: Kostnaderna fortsätter att minska men bostadsbränderna ökar. Brand & Räddning, Vol. 9, No. 6–7, s. 6–10.

Anon. 1995a. World fire statistics, Fire International 148, s. 12–13.

Anon. 1995b. Fire Statistics, United Kingdom 1993. Home Office, Statistics Division 3, London. 178 s.

Anon. 1996. Dødsbranner 1995. 62 omkom i branner i fjor. Brann & Sikkerhet, Vol. 71, No. 2, s. 6–8. (norjankielinen).

Anon. 1998. 63 Killed, 162 Injured in Swedish Dance Hall Fire. First Report. Firehouse, Vol. 23, No. 12, s. 78.

Anon. 1999. Fire at Halloween party in Gothenburg (Göteborg), Sweden. The night of Thursday, October 29th kills 60 teenagers. Latest News, SP, Swedish National Testing Institute. <http://www.sp.se/fire/>.

- Barillo, D. J. & Goode, R. 1996. Fire fatality study: demographics of fire victims. *Burns*, Vol. 22, s. 85–88.
- Best, R. L. 1978. Tragedy in Kentucky. *Fire Journal*, Vol. 72, No. 1, s. 18–35.
- Björkman, J. & Keski-Rahkonen, O. 1996. Fire safety risk analysis of a community centre. *Journal of fire sciences*, Vol. 14, s. 346–352.
- Brushlinsky, N. N., Kolomiyets, Ju. I., Korobko, V. B. & Sokolov, S.V. 1994. Statistika požarov v Rossii za 1993 god [Venäjän palotilastot vuonna 1993]. *Požarovzryvobezopasnost*, Vol. 3, No. 1, s. 62–70. (venäjänkielinen).
- Canvey Island, 1978. Canvey: an investigation of potential hazards from operations in the Canvey Island/Thurrock area. Her Majesty's Stationery Office, London. 192 s. + liitt. 1 s.
- Crossland, B. 1992. The King's Cross Underground fire and the setting up of the investigation. *Fire Safety Journal*, Vol. 18, s. 3–11.
- Collier, P. & Watson, L. 1998. Fire Statistics, United Kingdom 1997. Home Office Statistical Bulletin, Issue 25/98, Government Statistical Service, London. 91 s.
- Danielsen, U. 1991. Branskader i Norge. SINTEF Rapport STF25 A91002, Norges branntekniske laboratorium, Trondheim. 146 s. + liitt. 50 s. (norjankielinen)
- De Vreese, L. 1996. New Year's Eve Tragedy in Antwerp. *Fire*, Vol. 89, No. 1092. A supplement to 'Fire': *Fire Europe*, Issue 1, June 1996, s. 4–5.
- Eaton, C., 1991. Microeconomic Reform: Fire Regulation. Building Regulation Review Task Force, Canberra. 165 s. + liitt. 35 s.
- Elbe, L. 1996. Brandskadorna 1995: Färre döda trots fler bostadsbränder. *Brand & Räddning*, Vol. 11, No. 6–7, s. 14–16.
- Ervamaa, J., Mankamo, T. & Suokas, J. 1979. Luotettavuustekniikka. Insinööritieto Oy, Helsinki. 326 s.
- Fire Losses in Canada: annual report 1993. Fire Commissioner of Canada, Ottawa. 80 s.
- Green, A. E. 1982. High Risk Safety Technology. Wiley, Chichester. 654 s.
- Goddard, G. 1997. Summary Fire Statistics, United Kingdom 1995. Home Office Statistical Bulletin, Issue 8/97. 79 s.
- Hall, J. R. Jr. 1988. Fire deaths have reached a plateau throughout North America. *Fire Journal*, Vol. 82, No. 5, s. 39–44.
- Hall, J. R. Jr. 1989. Calculating the total cost of fire in the United States. *Fire Journal*, Vol. 83, No 2, s. 69–72.

