



Jukka Vaari, Kati Tillander, Tuomo Rinne & Tuomas Paloposki

# Asuntosprinklaus Suomessa

Vaikuttavuuden arviointi. Osa 2





# **Asuntosprinklaus Suomessa**

## **Vaikuttavuuden arviointi**

### **Osa 2**

Jukka Vaari, Kati Tillander, Tuomo Rinne & Tuomas Paloposki



ISBN 978-951-38-7566-4 (nid.)

ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 978-951-38-7567-1 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2010

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 1000, 02044 VTT

puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 1000, 02044 VTT

tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland  
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 4374

Toimitus Maini Manninen

Edita Prima Oy, Helsinki 2010

Jukka Vaari, Kati Tillander, Tuomo Rinne & Tuomas Paloposki. Asuntosprinklaus Suomessa. Vaikutavuuden arviointi. Osa 2. Espoo 2010. VTT Tiedotteita – Research Notes 2527. 134 s.

**Avainsanat** fire hazards, fire safety, accident prevention, fire extinguishers, sprinkler systems, residential buildings, legislation, technical solutions, smoke detection, automatic extinguishers

## Tiivistelmä

VTT:ssä on vuodesta 2006 lähtien ollut meneillään asuntosprinklausta käsittelevä hankekokonaisuus, jonka päätavoitteena on arvioida, voidaanko palokuolemien ja loukkaantumisten määrää Suomessa vähentää merkittävästi asuntosprinklauksella. Hankkeen toisessa osassa toteutettiin mittava koesarja, jossa todennettiin paitsi tavanomaisten asuntosprinklerien suorituskyky, myös uudempaan sammutuslaitetekniikkaan, erityisesti vesisumuun, perustuvien järjestelmien suorituskyky henkilöturvallisuussovelluksissa. Toisessa osassa tarkasteltiin myös alustavasti asuntosprinklauksen kustannuslaskentaa.

Koesarjaan osallistuneet sammutusjärjestelmät edustivat laajaa kirjoa vesipohjaisia sammutusjärjestelmiä. Mukana oli tavanomaisia asuntosprinklereitä, matala- ja korkeapaineisia vesisumujärjestelmiä, liikuteltavia järjestelmiä, sekä järjestelmiä, joiden laukeaminen perustui tavanomaisten lasikapselien asemesta paloilmaisimiin. Osa sammutusjärjestelmistä oli tarkoitettu nimenomaan henkilösuojaukseen, kun taas osa oli suunniteltu suorituskyvyltään samantasoiseksi kuin OH1-sprinklerijärjestelmä. Yhteistä kaikille järjestelmille oli, että testitilassa oli asennettuna yksi ainoa suutin. Kaikki järjestelmät käyttivät sammutteena pelkkää vettä.

Johtopäätökset sammutusjärjestelmien suorituskyvystä perustuivat kokeiden aikana suoritettuihin kaasun lämpötilan, kaasupitoisuuksien sekä savun tiheyden mittauksiin. Kustakin paloskenaariosta toteutettiin vertailun vuoksi myös ns. vapaapalo, jossa seurattiin miten palo etenee samoja palokuormia käyttäen tilanteessa, jossa tilaan ei ole asennettu sammutusjärjestelmää.

Kokeissa kaikki sammutusjärjestelmät rajoittivat kaasulämpötiloja koetilassa niin alas, että tilan yleissytytymisen olisi käynyt mahdottomaksi, samoin palon leviäminen koetilan ulkopuolelle käytävään. Myös ihmiselle haitallisten kaasujen pitoisuudet rajoittuivat niin alas, että henkilöturvallisuus huoneessa ei vaarantunut, ja poistumiseen oli riittävästi aikaa.

Kustannuslaskennassa keskityttiin tarkastelemaan ainoastaan kustannuslaskelman yhtä osa-aluetta, kustannus-hyötysuhdetta. Tarkastelu on rajattu pientaloon, ja useat laskelman lähtöarvoista on valittu koko rakennuskantaa ja koko väestöä koskevien tunnuslukujen perusteella. Näin ollen tarkastelu ei erottele esimerkiksi sitä, minkä tyyppisellä alueella pientalo sijaitsee, millainen geometria rakennuksessa on, kuinka paljon ihmisiä rakennuksessa asuu tai mitkä ovat heidän mahdollisuutensa poistua palon sattuessa.

Valituilla numeroarvoilla suoritettu analyysi osoittaa, että esimerkkitapauksessa pientalon varustaminen henkilösuojaukseen tarkoitetulla automaattisella sammutusjärjestelmällä ei ole kustannustehokasta, ellei sammutusjärjestelmien asennuskustannuksia saada merkittävästi pienennettyä. Laskelmaan tulee kuitenkin suhtautua esimerkinomaisena. Kokonaisvaltaisempi tulos voidaan saada laajentamalla tarkastelu koskemaan useita rakennustyyppisiä ja valitsemaan laskelmien lähtöarvot vain näihin rakennuksiin ja niissä asuviin ihmisiin perustuen. Samoin tarkastelu tulisi laajentaa käsittämään laadulliset vaikutukset.

## Alkusanat

Tämä julkaisu on tutkimushankkeen ”Asuntosprinklaus Suomessa – vaikuttavuuden arviointi” toisen vaiheen loppuraportti.

Tutkimusta ovat rahoittaneet Palosuojelurahasto, sisäasiainministeriö, VTT, Firecon Group Oy, Uponor Suomi Oy, Provacuum Oy, Softonex Oy Ltd, Marioff Corporation Oy, YH Länsi Oy, Suomen sprinkleriliikkeiden yhdistys ja Sprinkleritekninen yhdistys. Lisäksi asiantuntijapanoksellaan ovat olleet mukana Pelastusopisto sekä Tampereen aluepelastuslaitos. Nämä tahot ovat myös osallistuneet projektin johtoryhmän työskentelyyn. Kiitämme johtoryhmää tuesta ja kannustuksesta projektin läpiviemiseksi sekä ideoista ja ehdotuksista hankekokonaisuuden eteenpäin viemiseksi.

Espoossa maaliskuussa 2010

Tekijät



# Sisällysluettelo

Tiivistelmä .....	3
Alkusanat .....	5
Osa A: Sammutusjärjestelmien suorituskyky asuntopaloissa. Laboratoriokokeet tammikuussa 2009 .....	9
1. Johdanto.....	11
2. Koejärjestelyt.....	13
2.1 Koetilan geometria ja rakenteet .....	13
2.2 Palokuormat ja paloskenaariot.....	14
2.2.1 Paloskenaarioiden valinta.....	14
2.2.2 Nurkka.....	15
2.2.3 Sohva.....	17
2.2.4 Keittiö.....	18
2.3 Materiaalit .....	19
2.4 Mittaukset ja havainnointi.....	21
2.4.1 Lämpötilat .....	21
2.4.2 Kaasukoostumukset ja FED-arvot .....	24
2.4.3 Näkyvyys.....	26
2.4.4 Sammutusveden paine ja virtaama .....	27
2.4.5 Videointi .....	27
2.5 Sammutusjärjestelmät .....	28
2.5.1 Yleistä .....	28
2.5.2 Seinään asennettava asuntosprinkleri (F1) .....	29
2.5.3 Matalapaineinen vesisumujärjestelmä (F2) .....	29
2.5.4 Korkeapaineiset vesisumujärjestelmät .....	30
2.5.5 Liikuteltava sammutusjärjestelmä (Q1).....	31
2.5.6 Kattoon asennettavat asuntosprinklerit.....	32
2.6 Kokeiden suoritus .....	34
3. Tulokset.....	35
3.1 Tulosten esitystapa .....	35
3.2 Lämpötilat .....	36
3.2.1 Nurkkapalokoe .....	36
3.2.2 Keittiöpalokoe .....	36
3.2.3 Sohvapalokoe .....	37
3.3 Kaasupitoisuudet .....	38
3.4 Kaasupitoisuuksista lasketut FED-arvot .....	38
3.4.1 Nurkkapalokokeet .....	38
3.4.2 Keittiöpalokokeet.....	39
3.4.3 Sohvapalokokeet .....	40
3.5 Näkyvyys.....	40

3.5.1	Nurkkapalokokeet .....	41
3.5.2	Keittiöpalokokeet.....	41
3.6	Paineet ja virtaamat .....	42
3.7	Taulukoidut tulokset.....	44
4.	Tulosten arviointi .....	50
4.1	Koemenetelmä.....	50
4.2	Sammutusjärjestelmien suorituskyky.....	52
4.3	Asennuskriteerit .....	58
5.	Johtopäätökset .....	60
	Lähdeluettelo.....	62
	Liite A: Polttokokeissa mitatut lämpötilat.....	63
	Liite B: Polttokokeiden kaasupitoisuudet .....	69
	Liite C: CO-kertymäarvot.....	81
	Liite D: Polttokokeiden FED-arvot.....	83
	Liite E: Näkyvyys ja vaimennuskerroin .....	87
	Liite F: Valokuvia polttokokeista ennen sammutusjärjestelmän aktivoitumista .....	89

Osa B: Asuntosprinklauksen kustannus-hyötyanalyysi. Esimerkinä pientalo.....	95
6. Johdanto.....	97
7. Kustannus-hyötylaskennan periaatteelliset lähtökohdat .....	99
7.1 Mittapuun valinta: raha ratkaisee .....	99
7.2 Kertakustannukset ja toistuvat kustannukset.....	100
7.3 Varmat kustannukset ja epävarmat kustannukset .....	100
7.4 Tulevaisuuden arvottaminen ja diskonttaus.....	100
7.5 Maksajan näkökulma: yksittäinen ihminen vai yhteiskunta?.....	102
7.6 Tarkastelun laajuus: yksi asunto vai kaikki rakennukset? .....	103
8. Aiempien kustannus-hyötylaskelmien vertailu .....	104
8.1 Tarkasteltavat laskelmat .....	104
8.2 Vertailukelpoisuuden saavuttaminen .....	105
8.2.1 Ajalliset erot .....	105
8.2.2 Paikalliset erot.....	106
8.2.3 Menetelmälliset erot.....	107
8.3 Laskelmissa tarkastellut kustannukset ja hyödyt .....	107
8.3.1 Yhteenveto.....	108
8.3.2 Sammutusjärjestelmän ja vesilähteen suunnittelu, hankinta ja asennus.....	110
8.3.3 Sammutusjärjestelmän tarkastukset ja huollot .....	112
8.3.4 Palokuolemat sprinklaamattomissa rakennuksissa .....	113
8.3.5 Palokuolemien vähentyminen sprinklauksen seurauksena .....	116
8.3.6 Loukkaantumiset sprinklaamattomissa rakennuksissa.....	117
8.3.7 Loukkaantumisten vähentyminen sprinklauksen seurauksena.....	118
8.3.8 Omaisuusvahingot sprinklaamattomissa rakennuksissa .....	118
8.3.9 Omaisuusvahinkojen vähentyminen sprinklauksen seurauksena .....	120
8.3.10 Palovakuutuksen hallinnointikulut ja sprinklauksen tuoma säästöpotentiaali.....	120
8.3.11 Palokuntien kustannukset ja sprinklauksen tuoma säästöpotentiaali .....	121
8.4 Aiempien kustannus-hyötyanalyysien tulokset .....	121
9. Asuntosprinklauksen kannattavuus Suomessa.....	123
9.1 Laskelman 1 lähtöarvot.....	123
9.2 Laskelman 2 lähtöarvot.....	129
10. Johtopäätökset .....	131
Lähdeluettelo.....	133

**Osa A:**  
**Sammutusjärjestelmien suoritus-**  
**kyky asuntopaloissa.**  
**Laboratoriokokeet tammikuussa 2009**

# 1. Johdanto

VTT:sä on vuodesta 2006 lähtien ollut meneillään asuntosprinklausta käsittelevä hankekokonaisuus, jonka tavoitteena on arvioida, voidaanko palokuolemien ja loukkaantumisten määrää Suomessa vähentää merkittävästi asuntosprinklauksella, selvittää mitkä ovat sprinklauksen kustannukset ja toisaalta vaikutus tulipaloista aiheutuviin omaisuusvahinkoihin, sekä arvioida ovatko nyt käytetyt mitoitusperusteet kokemusten valossa oikeita vai pitäisikö niitä mahdollisesti muuttaa.

Hankkeen ensimmäisessä osassa (Rinne et al. 2008) pyrittiin keräämään tilastotietoja Suomen tulipalotapauksista asuinrakennuksissa, joissa oli sprinklerilaitteisto. Osoittautui, että tällaista tietoa on saatavana hyvin rajatusti, jolloin lähdettiin pohtimaan muita mahdollisia keinoja asuntosprinklauksen vaikuttavuuden mittaamiseksi. Esille nousi tällöin mahdollisuus käyttää hyväksi palon-simuloinnin työkaluja. Näiden työkalujen validointi kuitenkin edellyttää julkisesti saatavilla olevaa dataa sprinklerijärjestelmien toiminnasta henkilöturvallisuus-sovelluksissa.

Julkisesti saatavilla olevan koedatan luomiseksi päätettiin hankkeen toisessa osassa toteuttaa mittava koesarja, jossa todennettaisiin paitsi tavanomaisten asuntosprinklerien suorituskyky, myös uudempaan sammutuslaitetekniikkaan, erityisesti vesisumuun, perustuvien järjestelmien suorituskyky henkilöturvallisuussovelluksissa. Suomessa yleisesti käytetty sprinklerilaitteistojen suunnitteluohje CEA4001 määrittelee liitteessä O tällaisiksi sovelluksiksi

- asuinrakennukset (erillistalot, pientalot, rivitalot, kerrostalot, vapaa-ajan asunnot)
- erityisryhmien asuinrakennukset (erityisasunnot, palveluasunnot, senioriasunnot, hoitokodit)
- pienet majoitustilat, paikkaluku enintään 50
- pienet hoitolaitokset, paikkaluku enintään 25.

## 1. Johdanto

Suunnitteluohje ei lue henkilöturvallisuussovelluksiksi hotelleita, vankiloita eikä sairaaloita.

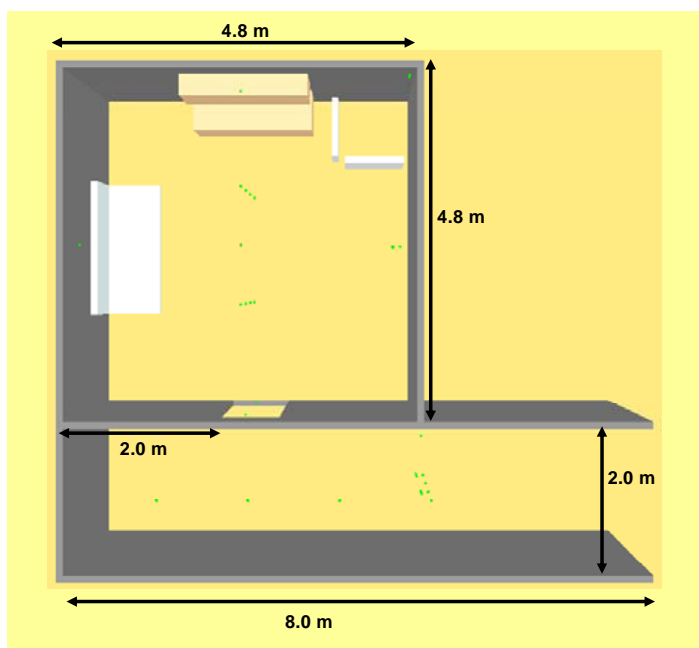
Tavanomaisten asuntosprinklerien sammutusteho testataan tavallisimmin standardin UL1626 sisältämän palokokeen mukaan, jossa paloskenaariona on pehmustettujen huonekalujen muodostaman ryhmän syttyminen huoneen nurkassa. Tämä johtaa nopeasti pystysuunnassa leviävään paloon, jonka tehokkaaksi hallitsemiseksi asuntosprinklerin on kyettävä kastelemaan huoneen seiniä riittävän tehokkaasti aina 0,7 m päähän katon rajasta. Palokokeesta on muunnelma vesi-sumujärjestelmille standardissa UL2167.

Tässä julkaisussa kuvattu koejärjestely pohjautuu kuitenkin Norjassa vuonna 2006 julkaistuun asuntosprinklausjärjestelmiä koskevaan tutkimusraporttiin (Drangsholt & Rossebø 2006). Raportissa kuvataan kokeita, joissa käytettiin kolmea erilaista paloskenariota. Näistä yksi oli menetelmän UL 1626 sisältämää palotestiä mukaileva nurkkapaloskenario, yksi oli laivojen asuintiloihin tarkoitettujen sammutusjärjestelmien testauksessa (menetelmä IMO MSC RES.265(84)) käytettävää sohvapaloa mukaileva paloskenario ja yksi oli norjalaisten itsensä kehittämä keittiöpaloskenario. Norjalaisten tekemien kokeiden pohjalta on sittemmin kehitetty ehdotus helposti asennettavien sammutusjärjestelmien hyväksymiskoestandardiksi (DSB & Räddningsverket 2007). Useamman kuin yhden paloskenaarion käyttäminen VTT:n koesarjassa katsottiin tutkimuksellisista syistä perustelluksi. Lisäksi haluttiin arvioida menetelmän sisältämää vaatimusta koetilassa mitatuille kaasupitoisuuksille (erityisesti hiilimonoksidi).

## 2. Koejärjestelyt

### 2.1 Koetilan geometria ja rakenteet

Kokeita varten VTT:n sammutushalliin rakennettiin kipsilevyrakenteinen koetila. Kaaviokuva koetilasta on esitetty kuvassa 1. Kokeet suoritettiin huoneessa (4,8 m × 4,8 m), josta johti oviaukko (0,9 m × 2,1 m) käytävätilaan (leveys 2,0 m, pituus 8,0 m). Kuten kuvasta 1 nähdään, käytävän vasen pää oli suljettu ja oikea pää avoin. Koetilan korkeus oli 2,5 m. Koehuoneen katto oli villoitettu ja käytävän katto oli peltiä.



Kuva 1. Kaaviokuva koetilasta.

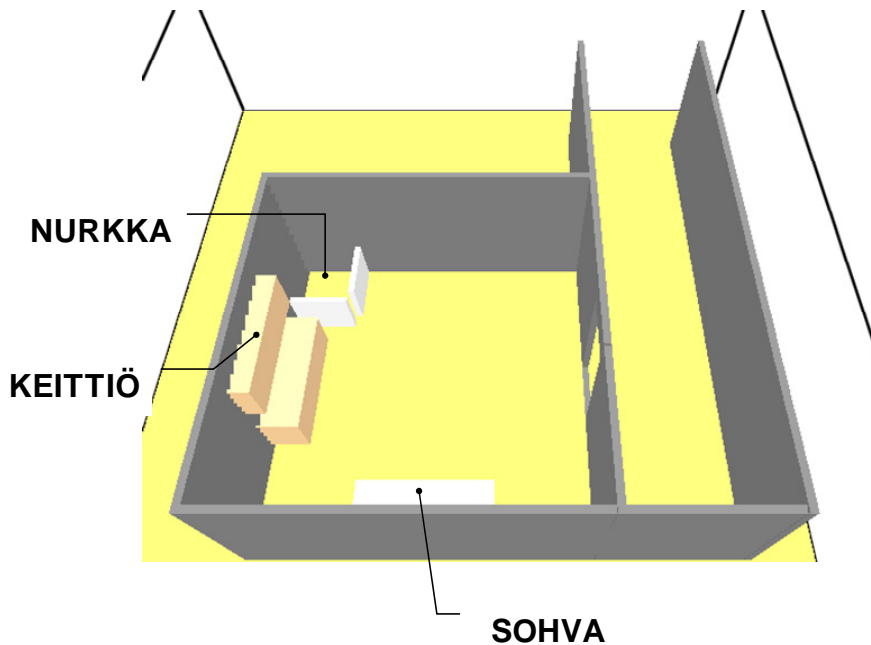
### 2.2 Palokuormat ja paloskenaariot

#### 2.2.1 Paloskenaarioiden valinta

Norjassa on vuonna 2006 julkaistu asuntosprinklausjärjestelmiä koskeva tutkimusraportti (Drangsholt & Rossebø 2006). Raportissa kuvataan kokeita, joissa käytettiin kolmea erilaista paloskenaariota. Näistä yksi oli menetelmän UL 1626 sisältämää palotestiä mukaileva nurkkapaloskenaario, yksi oli laivojen asuintiloihin tarkoitettujen sammutusjärjestelmien testauksessa (menetelmä IMO MSC RES.265(84)) käytettävää sohvapaloo mukaileva paloskenaario ja yksi oli norjalaisten itsensä kehittämä keittiöpaloskenaario. Sohvapalo on varsin läheistä sukua nurkkapalolle, erona on lähinnä se, että sohvapalossa sammutusvesi pääsee esteettä jäähdyttämään paloa. Keittiöpaloo haluttiin kehittää esimerkiksi hitaasti kehittyvästä palosta, joka alkuvaiheessaan tuottaa runsaasti savua mutta vain rajoitetusti lämpöä. Palo syttyy ruokaöljystä, joka jätetään liedelle kuumentumaan, ja leviää sitten lieden yläpuolella olevaan puiseen keittiökaapistoon. Myös keittiöpalossa palokohde on osittain katveessa ja siten hankala sammutettava; merkittävä osa palamisesta tapahtuu keittiökaapiston sisällä. Norjalaisten tekemien kokeiden pohjalta on sittemmin kehitetty ehdotus helposti asennettavien sammutusjärjestelmien hyväksymiskoestandardiksi (DSB & Räddningsverket 2007).

Tässä tehdyissä kokeissa mukailtiin norjalaisten raportissa kuvattuja koejärjestelyjä. Joitakin muutoksia tehtiin esim. materiaalivalintojen osalta. Tärkein muutos koski koetilan kattoa, jota ei pinnoitettu palavalla materiaalilla. Lisäksi haluttiin tarkastella palon syttymismahdollisuuksia sekä syntyviä olosuhteita syttymishuoneen ulkopuolella, joten koetilan oviaukon eteen rakennettiin käytävätila. Kokeissa käytettyjen palokuormien sijoittelu näkyy kuvassa 2.





Kuva 2. Kokeissa palokuormina käytetty nurkka, sohva ja keittiökaapisto sijoitettuna kaaviokuvaan.

### 2.2.2 Nurkka

#### Palokuorman sijoittelu

Nurkkakoe vastaa standardin UL 1626 mukaista koetta, jossa paloskenaariona on pehmustettujen huonekalujen muodostaman ryhmän syttyminen huoneen nurkassa. Pehmustettuja huonekaluja jäljitellään kokeessa asetelmalla, joka koostuu heptaanilla täytetystä altaasta, puutapulista sekä kahdesta vaahtomuovilevystä. Lisäksi huoneen seinät on päällystetty vanerilla 1,2 m etäisyydelle nurkasta (kuva 3). Asetelma tarjoaa mahdollisuuden jäljitellä esim. sohvaa ja nojatuolin muodostaman ryhmän palamista hallitusti ja helposti toistettavissa olevalla tavalla.