- Harper, F. T., Goossens, L. H. J., Cooke, R. M., Hora, S. C., Young, M. L., Päsler-Sauer, J., Miller, L. A., Kraan, B., Lui, C. H., McKay, M. D., Helton, J. C. & Jones, J. A. 1994. Probabilistic Accident Consequence Uncertainty Analysis, NUREG/CR-6244 (EUR 15855EN, SAND94-1453). Commission of the European Communities, Brussels–Luxembourg. Vol 1. 101 s.
- Henley, E. J. & Kumamoto, H. 1992. Probabilistic Risk Assessment. Reliability Engineering, Design, and Analysis. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. IEEE Press, USA. 568 s.
- Hämäläinen, R. P., Pulkkinen, U. & Karjalainen, R. (toim.), 1989. Riskianalyysi. Research Reports B14, Helsinki University of Technology, Systems Analysis Laboratory, Espoo.
- Karlsson, J. 1988. Tulipaloissa 307 uhria vuosina 1985–87. Palontorjunta, Vol. 10, s. 8–9.
- Karter, M. J. 1996. NFPA's Latest Fire Loss Figures. NFPA Journal, Vol. 90, No. 5, s. 52–59.
- Katajamäki, J. 1976 Lapuan räjähdysonnettomuus rauhanajan kohtalokkain maalla sattunut onnettomuus. Palontorjunta, Vol. 27, No. 4, s. 236–245.
- Katajamäki, J. 1997. Lahden kerrostalopalo. Pelastustieto, Vol. 48, No. 1, s. 7–19.
- Keski-Rahkonen, O. 1999. Multiple Fire Casualties. Fire Safety Journal (julkaistavana).
- Keski-Rahkonen, O. 1998b. Probability of multiple fire deaths in building fires according to an international fire statistics study. In: Shields J. (ed.), Human Behaviour in Fire – Proceedings of the First International Symposium, Fire SERT, University of Ulster, Belfast. S. 381–391.
- Keski-Rahkonen, O. 1995. Fire modelling. Teoksessa: Mattila, L. & Vanttola, T. (eds.). YKÄ. Research programme on nuclear power plant systems behaviour and operational aspects of safety 1990–1994. Final report. Studies and reports 98/1995, Ministry of Trade and Industry, Helsinki. S. 138–153.
- Keski-Rahkonen O. 1987. Tulipalojen numeerinen simulointi, I. Palontorjuntatekniikka. Vol. 17, No. 4, s. 133–136.
- Keski-Rahkonen, O. 1997a. Palokuoleman riskistä Suomessa ja ulkomailla, Palontorjuntatekniikka, Vol. 27, No. 4, s. 19–25.
- Keski-Rahkonen, O. 1997b. Palokuoleman riskistä Suomessa ja ulkomailla. Rakentavaa Tietoa, VTT Rakennustekniikka 20/12.97. 8 s.
- Keski-Rahkonen, O. 1998a. Determination of ignition frequency of fires in different premises in Finland. Proceedings of EUROFIRE '98: fire safety by design, engineering & management. Brussels, 11–13 March 1998.

Keski-Rahkonen, O. & Heikkilä, L. 1992. Advanced numerical modelling of a fire (Palome), Reviews B: 119. Teoksessa: Mattila, L. & Vanttola, T. (eds.). YKÄ, Research Programme on Nuclear Power Plant Systems Behaviour and Operational Aspects of Safety, Ministry of Trade and Industry, Energy Department, Helsinki. S. 86–94.

Keski-Rahkonen, O., Heikkilä, L., Pulkkinen, U., Mälkki, H. & Fieandt, J. 1991. Selection of reliability engineering methods for fire risk assessment applications in Finland. Teoksessa: Malmen, Y. & Rouhiainen, V. (Eds.). Reliability and safety processes and manufacturing systems. Elsevier, London. S. 200–211.

Klem, T. J. 1986. Fifty-Six Die in English Stadium Fire. Fire Journal, Vol. 80, No. 3, s. 128–132, 134–140, 142, 144–147.

Kristensen, O. B. 1996. Et brandoffer hver tredje dag. Brandværn, Vol. 22, No. 10, s. 19. (tanskankielinen)

Lautkaski, R., Pipatti, R. & Vuori, S. 1988. Suomalaisten terveystriskit. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 875. 104 s. + liitt. 9 s.

Magnusson, S.-E., Pettersson, O. & Thor, J. 1974. Brandteknisk dimensionering av stålkonstruktioner. SBI Publikation 38, Stålbyggnadsinstitutet, Uppsala. 155 s.

McCormick, N. J. 1981. Reliability and Risk Analysis. Academic, Orlando, FA. 446 s.

NFPA 1977. Firesafety Systems Analysis for Residential Occupancies. U.S. Department of Housing and Urban Development, Washington, D.C., Vol I, HUD-PDR-268-1. 60 s. + liitt. 17 s. Vol II, HUD-PDR-268-2. 79 s. + liitt. 46 s.