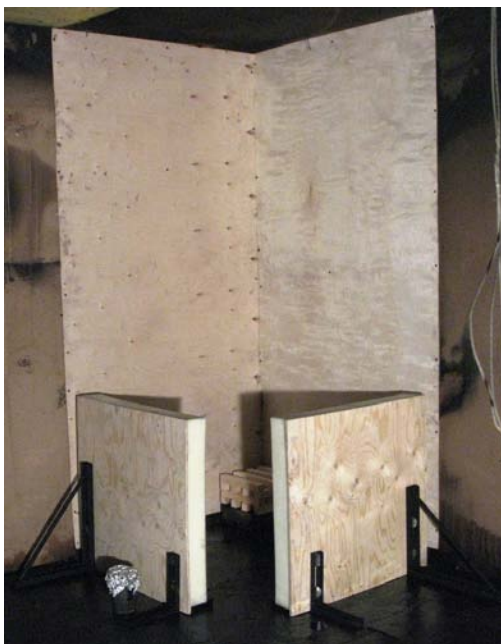
Palokuorma sijoitettiin koehuoneen ovelta katsottuna oikeaan nurkkaan. Aivan huoneen nurkkaan sijoitettiin heptaaniallas ( $300 \times 300 \times 100$  mm), 50 mm:n etäisyydelle molemmista seinistä. Ennen koetta altaaseen kaadettiin 0,25 l heptaania sekä 0,5 l vettä. Heptaanialtaan päälle asetettiin puutapuli, joka koostui neljästä kerroksesta  $40 \times 40$  mm:n kuusipuuta (pituus 305 mm). Puut kuivattiin uunissa ennen kokeita kosteusprosentin tasaamiseksi. Vaahtomuovilevyt valmistettiin

## 2. Koejärjestelyt

liimaamalla 12 mm paksuun vanerilevyyn (leveys 840 mm, korkeus 790 mm) 100 mm paksu vaahtomuovikappale (leveys 810 mm, korkeus 760 mm). Vaahtomuovin reunan etäisyys vanerin reunasta oli 30 mm alareunassa ja 15 mm muissa reunoissa. Vaahtomuovilevyt asetettiin kuvan 3 mukaisesti heptaanieltaan molemmille puolille 1 000 mm:n etäisyydelle nurkkaseinistä. Molempien vaahtomuovilevyjen etureunojen alle sijoitettiin heptaaniin kastetut puuvillalangat (pituus 150 mm). Huoneen seinät päällystettiin 4 mm paksulla vanerilla 1 200 mm:n etäisyydelle nurkasta. Huoneen katto oli villoitettu.

### Sytytys

Koe aloitettiin sytyttämällä vaahtomuovilevyjen etureunojen alle sijoitetut heptaaniin kastetut puuvillalangat sekä heptaaniallas. Nurkkapalo on tyypillisesti varsin raju. Lämmönkehitys on voimakasta ja jos sammutukseen ei ryhdytä, palo kasvaa nopeasti pystysuunnassa pitkin seinien vanerilevyjä ja päättyy lieskahdukseen muutamassa minuutissa. Nurkkapalo on myös sammutuksen kannalta hankala, sillä palokuormana olevat vaahtomuovilevyt ovat sammutuksen kannalta katveessa; sammutusveden jäädyttävä vaikutus tulee pakostakin olemaan epäsuora.



Kuva 3. Palokuorman sijoittelu nurkkakokeessa.

### 2.2.3 Sohva

Kokeessa käytetty sohva on sama kuin menetelmässä IMO MSC RES.265(84). Sohva sijoitettiin koehuoneen ovelta katsottuna vasemmalle siten, että sohvan keskikohta oli seinän keskikohdassa (kuva 4). Sohvan yläreunan etäisyys seinästä oli 25 mm. Sohva oli metallirunkoinen, sen istuinosa oli kooltaan  $700 \times 2\,000$  mm ja selkänojaosa  $725 \times 2\,500$  mm. Metallirungon päälle asetettiin kaksi puuvillapäälysteistä patjaa, joita ei kiinnitetty toisiinsa tai sohvarunkoon. Sohvan takana olevaan seinään kiinnitettiin  $2 \times 1\,200$  mm vanerilevyä (paksuus 4 mm).



Kuva 4. Palokuorman sijoittelu sohvakokeessa.

### Sytytys

Leveyssuunnassa keskelle sohvaa (selkänojan ja istuintyynyn kulmaan) asetettiin huokoisista kuitulevyistä kasattu pino (mitat  $6\text{ cm} \times 6\text{ cm} \times 7,5\text{ cm}$ ), joka kasteltiin heptaanilla. Koe käynnistettiin sytyttämällä kuitulevyypino palamaan.

## 2. Koejärjestelyt

### 2.2.4 Keittiö

#### Palokuorma

Keittiön palokuormana käytettiin vanerista rakennettua keittiökaapistoa. Kaapisto asennettiin koehuoneen ovelta katsottuna keskelle huoneen takaseinää (kuva 5). Kaappien rungot olivat 12 mm:n ja takalevyt 4 mm:n vaneria. Kaapisto koostui kolmesta alakaapista ( $600 \times 600 \times 700$  mm) ja kolmesta yläkaapista ( $600 \times 300 \times 700$  mm). Alakaapit asetettiin 200 mm korkean puusta rakennetun sokkelin päälle. Ala- ja yläkaappien välinen etäisyys oli 500 mm. Välitilan takaseinään kiinnitettiin 4 mm:n vaneri. Keskimmäisen alakaapin päälle ja etureunaan taitettiin n. 600 mm:n levyinen pelti kuvan 5 mukaisesti. Kaappien ovet olivat 12 mm:n vaneria ja keskimmäistä yläkaappia lukuun ottamatta kaappien ovet olivat kiinni. Keskimmäinen yläkaappi poikkesi muista yläkaapeista siten, että sen alapuoli oli etureunastaan 150 mm auki eli kaapissa oli vain puolikas pohjalevy syvyyssuuntaan. Lisäksi kaapin ovi oli noin 20 mm raollaan.



Kuva 5. Palokuorman sijoittelu keittiökokeessa.

## Sytytys

Keittiön alakaapiston keskikohtaan sijoitettiin tiilien päälle paistinpannu (hal-kaisija n. 25 cm, syvyys n. 55 mm), johon kaadettiin 0,5 l rypsiöljyä. Pannun yläreunan etäisyys yläkaapin alareunasta oli n. 300 mm. Rypsiöljyä kuumennettiin pannun alle sijoitetulla kaasupolttimella. Poltin sijoitettiin alakaapin sisälle siten, että polttimen yläreuna sijaitsi alakaapin kannen tasolla, pannun keskikohdassa.

Palo sytytettiin kuumentamalla öljy syttymispisteeseen. Poltin poistettiin n. 1 min öljyn syttymisen jälkeen ja palon annettiin levitä vapaasti yläkaappeihin.

## 2.3 Materiaalit

### Vaahtomuovipatjat

Kokeissa käytetty palotestipatja oli palosuojaamatonta puuvillakankaalla päällystettyä polyuretaanivaahtoa. Patjat toimitti Carpenter Sweden AB, ja ne olivat laatua RP35135. Menetelmä IMO MSC RES.265(84) asettaa puuvillakankaalle ainoastaan vaatimuksen pinta-alamassasta, jonka tulee olla välillä 140–180 g/m<sup>2</sup>. Polyuretaanivaahdolle menetelmä sen sijaan asettaa useampia vaatimuksia. Näiden täyttymistä tutkittiin ottamalla kokeissa käytetystä patjaerästä kolme näytettä ja suorittamalla näille standardin ISO 5660-1 mukaiset kartiokalorimetrikokeet säteilytasolla 35 kW/m<sup>2</sup>. Taulukkoon 1 kootuista tuloksista havaitaan, että syttymisaika, 3 minuutin lämmöntuoton keskiarvo sekä kokonaislämmöntuotto ovat menetelmän hyväksymisrajojen sisäpuolella, mutta tehollinen palamislämpö hieman alarajan alapuolella. Säteilytason nosto arvoon 50 kW/m<sup>2</sup> ei mainittavasti vaikuta tuloksiin.

## 2. Koejärjestelyt

Taulukko 1. Polyuretaanivaahdonäytteille suoritettujen kartiokalorimetrikokeiden tuloksia.

Säteilytaso 35 kW/m <sup>2</sup> :		Syttymis- aika	3 min lämmön- tuotto	Tehollinen lämpöarvo	Kokonais- lämmön- tuotto
		[s]	[kW/m <sup>2</sup> ]	[MJ/kg]	[MJ/m <sup>2</sup> ]
Tulos	Vaaho-35-1	4	241	23.6	44.1
	Vaaho-35-2	3	245	23.0	45.7
	Vaaho-35-3	4	244	22.7	45.1
	Keskiarvo:	4	243	23.1	45.0
Kriteeri	Minimi:	2	220	25	38
	Maksimi:	6	320	31	62
Säteilytaso 50 kW/m <sup>2</sup> :		Syttymis- aika	3 min lämmön- tuotto	Tehollinen lämpöarvo	Kokonais- lämmön- tuotto
		[s]	[kW/m <sup>2</sup> ]	[MJ/kg]	[MJ/m <sup>2</sup> ]
Tulokset	Vaaho-50-1	3	235	23.8	45.0
	Vaaho-50-2	4	235	22.6	41.7
	Vaaho-50-3	3	241	22.3	42.8
	Keskiarvo:	3	237	22.9	43.2

## Vanerit

Kokeissa käytetyt vanerit toimitti VTT:lle Puukeskus Oy. Näille on VTT:llä suoritettu menetelmän IMO Res.A.653(16) mukaiset liekinleviämiskokeet, joiden tulokset on esitetty taulukoissa 2 ja 3.

Taulukko 2. 4 mm:n koivuvanerille suoritettujen liekinleviämiskokeiden tuloksia. CFE = kriittinen lämpövuoto liekin sammussa.  $Q_{sb}$  = lämpöarvo jatkuvassa palamisessa.  $Q_t$  = kokonaislämmöntuotto.  $Q_p$  = palotehon huippuarvo.

	CFE kW/m <sup>2</sup>	$Q_{sb}$ MJ/m <sup>2</sup>	$Q_t$ MJ	$Q_p$ kW
Näyte 1	2.7	1.84	1.87	7.99
Näyte 2	2.7	1.88	1.74	7.98
Näyte 3	2.7	1.88	1.75	8.07
<b>Keskiarvo</b>	<b>2.7</b>	<b>1.87</b>	<b>1.79</b>	<b>8.01</b>

Syttymisajat tutkituille näytteille olivat 32 s, 35 s ja 35 s. Liekin leviämisaikat 350 mm etäisyydelle sytytyskohdasta olivat 81 s, 81 s ja 83 s.

Taulukko 3. 12 mm:n kuusivanerille suoritettujen liekinleviämiskokeiden tuloksia. CFE = kriittinen lämpövuoto liekin sammussa.  $Q_{sb}$  = lämpöarvo jatkuvassa palamisessa.  $Q_t$  = kokonaislämmöntuotto.  $Q_p$  = palotehon huippuarvo.

	<b>CFE</b> <b>kW/m<sup>2</sup></b>	<b>Q<sub>sb</sub></b> <b>MJ/m<sup>2</sup></b>	<b>Q<sub>t</sub></b> <b>MJ</b>	<b>Q<sub>p</sub></b> <b>kW</b>
Näyte 1	8.4	1.84	1.70	3.64
Näyte 2	5.5	1.88	1.56	3.29
Näyte 3	8.4	1.78	1.56	3.54
<b>Keskiarvo</b>	<b>7.4</b>	<b>1.83</b>	<b>1.61</b>	<b>3.49</b>

Syttymisajat tutkituille näytteille olivat 22 s, 25 s ja 28 s. Liekin leviämisaikat 350 mm:n etäisyydelle sytytyskohdasta olivat 83 s, 92 s ja 81 s.

## Heptaani

Kokeissa käytetty heptaani oli teollista liuotinta LIAV110, toimittajana Neste Oil Oyj.

## Kattovilla

Koehuoneen katto oli päällystetty 13 mm paksulla eristelevyllä (ISOVER VKL-13), joka on palo-ominaisuuksiltaan luokkaa A2-s1,d0 ja jonka lämmönjohtavuus on 0,032 W/(m K).

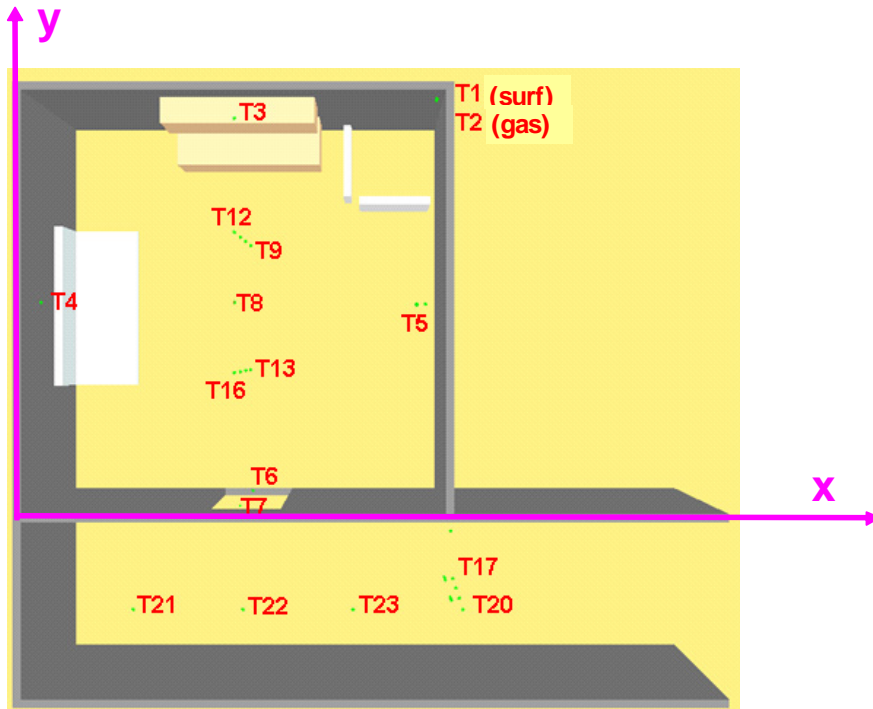
## 2.4 Mittaukset ja havainnointi

### 2.4.1 Lämpötilat

Koehuoneistossa oli yhteensä 23 lämpötilanmittauspistettä. Mittauspisteiden sijainnit on esitetty kuvassa 6 ja taulukossa 4. Kahdeksan mittauspistettä oli norjalaisen koeraportin (Drangsholt & Rossebø 2006) ja ehdotetun hyväksymiskoestandardin (DSB & Räddningsverket 2007) mukaisesti sijoitettu kahteen koehuoneen sisällä sijaitsevaan termoelementtipuuhun (TE9-TE12 ja TE13-TE16)

## 2. Koejärjestelyt

neljälle eri korkeudelle (0,6 m, 1,2 m, 1,8 m ja 2,4 m). Termoelementtipuiden lisäksi mittauspisteitä sijoitettiin palokuormien yläpuolelle (T1-T4) sekä kaasuja oviaukkovirtausmittausyhteyteen (T5-T7). Suuttimen läheisyydessä sijainnut lämpötilanmittauspiste (TE8) liikkui huoneessa sen mukaan, mihin suutin kussakin kokeessa oli asennettu. Tämän lisäksi myös käytävätilaan sijoitettiin yksi termoelementtipuu (T17-T20) sekä mittauspisteet lähelle kattoa (T21-T23).



Kuva 6. Lämpötilojen mittauspisteet.



Taulukko 4. Lämpötilamittauspisteiden sijainti kuvassa 6.

	<b>Sijainti (x,y) [m, m]</b>	<b>Korkeus [m]</b>	<b>Kuvaus mittauspisteen paikasta</b>
T1	4.7, 4.7	2.5	Mittauspiste kattovillan sisällä.
T2	4.7, 4.7	2.4	Nurkan yläpuolella.
T3	2.4, 4.5	2.4	Keittiökaapiston yläpuolella.
T4	0.2, 2.4	2.4	Sohvan yläpuolella.
T5	4.6, 2.4	1.8	Kaasumittauspisteen lämpötilä.
T6	2.4, 0.0	0.3	Oviaukkovirtausmittauspisteen lämpötilä.
T7	2.4, 0.0	1.8	Oviaukkovirtausmittauspisteen lämpötilä.
T8	liikkuva	liikkuva	Lämpötilä suuttimen kohdalla.
T9	2.4, 3.2	0.6	TE-puu huoneen sisällä.
T10	2.4, 3.2	1.2	
T11	2.4, 3.2	1.8	
T12	2.4, 3.2	2.4	
T13	2.4, 1.6	0.6	TE-puu huoneen sisällä.
T14	2.4, 1.6	1.2	
T15	2.4, 1.6	1.8	
T16	2.4, 1.6	2.4	
T17	5.0, -1.0	0.6	TE-puu käytävässä.
T18	5.0, -1.0	1.2	
T19	5.0, -1.0	1.8	
T20	5.0, -1.0	2.4	
T21	1.0, -1.0	2.4	Käytävän päätyosassa.
T22	2.4, -1.0	2.4	Oviaukon edessä.
T23	3.6, -1.0	2.4	TE-puun ja oven välissä.

## 2. Koejärjestelyt

### 2.4.2 Kaasukoostumukset ja FED-arvot

#### Mittauskohdat ja mittauslaitteet

Lämpötilamittausten lisäksi sekä koehuoneesta että käytävältä mitattiin kaasupitoisuuksia palon aikana. Kaasunäytteet otettiin mittauspisteestä T5 (kuva 6 ja taulukko 4) korkeuksilta 0,6 m sekä 1,8 m sekä käytävästä, termoelementtipuun T17-T20 kohdalta korkeudelta 1,8 m (taulukko 5). Näytteenottoputket tuotiin koetilaan ja käytävään seinän läpi siten, että ne olivat n. 20 cm:n etäisyydellä seinästä. Kaikista pisteistä mitattiin happi-, hiilidioksidi- ja hiilimonoksidi-pitoisuudet, minkä lisäksi käytävästä ja koehuoneesta alemmalta tasolta ( $h = 0,6$  m) mitattiin myös syaanivetyypitoisuus.

Koehuoneesta 1,8 m:n korkeudelta tehdyissä mittauksissa analysaattorin mittausalueen yläraja oli 5 000 ppm. Käytävältä ja koehuoneesta 0,6 m:n korkeudelta tehdyissä mittauksissa analysaattorin mittausalueen yläraja oli 10 000 ppm. Syaanivetyypitoisuuden mittauksessa analysaattorin mittausalueen yläraja oli 50 ppm.

Taulukko 5. Kaasumittauspisteiden sijainti.

Sijainti (x,y) [m, m]	Korkeus [m]	Kuvaus mittauspisteen paikasta
4,6, 2,4	0,6	Koehuoneen alempi kaasumittauspiste.
4,6, 2,4	1,8	Koehuoneen ylempi kaasumittauspiste.
5,0, 0,2	1,8	Käytävän kaasumittauspiste.

#### Mittaustulosten käyttö FED-arvojen laskentaan

Tulipaloissa vapautuvista myrkyllisistä aineista osa on tukahduttavia ja osa ärsyttäviä aineita. Paloissa syntyviä kaasumaisia tukahduttavia myrkyllisiä aineita ovat mm. hiilimonoksidi ja syaanivety. Tukahduttavien myrkyllisten kaasumaisien palamistuotteiden vaikutusta ihmiseen voidaan arvioida esim. FED-mallilla (*fractional effective dose*), jossa määritetään erikseen kunkin tukahduttavan kaasuyhdisteen vaikuttava annossuhde (FED-arvo) tarkasteluajankohtana.

FED-malli yksinkertaisimmassa muodossaan esitetään seuraavasti (ISO 13571:2007):

$$FED - arvo = \sum_{i=1}^n \sum_{t_1}^{t_2} \frac{C_i}{(C \cdot t)_i} \Delta t, \quad (1)$$

missä  $C_i$  = tukahduttavan kaasun  $i$  keskimääräinen pitoisuus valitulla aikavälillä [  $\mu\text{l/l}$ ] (tai [ppm]),  $\Delta t$  = valittu aikaväli [min],  $(C \cdot t)_i$  = kaasulle  $i$  ominainen lamaantumista aiheuttava altistus [  $\mu\text{l/l} \cdot \text{min}$ ] (tai [ppm-min]).

Laajennetussa muodossa FED-arvon lauseke (2)  $\text{CO}_2$ -, CO- ja HCN-yhdisteille voidaan kirjoittaa seuraavasti (ISO 13571:2007):

$$FED = \left[ \sum_{t_1}^{t_2} \frac{\varphi_{\text{CO}}}{35000} \Delta t + \sum_{t_1}^{t_2} \frac{\exp(\varphi_{\text{HCN}} / 43)}{220} \Delta t \right] \cdot v_{\text{CO}_2}, \quad (2)$$

missä  $\varphi_{\text{CO}}$  [ppm] ja  $\varphi_{\text{HCN}}$  [ppm] ovat hiilidimonoksidin ja syaanivedyn keskimääräiset pitoisuudet aikavälillä  $\Delta t$  [min]. Hiilidioksidin hengitystä kiihdyttävä vaikutus otetaan huomioon tekijällä  $v_{\text{CO}_2}$ , joka voidaan esittää yhtälön (3) avulla,

$$v_{\text{CO}_2} = \begin{cases} 1, & \text{kun } \varphi_{\text{CO}_2} \leq 2 \% \\ \exp\left(\frac{\varphi_{\text{CO}_2}}{5}\right), & \text{kun } \varphi_{\text{CO}_2} > 2 \% \end{cases}, \quad (3)$$

missä  $\varphi_{\text{CO}_2}$  [%] on hiilidioksidin pitoisuus. Happipitoisuuden alenema otetaan huomioon FED-arvossa vasta, kun happipitoisuus on alle 13 %.

Eri kaasuyhdisteiden samana ajankohtana määritettyjen FED-arvojen summaa verrataan annettuun kokonais-FED-raja-arvoon. Mikäli yhteenlaskettu FED-arvo on suurempi kuin FED-raja-arvo, ei kaasuille altistuneiden henkilöiden poistumista voida enää pitää turvallisena (Weckman 2004).

Asetettaessa kriteerejä henkilöturvallisuuden ja henkilöiden poistumisedellytysten suhteen on otettava huomioon, että eri ihmisten reaktiot tietyille kertyneelle FED-arvolle ovat tilastollisesti jakautuneita. Tällä hetkellä tämän jakauman muoto ei ole yksiselitteisesti tunnettu. Standardin ISO 13571:2007 mukaisesti jakauma oletetaan lognormaaliksi mediaaniarvolla 1,0, joka kuvaa tasoa, jolla puolet altistuneista henkilöistä kärsii poistumista haittaavista vaikutuksista. Toinen esitetty FED raja-arvo on 0,3, jonka on arvioitu vastaavan tilannetta, jossa 11,4 % altistuneista henkilöistä kärsii poistumista haittaavista vaikutuksista. Standardin ISO 13571:2007 mukaan ei ole olemassa tasoa, joka olisi tilastollisesti arvioituna turvallinen kaikille altistuneille henkilöille.

## 2. Koejärjestelyt

### 2.4.3 Näkyvyys

Näkyvyyden määrittämiseen käytettiin savun tiheyden mittaamiseen tarkoitettua MIREX V3.2 -laitetta (kuva 7). Mittari mittaa valon vaimenemista 2 m:n matkalla (infrapuna-aallonpituudella 800–950 nm).

Näkyvyys  $V$  [m] määritetään kaavasta

$$V = \frac{c}{k}, \quad (4)$$

missä  $k$  = vaimennuskerroin [1/m] ja  $c$  = vakio, joka saa arvon 8 valoa lähettävälle objektille ja arvon 3 valoa heijastavalle objektille.

Vaimennuskerroin  $k$  [1/m] saadaan kaavasta

$$k = \frac{1}{d} \ln \frac{I_0}{I_s}, \quad (5)$$

missä  $d$  = etäisyys valon lähettimen ja vastaanottimen välillä [m],  $I_0$  = valon intensiteetti normaalitilanteessa [cd] ja  $I_s$  = valon intensiteetti savussa [cd].