Nieminen, J. 1999. Palomiesten työtaturmat. Erikoistyö, Teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikka. (valmisteilla)

NKB 1994. Funktionsbestemte brandkrav og Teknisk vejledning for beregningsmæssig eftervisning. NKB Utskotts- och arbetsrapporter 1994:07, Nordiska Kommittén för byggbestämmelser, NKB, Brandutskottet, Helsinki. 80 s. (tanskankielinen)

NOU 1991:1A. “Scandinavian Star” -ulykken, 7. april 1990. Norges offentlige utredninger, Hovderapport, Statens forvaltningstjeneste, Oslo. 206 s. (norjankielinen)

Nordenfelt, E. (toim.), 1998. Branden i Makedoniska Föreningens lokaler på Herkulesgatan i Göteborg den 29–30 oktober 1998. En sammanställning av fakta och intryck från personal som deltagit, Räddningstjänstens Rapport 1998-11-25.
<http://www.torget.se/users/s/stebe/rgmk0.html>.

NUREG/CR-2300, 1983. PRA Procedures Guide, A Guide to the Performance of Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plants. The American Nuclear Society and The Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York.

Peltola-Lampi, T. 1996. Tapaturmatilanne vuonna 1996. Sisäasiainministeriö. Pelastusosaston tiedoituksia 6/96, s. 20–21.

- Pettesson, O., Magnusson, S. E. & Thor, J. 1974. A Differentiated Design of Fire Exposed Steel Structures. Bulletin 44, Lund Institute of Technology, Lund. 44 s. + liitt. 9 s.
- Rahikainen, J. 1998a Palotilastojen analysointi toiminnallisten palosäädösten pohjaksi. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 1892. 11 s.+ liitt. 79 s.
- Rahikainen, J. 1998b. Palokuolemat Suomessa vuosina 1988–97. Poliisiammatti-korkeakoulun tutkimuksia 4/1998, Oy Edita Ab, Helsinki. 136 s.
- Rahikainen, J. & Keski-Rahkonen, O. 1998c. Palokuoleman uhri Suomessa. Palontor-juntatekniikka, Vol. 28, No. 4, s. 10–13.
- Rahikainen, J. & Keski-Rahkonen, O. 1999. Palokuolemat Suomessa 1988–97, osa 2: Palokuoleman olosuhteet. Palontorjuntatekniikka, Vol. 29, No. 2, s. 10–12.
- Rahikainen, J. & Keski-Rahkonen, O. 1998b. Determination of ignition frequency of fires in different premises in Finland. Fire Engineers Journal, Vol. 58, No. 197, s. 33–37.
- Rahikainen, J. & Keski-Rahkonen, O. 1998a. Palojen syttymistaajuuksien tilastollinen määrittäminen. Palontorjuntatekniikka, Vol. 28, No. 2, s. 12–17.
- Rakentaminen ja asuminen, Vuosikirja 1989, Tilastokeskus.
- Repo, E. 1997. Suomalaiset tuhopoltoista syytetyt rikolliset: psykiatrisia piirteitä ja uusintarikollisuutta kuvaava tutkimus. Helsingin yliopisto, lääketieteellinen tiedekunta.
- Rijnmond Area, 1982. Risk analysis of six potentially hazardous industrial objects in the Rijnmond Area – A pilot study. A report to the Rijnmond Public Authority, Dordrecht, Holland.
- Räsänen, P. 1995. Mielentilatutkittu murhapolttaja. Acta Universitatis Ouluensis, D Medica 340, Oulun yliopisto, Oulu. 79 s. + liitt. 37 s.
- Santala, L. 1966. Lapinlahden kunnalliskodin mielisairasosasto ja sen palo 22.–23.4. 1966. Palontorjunta, Vol. 17, No. 4, s. 166–171.
- Siirilä, R., Nakari, P. & Viljakainen, S. 1978. Teräsrakenteiden palotekninen mitoitus. Teräsrakenneyhdistys r.y., Jyväskylä. 160 s.
- SVK 1996. Palo- ja muu esinevahinko yhdistelmiseen. Vahinkotilasto sattumisvuosilta 1991–1995. Suomen Vakuutusyhtiöiden Keskusliitto, Helsinki. 44 s.
- Vakuutusyhtiöt 1994. Vakuutus 1996:1, Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsinki. 445 s.
- Van Hees, P., Tuovinen, H., Persson, B. & Geysen, W. J. 1998. Simulation of the Switel Hotel Fire. SP Report 1998:04, Swedish National Testing and Research Institute, Borås, Sweden. 26 s.

Virkkunen, M. & Alha, A. 1968. Tulipalo- ja häkäkuolemantapaukset Suomessa vuonna 1967. Palontorjunta, Vol. 19, No. 7, s. 302–306.

WASH-1400, 1975. Reactor Safety Study – An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants. WASH-1400 (NUREG-75/014), Washington, D.C.

White Book on Fire Service in Japan 1988. Fire Defence Agency, Japan. 142 s.