Valonläpäisevyys  $T$  on valon intensiteettien  $I_0$  ja  $I_s$  suhde

$$T = \frac{I_s}{I_0}, \quad (6)$$

Savun tiheysmittarin tuottama mittausjännite on verrannollinen valonläpäisevyyteen  $T$ , jota käyttäen näkyvyys määritettiin kaavoista (4)–(5).



Kuva 7. Savuntiheysmittari MIREX V3.2.

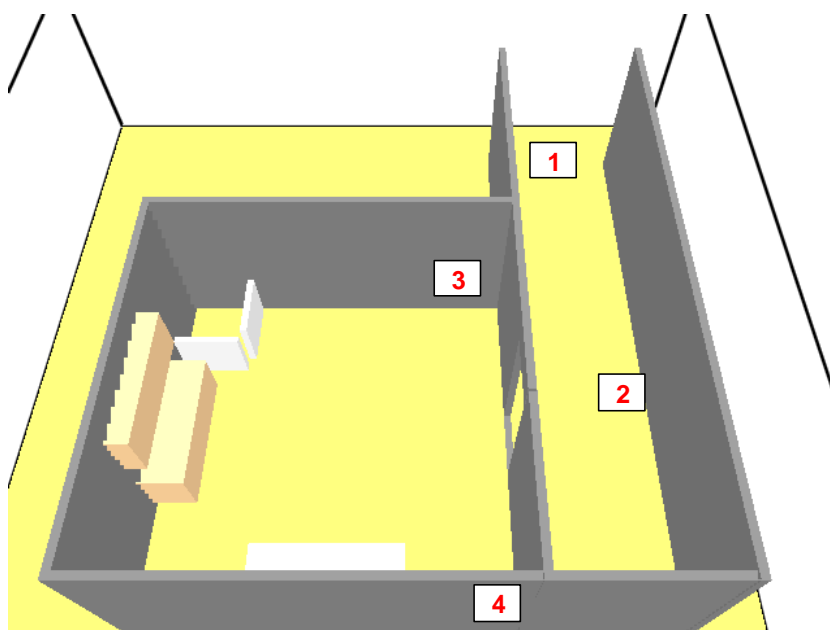
### 2.4.4 Sammutusveden paine ja virtaama

Sammutusveden paine mitattiin käyttäen kapasitiivista paineanturia, joka asennettiin vesilinjaan mahdollisimman lähelle sammutussuutinta, välittömästi palotilan ulkopuolelle. Painehäviötä anturin ja suuttimen välillä voidaan tällöin pitää merkityksettömänä. Painetta ei kuitenkaan mitattu Q-fog-järjestelmän tapauksessa, koska anturin asentaminen järjestelmään ei ollut mahdollista. Järjestelmän suutinpaineena tässä raportissa käytetään valmistajan ilmoittamaa arvoa 125 bar.

Sammutusveden virtaama mitattiin käyttäen induktiivista virtausmittaria. Korkeapaineisten vesisumujärjestelmien tapauksessa virtausmittari kytkettiin pumpun imupuolelle, matalapaineisen vesisumujärjestelmän tapauksessa painepuolelle. Virtaamaa ei mitattu säiliöllisen Q-fog-järjestelmän tapauksessa. Keskimääräinen virtaama saadaan kuitenkin säiliön tilavuuden ja purkausajan avulla.

### 2.4.5 Videointi

Kaikkien kokeiden aikana videoitiin tapahtumia sekä koehuoneessa että koehuoneen ulkopuolisessa käytävässä. Nurkkakokeessa kamerat sijoitettiin pisteisiin 1, 2 ja 4, keittiökokeessa pisteisiin 1, 2 ja 3 sekä sohvakokeessa pisteisiin 1 ja 3 (kuva 8).



Kuva 8. Videokameroiden sijainnit kokeiden aikana.



### 2.5.2 Seinään asennettava asuntosprinkleri (F1)

Firecon Group Oy toimitti kokeisiin tavanomaiseen seinään asennettavaan asunto-sprinkleriin perustuvan järjestelmän (järjestelmä F1).

Järjestelmän F1 suuttimena oli Tyco Fire&Building Productsin valmistama LFII-suutin (tuotenumero TY1334). Suutin on testattu menetelmän UL1626 mukaisesti siten, että suojausalan ollessa suurempi kuin  $4,3 \text{ m} \times 4,3 \text{ m}$  ( $18,5 \text{ m}^2$ ) mutta pienempi kuin  $4,9 \text{ m} \times 4,9 \text{ m}$  ( $24 \text{ m}^2$ ) ja hajottajalevyn yläosan ja katon välisen etäisyyden ollessa 100–150 mm vesivuon tulee olla vähintään  $2,6 \text{ l/min/m}^2$ . Suuttimen K-arvo on  $60,6 \text{ l/min/bar}^{1/2}$ , jolloin minimivesivuota vastaava suutinpaine on 1,0 bar, ja virtaama suutinta kohti  $60,6 \text{ l/min}$ .

Kokeissa suutin oli asennettu oviaukon keskikohdan yläpuolelle siten, että hajottajalevyn yläosan ja katon välinen etäisyys oli 105 mm. Vesi tuotiin kahden tuuman paloletkua myöten suoraan sammutushallin vesijohtoverkosta koetilan oven ulkopuolella sijainneeseen nousuputkeen. Virtaama ja paine säädettiin käsi-käyttöisellä säätöventtiilillä.

### 2.5.3 Matalapaineinen vesisumujärjestelmä (F2)

Firecon Group Oy toimitti kokeisiin tavanomaiseen seinään asennettavaan asunto-sprinkleriin perustuvan järjestelmän (järjestelmä F2). Järjestelmään sisältyi vesisumusuutin, putkisto sekä paineenkorotuspumppu.

Järjestelmän F2 suuttimena oli Minimax GmbH:n valmistama suutin, malliltaan MX3-P1/2'-K14-68 °C. Suuttimella on saksalaisen VdS:n myöntämä tyyppihyväksyntä LH- ja OH1-sprinkleriluokan kohteisiin (Approval no S4060013). Valmistajan ilmoittama K-arvo suuttimelle on  $13,5 \text{ l/min/bar}^{1/2}$ . Minimipaine suuttimella on 5 bar, jolloin minimivirtaama suutinta kohti on  $30,2 \text{ l/min}$ . Maksimisuutinväli on 5 m kattokorkeudella  $4,0 \text{ m}$  (suojausala  $16 \text{ m}^2$ ). Suutin on varustettu nopeatoimisella 3 mm:n lasiampullilla, joka laukeaa  $68 \text{ °C}$ :n lämpötilassa.

Kokeessa suutin asennettiin siten, että kohtisuora etäisyys kolmeen seinään oli 2 m ja kohtisuora etäisyys neljanteen seinään 2,8 m (ks. kuva 9). Tätä varten seinää, jolla sohvapalokuorma sijaitti, siirrettiin 0,8 m sisäänpäin. Näin saatiin aikaan tilanne, jossa kaikki kolme palokuormaa sijaitsivat suuttimen suojausalalla. Huoneen kokonaispinta-ala oli  $19,2 \text{ m}^2$ , ts. suurempi kuin yhden suuttimen suojausala VdS-hyväksynnässä. Todettakoon vielä, että koetilan korkeus 2,5 m oli puolet suuttimen maksimiasennuskorkeudesta.

## 2. Koejärjestelyt

Kokeissa järjestelmää ajettiin siten, että ennen sytytystä vesilinjaan ajettiin valmiustilan paine (standby-paine), joka oli sama kuin sammutushallin vesijohtoverkon paine (n. 4 bar). Suuttimen lasiampullin rikkoutuminen havaittiin silmämääräisesti, jonka jälkeen paineenkorotuspumppu käynnistettiin. Virtausmittari oli kytketty vesilinjaan painepuolelle, käsikäyttöisen säätö- ja ohivirtausventtiilin jälkeen.

### 2.5.4 Korkeapaineiset vesisumujärjestelmät

Provacuum Oy toimitti kokeisiin kaksi korkeapaineiseen vesisumuun perustuvaa järjestelmää, joista toinen (P1) käytti lasiampullilla varustettua sprinklerisuutinta ja toinen (P2) avosuutinta. Avosuutin oli käytännössä sprinklerisuutin, josta lasiampulli oli manuaalisesti poistettu.

#### P1

Järjestelmän P1 suuttimena oli Danfoss-Semco A/S:n valmistama suutin, malliltaan DH1:5-01-56-6-xx-57. Suutin on testattu standardiluonnokseen prEN14972 sisältyvän toimistokokeen mukaisesti, ja Tanskan kansallinen palolaboratorio DIFT on myöntänyt suuttimelle sertifikaatin OH1-sprinkleriluokkaan (Certificate no PC10127). Valmistajan ilmoittama K-arvo suuttimelle on  $2,745 \text{ l/min/bar}^{1/2}$ . OH1-asennuksissa minimipaine suuttimella on 100 bar, jolloin minimivirtaama suutinta kohti on  $27,5 \text{ l/min}$ . Maksimisuutinväli on 3 m:n kattokorkeudella  $5,5 \text{ m}$  (suojausala  $30 \text{ m}^2$ ) ja 6 m:n kattokorkeudella  $4,7 \text{ m}$  (suojausala  $22 \text{ m}^2$ ). Suutin on varustettu nopeatoimisella 2 mm:n lasiampullilla, joka laukeaa  $57 \text{ °C}$ :n lämpötilassa. Lasiampullien valmistaja JOB GmbH ilmoittaa F2-lasiampullin RTI-arvoksi  $19(\text{ms})^{1/2}$ . Sammutussuuttimen RTI-arvo on aina kuitenkin hieman korkeampi, koska ampullia ympäröivät rakenteet vaikuttavat kaasun virtaukseen ampullin kohdalla.

Tässä koesarjassa suutin asennettiin keskelle koetilan kattoa kattokorkeuden ollessa  $2,5 \text{ m}$  ja huonealan  $23 \text{ m}^2$ . Koetilan kattokorkeus huomioiden suutin asennettiin näin ollen suojaamaan pinta-alaa joka oli selkeästi alle maksimiarvon.

Kokeissa järjestelmää ajettiin siten, että ennen sytytystä vesilinjaan ajettiin valmiustilan paine (standby-paine), joka oli sama kuin sammutushallin vesijohtoverkon paine (n. 4 bar). Tämän jälkeen suuttimen ja paineenkorotuspumpun välinen painekeytkin asetettiin toimintavalmiuteen. Kun suuttimen lasiampulli rikkoutui, paine linjassa laski, jolloin painekeytkin välittömästi käynnisti pai-



neenkorotuspumpun. Pumpun yhteydessä ei ollut erillistä vesisäiliötä, joten imupuolelle asennettu virtausmittari näytti tosiaikaista sammutusveden virtaamaa kokeessa.

### P2

Järjestelmän P2 suuttimena oli Danfoss-Semco A/S:n DH1:5-01-56-6-xx-57, josta lasiampulli oli manuaalisesti poistettu. Tätä avosuutinversiota ei ole VTT:n tiedon mukaan testattu aiemmin millään menetelmällä. Avosuutinjärjestelmän tapauksessa suuttimen ja paineenkorotuspumpun (tai suurissa järjestelmissä suuttimien ja aluelaukaisuventtiilin) välillä ei ole painetta eikä virtaamaa, jota voisi käyttää järjestelmän laukaisussa hyväksi. Tavallisesti avosuutinjärjestelmä laukaistaan käyttäen paloilmaisimesta saatavaa signaalia.

Tässä koesarjassa laukausignaali saatiin paloilmaisimesta, joka oli asennettu koetilan kattoon 0,5 m:n päähän sammutussuuttimesta, nurkkapaloon nähden vastakkaiselle puolelle suutinta. Paloilmaisin oli Hochiki ACA-E -monikriteeri-ilmaisim, joka on testattu standardin EN54 osien 5 ja 7 mukaisesti. Monikriteeri-ilmaisim sisältää kaksi tai useampia erityyppiseen herätteeseen reagoivaa anturia. Hochiki ACA-E sisältää sekä infrapunavalon vaimenemista (ts. savuntiheyttä) mittaavan anturin että lämpötila-anturin. Ilmaisun kynnyсарvot oli asetettu siten, että valonvaimenemisen hälytysraja oli 3 %/m ja lämpötilan hälytysraja 40 °C. Paineenkorotuspumppu käynnistyi, kun molemmat raja-arvot oli ylitetty.

### 2.5.5 Liikuteltava sammutusjärjestelmä (Q1)

Lifetime Security Oy toimitti kokeisiin liikuteltavan Q-fog-sammutusjärjestelmän, josta tässä raportissa käytetään lyhennettä Q1. Järjestelmä on kokonaisuus, joka sisältää vesisäiliön (130 litraa), korkeapainepumpun, sammutussuuttimen (avosuutin), sekä paloilmaisimen. Q-fog-yksikkö (pl. paloilmaisin) asennetaan tyypillisesti huoneen seinustalle ja kytketään sähköpistokkeeseen. Tässä koesarjassa yksikkö asennettiin koetilan oven viereen, vastakkaiselle puolelle nurkkapaloon nähden. Sammutussuutin sijaitsi n. 2 m:n korkeudella lattiasta, ja se sumutti vaakasuorassa suunnassa kohti oveen nähden vastakkaista seinää (keittiöpalokuormaa). Paloilmaisin asennettiin keskelle koetilan kattoa.

Käyttäen valmistajan ilmoittamaa suutinpainetta 125 bar, säiliön tilavuutta 130 litraa sekä säiliön tyhjenemisaikaa 15 min voidaan vesivirtaamaksi laskea 8,7 l/min, vesivuoksi koetilassa 0,38 l/min/m<sup>2</sup> ja suuttimen K-arvoksi 0,78 l/min/bar<sup>1/2</sup>.

## 2. Koejärjestelyt

Paloilmaisoin oli Siemens FDOOT241-9-monikriteeri-ilmaisoin. Se sisältää sekä valon siroamista (ts. savuntiheyttä) mittaavan anturin että lämpötila-anturin. Antureille voidaan asettaa useita erilaisia hälytysrajoja ja näiden yhdistelmiä, joista useimmat täyttävät standardin EN54-7 vaatimukset. Tässä kokeessa käytettiin EN54-7:n vaatimukset täyttävää ns. tasapainotettua parametrisarjaa (balanced parameter set). Savuilmaisun kynnyksarvot oli asetettu siten, että valonvaimenemisen hälytysraja oli 2,3 %/m avoliekillä ja 8 %/m kyteväälle palolle. Lämpöilmaisuuun liittyi sekä staattinen että dynaaminen kriteeri, joista vain toisen täyttyminen johti lämpöilmaisuuun. Staattisena kriteerinä oli anturin lämpötilan kohoaminen 80 °C:seen. Dynaaminen kriteeri perustui anturin lämmönnopeuteen. Ilmaisuu annettiin, jos lämmönnopeuus oli jatkuvasti yli 10 °C/min siten, että kokonaislämmönnouus oli vähintään 25 °C. Lämmönnopeuteen perustuva kriteeri oli kuitenkin mahdollinen vain, jos lämpötila oli yli 30 °C.

### 2.5.6 Kattoon asennettavat asutosprinklerit

Uponor Suomi Oy toimitti kokeisiin tavanomaiseen kattoon asennettavaan asutosprinkleriin perustuvan järjestelmän, josta kokeissa käytettiin kolmea erilaista versiota. Järjestelmä U1 perustui piiloasennettuun asutosprinkleriin, järjestelmä U1\_NAK näkyvään pinta-asennettuun asutosprinkleriin ja järjestelmä U2 piiloasennettuun asutosprinkleriin, jota operoitiin korotetulla vesivuontiheydellä.

Kaikissa järjestelmissä sprinkleri oli asennettu ns. multiport-asennuskantaan, johon sprinklerivesi tuodaan neljää putkea pitkin. Kukin putki oli sisähalkaisijaltaan 12,4 mm, ja se oli valmistettu ristosilloitetusta polyetyleenistä. Toisessa päässä putket oli kytketty jakotukkiin, johon vesi tuotiin kahden tuuman paloletkua pitkin sammutushallin vesijohtoverkosta. Jakotukin ja vesiliitäntän väliin oli lisäksi asennettu virtaushälytysventtiili (Reliable Residential Riser, base unit). Virtaama ja paine säädettiin käsikäyttöisellä säätöventtiilillä.

Kaikissa järjestelmissä varsinainen asutosprinkleri oli Reliable Automatic Sprinkler Companyn valmistama F1 Res 49 Pendent, tuotenumero R3516. Sprinklerin lasiampulli on 3 mm:n paksuinen, ja laukeamislämpötilaltaan 68 °C. Lasiampullien valmistaja JOB GmbH ilmoittaa F3-lasiampullin RTI-arvoksi 32(ms)<sup>1/2</sup>.

## U1

Järjestelmän U1 suuttimena oli Reliable Automatic Sprinkler Companyn valmistama F1 Res 49 CCP Pendent -suutin. Lyhenne CCP tulee sanoista Concealed Cover Plate, ts. peitelevy tai suojakupu. Suojakuvun tarkoituksena on tehdä sprinkleriasennus huomaamattommaksi. Tällöin itse sprinkleri on osittain upotettu kattopinnan sisään kuitenkin siten, että sprinklerin hajottajalevy jää kattopinnan alapuolelle. Suojakupu on valmistettu ja asennettu siten, että kun sen lämpötila kohoaa 57 °C:seen, suojakupu putoaa pois.

Suutin on testattu menetelmän UL1626 mukaisesti siten, että suojausalan ollessa suurempi kuin 4,3 m × 4,3 m (18,5 m<sup>2</sup>) mutta pienempi kuin 4,9 m × 4,9 m (24 m<sup>2</sup>) vesivuon tulee olla vähintään 2,2 l/min/m<sup>2</sup>. Suuttimen K-arvo on 71 l/min/bar<sup>1/2</sup>, jolloin minimivesivuota vastaava suutinpaine on 0,56 bar, ja virtaama suutinta kohti 53 l/min.

## U2

Järjestelmän U2 suuttimena oli Reliable F1 Res 49 CCP Pendent -suutin, ts. sama suutin kuin järjestelmässä U1. Järjestelmää U2 ajettiin kuitenkin suutinpaineella 1,8 bar, joka tuotti virtaaman 94,3 l/min ja vesivuon 4,08 l/min/m<sup>2</sup>, kun suojausalaksi otetaan koetilan lattiapinta-ala. Todettakoon, että UL1626:n mukaisen testauksen tuloksena saatu suurin listattu suojausala 6,1 m × 6,1 m (37 m<sup>2</sup>) saavutettiin suutinpaineella 1,14 bar.

Syy korotetun vesivuon valintaan oli standardiluonnos INSTA-900-1-Part1, jota tämän raportin kirjoitushetkellä tarkastellaan Suomessa standardin CEA4001:2007-06(fi) liitteen O mahdollisena korvaajana. Tämä jälkimmäinen, yksinkertaisesti ”O-liitteenä” tunnettu suunnitteluohje edellyttää henkilöturvallisuutta parantavilta automaattisilta sammutusjärjestelmiltä vesivuota 2,25 l/min/m<sup>2</sup>. Ehdotetussa INSTA-suunnitteluohjeessa vaadittava vesivuo riippuu rakennustyyppistä siten, että tyyppin 1 rakennuksissa (oleellisesti NFPA 13D-standardin soveltamisala) ja tyyppin 2 rakennuksissa (oleellisesti NFPA 13R-standardin soveltamisala) pienin vesivuontiheys on 2,05 l/min/m<sup>2</sup>. Sen sijaan tyyppin 3 rakennuksissa, joita Suomessa ovat kaikki turvallisuusselvitysmenettelyyn kuuluvat kohteet, pienin vesivuontiheys on 4,08 l/min/m<sup>2</sup>.

## 2. Koejärjestelyt

### U1\_NAK

Järjestelmän U1\_NAK suuttimena oli F1 Res 49 Pendent, joka oli asennettu kattoon siten, että vain liittimen kierteet olivat kokonaisuudessaan kattopinnan yläpuolella. Suutin on testattu menetelmän UL1626 mukaisesti siten, että suojausalan ollessa pienempi kuin  $4,9 \text{ m} \times 4,9 \text{ m}$  ( $24 \text{ m}^2$ ), vesivuon tulee olla vähintään  $2,05 \text{ l/min/m}^2$ . Suuttimen K-arvo on  $71 \text{ l/min/bar}^{1/2}$ , jolloin minimivesivuota vastaava suutinpaine on  $0,48 \text{ bar}$  ja virtaama suutinta kohti  $49 \text{ l/min}$ .

## 2.6 Kokeiden suoritus

Ennen kunkin kokeen alkua kokeessa käytetty palokuorma valmisteltiin ja sijoitettiin koehuoneeseen. Sammutusjärjestelmätoimittajien edustajat asensivat sekä saattoivat käyttökuntoon kunkin käytetyn sammutusjärjestelmän ennen koetta.

Hyvässä ajoin (n. 5 min) ennen sytytyshetkeä käynnistettiin tiedonkeruut (lämpötila- ja kaasumittaukset) sekä videokamerat.

Sytytyksen jälkeen palon annettiin kehittyä vapaasti. Sammutusjärjestelmän lauettua koetta jatkettiin vielä 15 min, jonka jälkeen palo sammutettiin (tarvittaessa) manuaalisesti.

Koehuone dokumentoitiin valokuvaamalla ennen koetta sekä kokeen jälkeen. Kokeen jälkeisen dokumentoinnin päätyttyä palokuorma purettiin koehuoneesta. Kokeen kulusta tehtiin videokuvauksen sekä lämpötila- ja kaasumittausten lisäksi silmämääräisiä havaintoja koko kokeen ajan.

## 3. Tulokset

### 3.1 Tulosten esitystapa

Pääosa polttokokeissa mitatuista kaasunlämpötila-arvoista, kaasupitoisuuksista ja savun määrää kuvaavista vaimennuskerroin- sekä näkyvyysarvoista esitetään liitteissä. Omina liitteinään esitetään myös kaasupitoisuuksista lasketut CO-kertymä ja FED-arvot.

Tässä yhteydessä luvussa 3 esitetään kunkin mitatun suuren osalta edustavimmat kuvaajat, joista voidaan suoraan mm. nähdä ero vapaiden polttojen ja sammutuskokeiden välillä.

Kuvaajien selitteiden koodimerkistö koostuu polttokoetta kuvaavasta osasta (K = keittiökokeet, N = nurkkakokeet, S = sohvakokeet) ja varsinaista järjestelmää kuvaavista osista, jotka on esitetty aiemmin kohdassa 2.5. Vapaissa poltoissa järjestelmän kohdalla käytetään merkintää ”V”. Nurkkakokeissa käytetään lisäksi lisämerkintää ”SF”, jolla kuvataan käytetyn vanerin ja vaahtomuovin materiaaliominaisuuksia (kohta 2.3).

Kuvaajien nollakohtana käytetään N- ja S-kokeissa sytytyshetkeä, kun taas K-kokeissa sytytyshetken lisäksi tulokset on esitetty myös öljyn syttymishetken mukaan. Tämä sen vuoksi, että K-kokeissa havaittiin öljyn syttymisajan vaihtelua.

Tuloksia esitettäessä on kuvaajissa esitetty syttymisajasta järjestelmän laukeamiseen kuuluva aika yhtenäisillä viivoilla ja tästä eteenpäin oleva ajanjakso (kun sammutusjärjestelmä on lauennut) katkoviivoilla. Vapaan polton kuvaajat esitetään punaisella yhtenäisellä viivalla. Polttokokeiden videotallenteista otettuja kuvia juuri ennen kunkin järjestelmän laukeamista esitetään liitteessä F.

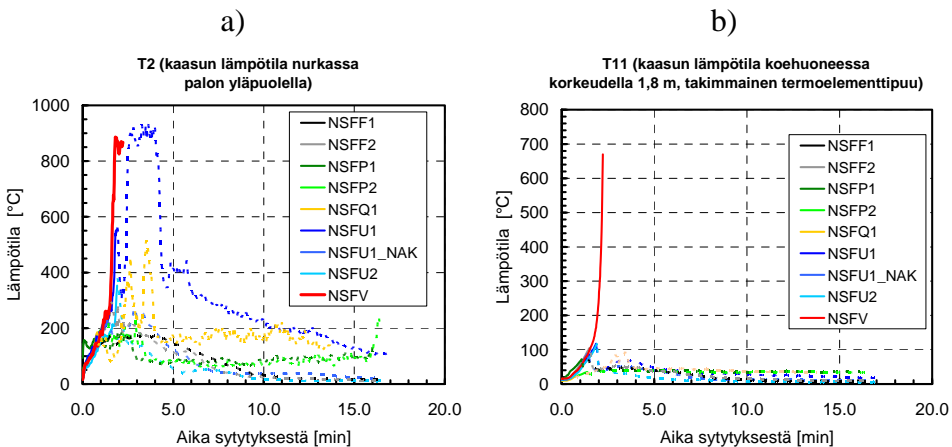
### 3. Tulokset

## 3.2 Lämpötilat

Polttokokeissa mitatut lämpötilat esitetään pääosin liitteessä A. Tässä yhteydessä luvun 3 lämpötilatulokset esitetään koehuoneen osalta palon yläpuolelta (joko nurkkapalo, keittiökaapisto tai sohvapatjat) ja pään korkeudelta 1,8 m korkeudelta takimmaisesta TE-puusta.

### 3.2.1 Nurkkapalokoe

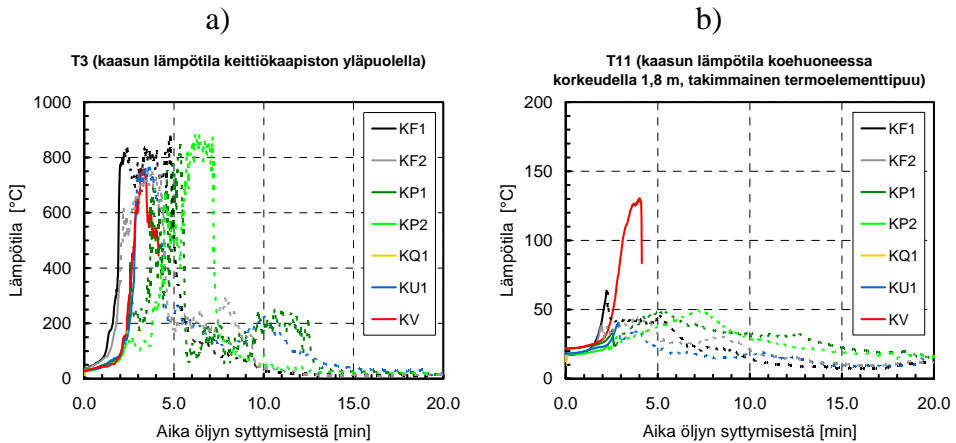
Kuvassa 10a esitetään lämpötilat nurkkapalon yläpuolelta. Vapaassa kokeessa (punainen viiva) lämpötila nousee 2–3 min kuluessa hyvinkin korkealle ja aiheuttaa tilan lieskahduksen. NSFU1-kokeessa piilosuuttimen hitaampi reagoiminen näkyy korkeissa kaasunlämpötiloissa palon yläpuolella. Tarkasteltaessa tilannetta hieman kauempana palosta (kuva 10b) havaitaan, että sammutuskokeiden lämpötilat pysyvät n. 100 °C:n rajan alapuolella.



Kuva 10. Lämpötilakuvaajat nurkkapalokokeissa a) palon yläpuolella ja b) 1,8 m:n korkeudella takimmaisessa TE-puussa.

### 3.2.2 Keittiöpalokoe

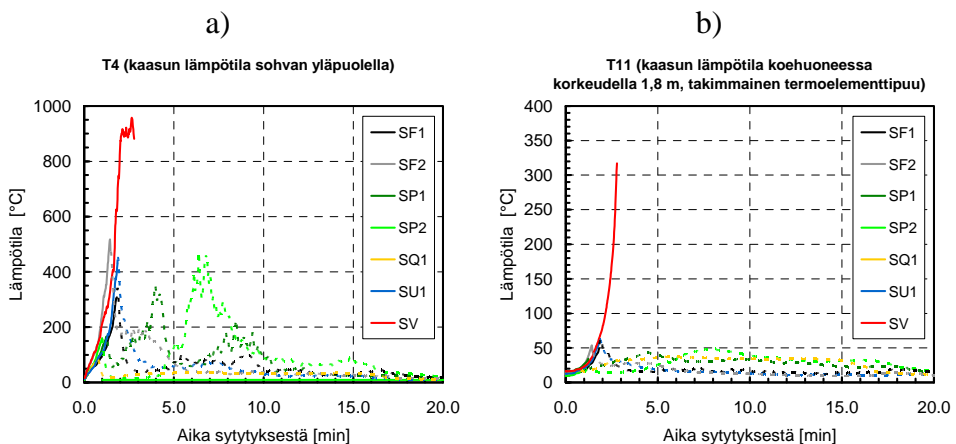
Keittiöpalokokeissa kaapiston yläpuolelta mitatut sammutuskokeiden lämpötilat ovat ensimmäisen 5 min aikana samaa suuruusluokkaa kuin vapaassa polttokokeessa (kuva 11a). Tämä johtuu keittiökaapiston – sammutuksen kannalta hankalasta – geometriasta, jossa palo levisi keskimmäisen kaapin sisäpuolelle. Lämpötilat laskevat alle 50 °C:n mentäessä kauemmaksi palosta (kuva 11b).



Kuva 11. Lämpötilakuvaajat keittiöpalokokeissa a) palon yläpuolella ja b) 1,8 m:n korkeudella takimmaisessa TE-puussa.

### 3.2.3 Sohvalalokoe

Kuvassa 12 havaitaan osin samanlainen lämpötilakäytös kuin edellisessä kuvassa 10. Palon yläpuolella sammutuskokeiden lämpötilat vaeltavat korkeimmillaan n. 200–400 °C välillä. Ero on kuitenkin merkittävä verrattaessa lämpötilatuloksia vapaaseen polttoon.



Kuva 12. Lämpötilakuvaajat sohvalalokokeissa a) palon yläpuolella ja b) 1,8 m:n korkeudella takimmaisessa TE-puussa.

### 3. Tulokset

#### 3.3 Kaasupitoisuudet

Kaasukomponenttien CO<sub>2</sub>-, CO- ja O<sub>2</sub>-pitoisuudet esitetään liitteessä B. CO-arvoista lasketut CO-kertymätulokset esitetään liitteessä C.

#### 3.4 Kaasupitoisuuksista lasketut FED-arvot

Palosta syntyvien myrkyllisten kaasujen aiheuttamaa haitallista olosuhdetta kuvaavan FED-arvon laskennassa käytettiin kaikkia mitattuja CO<sub>2</sub>-, CO-, O<sub>2</sub>- ja HCN-yhdisteitä. Koehuoneessa ylimpänä olleessa kaasumittauspisteessä ei mitattu HCN-yhdistettä. FED-tuloksissa CO-yhdisteen merkitys koko FED-arvoon on suurin, n. 75–100 %.

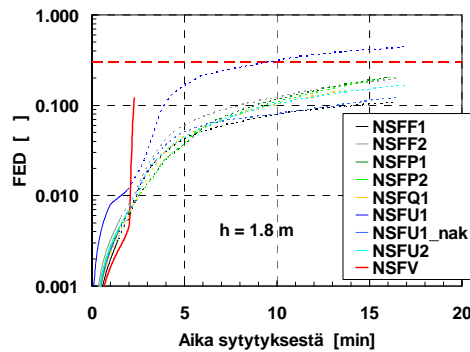
Poistumisen kannalta olosuhteet ovat haitalliset ihmisille silloin, kun FED = 0,3 ja lamaantumisen voidaan olettaa tapahtuvan (puolelle altistuneista), kun FED = 1,0.

Seuraavassa esitetään FED-arvot polttokokeittain koehuoneen sisältä ylimmästä mittauspisteestä (h = 1,8 m). Kuhunkin kuvaan on piirretty vaakaviiva arvon FED = 0,3 kohdalle. FED-arvon laskenta on aloitettu sytytyshetkestä (ensimmäinen hetki, kun haitallisia yhdisteitä voi syntyä). Koehuoneen alimman mittauspisteen ja käytävän mittauspisteen FED-arvot esitetään liitteessä D.

##### 3.4.1 Nurkkapalokokeet

Kuvassa 13 esitetään nurkkapalokokeen kaasumittauksista lasketut FED-arvot. Tuloksista havaitaan, että vapaapolttokokeessa (punainen yhtenäinen viiva ”NSFV”) FED-arvot kasvavat jyrkästi jo ensimmäisen 2 min aikana kohti raja-arvoa FED = 0,3 (punainen katkoviiva), joka olisi hyvin todennäköisesti ylittynyt ensimmäisen 4 min aikana. Sammutuskokeissa raja-arvo ylittyi ainoastaan yhdessä kokeessa n. 10 min kuluessa sytytyksestä.

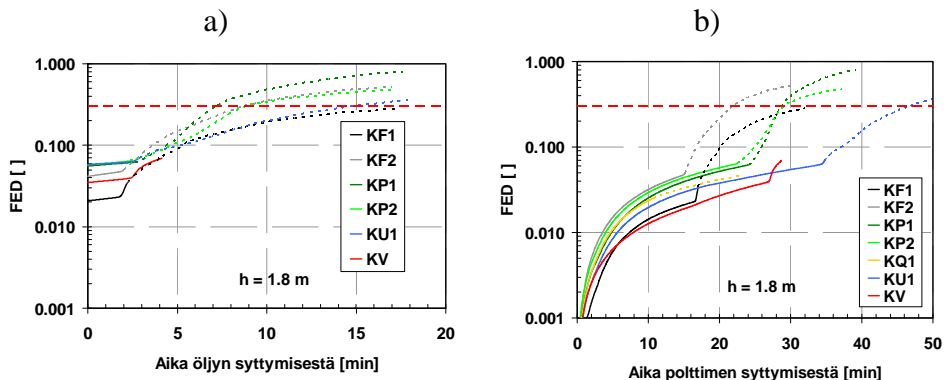




Kuva 13. Nurkkapalokokeiden kaasumittauksista lasketut FED-arvot koehuoneen sisällä 1,8 m:n korkeudella.

### 3.4.2 Keittiöpalokokeet

Kuvassa 14 esitetään keittiöpalokokeiden FED-tulokset koehuoneesta. Kuvassa 14a tarkastelun nollahetki on öljyn syttyminen ja kuvassa 14b varsinainen kokeen aloitushetki (polttimen sytytys). Öljyn syttymisen jälkeenkin olosuhteet koehuoneessa ovat FED-raja-arvoon nähden hyvät ensimmäisen 7 min ajan. Varsinaisesta kokeen aloituksesta (polttimen sytytyksestä) aikaa on n. 15 min kunnes ensimmäinen FED = 0,3 arvo ylittyy. Vapaapolttokokeen kuvaajista ("KV") nähdään, kuinka palon kehittyessä myös FED-arvon kasvu kiihtyy.

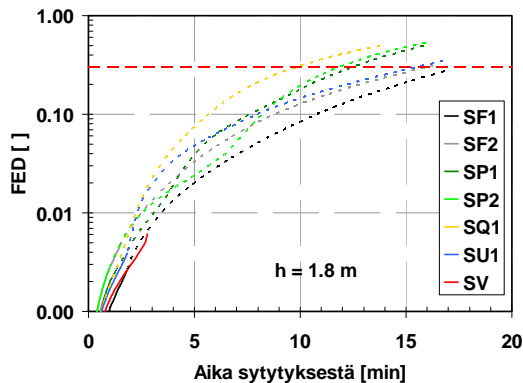


Kuva 14. Keittiöpalokokeiden kaasumittauksista lasketut FED-arvot koehuoneen sisällä 1,8 m korkeudella. Kokeessa KQ1 järjestelmä laukesi ennen öljyn syttymistä, joten KQ1-tuloksia ei ole kuvassa a.

### 3. Tulokset

#### 3.4.3 Sohvapalokokeet

Sohvapalokokeissa koehuoneen ovi oli kiinni, joten palamiskaasut eivät kulkeutuneet huonetilasta pois. Tämä näkyy myös kuvan 15 FED-arvoissa, kun niitä verrataan aiempiin nurkka- ja keittiöpalokokeisiin. Ensimmäinen FED = 0,3 arvo ylittyy sammutuskokeissa n. 10 min kohdalla ja muiden sammutuskokeiden osalta raja-arvon ylitys tapahtuu n. 12– 17 min välillä.



Kuva 15. Sohvapalokokeiden kaasumittauksista lasketut FED-arvot koehuoneen sisällä 1,8 m:n korkeudella.

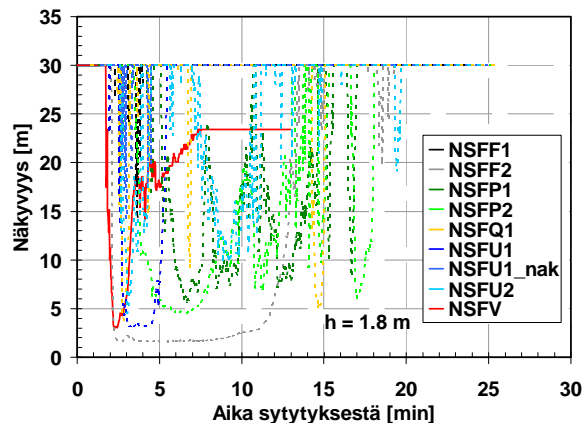
### 3.5 Näkyvyys

Näkyvyys-suuretta on tarkasteltu pelkästään käytävällä 1,8 m:n korkeudella nurkka- ja keittiöpalokokeissa. Sohvapalokokeissa huoneen ovi oli kiinni. Tarkastelu on tehty kahdelle eri tapaukselle: valoa heijastavalle ja valoa lähettävälle objektille. Ensin mainittu tapaus esitetään tässä luvussa. Näkyvyys-suureen määrittämisessä käytetään savun vaimennuskerrointa  $k$  [1/m], jonka tulokset esitetään liitteessä E.

Turvallisen poistumisen edellyttämä näkyvyys-raja-arvo riippuu mm. siitä, kuinka hyvin henkilö tuntee kohteen. Tällä lähestymistavalla arvioiden tutusta rakennuksesta on turvallista poistua, kun näkyvyys on 4 m ( $k = 0,5 \text{ m}^{-1}$ ) ja tuntemattomasta rakennuksesta, kun näkyvyys on 13 m ( $k = 0,15 \text{ m}^{-1}$ ) (Jin 2002).

### 3.5.1 Nurkkapalokokeet

Kuvassa 16 esitetään nurkkapalokokeen näkyvyysarvot käytävällä 1,8 m:n korkeudelta mitattuna. Turvallisen poistumisen edellyttämän näkyvyysraja (tuttu rakennus) 4 m alittuu viidessä kokeessa ml. vapaapolttokoe ("NSFV"). Yhdessä sammutuskokeessa näkyvyyden alittuminen on pitkäaikaista. Käytävältä otetuista videoista voidaan nähdä, kuinka savu pysyy käytävän yläosassa ja alaosassa säilyy savusta vapaa vyöhyke.

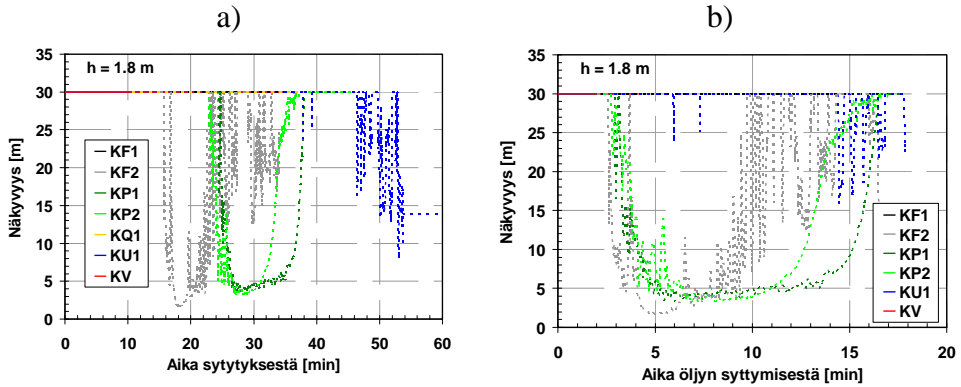


Kuva 16. Laskettu näkyvyys-arvo valoa heijastavalle objektille eri polttokokeissa.

### 3.5.2 Keittiöpalokokeet

Keittiöpalokokeiden osalta käytävän näkyvyys on sammutuskokeissa pääosin parempi kuin nurkkapalokokeissa. Kuvasta 17 havaitaan, että kolmessa kokeessa liikutaan näkyvyysrajan 4 m tuntumassa tai sen alle noin 4 min kuluttua öljyn syttymisestä (kuva 17b). Vapaapolttokokeen ("KV") vaikutus ei kokeen lyhyen keston vuoksi näy käytävän näkyvyytuloksissa.

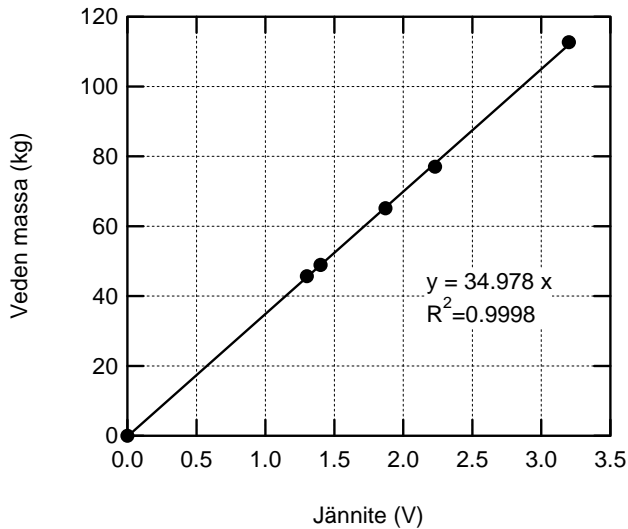
### 3. Tulokset



Kuva 17. Laskettu näkyvyys-arvo valoa heijastavalle objektille eri polttokokeissa. Huomaa vaak-akselilla sytytysajankohdan eroavaisuudet.

### 3.6 Paineet ja virtaamat

Kokeissa käytetyt kapasitiiviset paineanturit oli kalibroitu VTT:n ulkopuolella. Induktiivinen virtausmittari sen sijaan kalibroitiin koesarjan aluksi järjestelyllä, jossa virtausmittarin läpi johdettiin minuutin ajan erisuuruisia virtaamia. Virtausmittarin läpi kulkeneen veden määrä mitattiin keräämällä vesi kalibroidun vaa'an päällä olleeseen keräysastiaan. Kuvassa 18 on esitetty virtausmittarin jänniteulostulon riippuvuus virtaamasta.



Kuva 18. Virtausmittarin ulostulojännitteen riippuvuus virtaamasta.

Taulukkoon 6 on koottu kokeissa mitatut paineet ja virtaamat sekä niiden perusteella lasketut vesivuot (olettaen suojausalaaksi 23 m<sup>2</sup> muille järjestelmille paitsi F2:lle, jolle suojausala on 16 m<sup>2</sup>) ja suutinten K-arvot, joita on verrattu suuttimen valmistajan ilmoittamaan K-arvoon. Paineet ja virtaamat on määritetty mitaustulosten keskiarvona koko kokeen keston yli pois lukien ensimmäiset kaksi minuuttia, jona aikana joidenkin järjestelmien tapauksessa virtaamaa hienosäädettiin. Järjestelmä Q1 ei esiinny taulukossa, koska sen painetta ja virtaamaa ei mitattu kokeissa.

Taulukko 6. Kokeissa mitatut paineet (p, bar) ja virtaamat (Q, l/min) sekä niiden perusteella lasketut vesivuot (F, l/min/m<sup>2</sup>) ja suutinten K-arvot (K, l/min/bar<sup>1/2</sup>). Eri kokeista määritettyjen K-arvojen avulla laskettua keskimääräistä K-arvoa (K-keskiarvo) on verrattu suuttimen valmistajien ilmoittamiin K-arvoihin (K-ilmoitettu).

		F1	F2	P1	P2	U1	U1_NAK	U2
Nurkka	p	1.02	5.11	95.75	102.30	0.37	0.39	1.74
	Q	60.47	32.16	30.60	31.80	52.29	52.34	94.48
	F	2.62	2.01	1.33	1.38	2.27	2.27	4.10
	K	59.87	14.23	3.13	3.14	85.96	83.81	71.63
Sohva	p	1.07	5.20	96.17	102.64	0.35	-	-
	Q	60.12	32.42	30.48	31.09	52.23	-	-
	F	2.61	2.05	1.32	1.35	2.27	-	-
	K	58.12	14.22	3.11	3.07	88.28	-	-
Keittiö	p	1.03	5.25	95.30	102.24	0.38	-	-
	Q	60.68	32.87	30.69	31.77	52.36	-	-
	F	2.63	2.03	1.33	1.38	2.27	-	-
	K	59.79	14.35	3.14	3.14	84.94	-	-
K-keskiarvo		59.26	14.26	3.13	3.12	86.40	-	-
K-ilmoitettu		60.6	13.5	2.745	2.745	71	71	71

Taulukosta nähdään, että pääsääntöisesti paineet ja virtaamat onnistuttiin säätämään lähelle tavoitteita. Poikkeaman tähän muodostavat järjestelmille U1 ja U1\_NAK mitatut paineet, jotka ovat merkittävästi alhaisemmat kuin tavoitellut paineet (U1 0,56 bar, U1\_NAK 0,48 bar). Kuitenkin näiden järjestelmien virtaamat vastaavat tavoitetasoa, joten ongelma liittyy painemittauksen suoritustapaan. Näiden järjestelmien tapauksessa painemittari oli kytketty multiport-asennuskannan ja suuttimen välissä kulkevaan sovitusputeen jonka sisähalkaisija oli 12,4 mm (kuva 19).

### 3. Tulokset



Kuva 19. Painemittarin kytkentä järjestelmien U1 ja U1\_NAK tapauksissa.

Virtaamalla 52,3 l/min veden virtausnopeus sovituspukessa on 7,22 m/s. Tätä vastaava dynaaminen paine ( $1/2\rho v^2$ ) on 0,26 bar. Painemittari mittaa ainoastaan kokonaispaineen staattista komponenttia, joten kokonaispaineksi järjestelmälle U1 saadaan 0,63 bar ja järjestelmälle U1\_NAK 0,65 bar. Näistä on kuitenkin vähennettävä vielä painemittarin nollatason poikkeama 0,03 bar sekä sovituspukun painehäviö 10 cm:n matkalla, joksi Hazen-Williamsin kaavalla voidaan laskea 0,046 bar. Lopulliset arviot suutinpaineille ovat siis 0,55 bar (U1) ja 0,57 bar (U1\_NAK), jotka ovat lähellä tavoitetasoa. Järjestelmän U2 tapauksessa sovituspukun halkaisijaa kasvatettiin, jolloin veden virtausnopeus putkessa laski (kasvaneesta virtaamasta huolimatta), mikä puolestaan vähensi dynaamisen paineen ja painehäviön osuudet hyvin pieniksi.

### 3.7 Taulukoidut tulokset

Taulukoissa 7–9 esitetään polttokokeiden tulokset taulukoituina, joissa samalla verrataan tuloksia viitteissä (DSB & Räddningsverket 2007, UL 1626, ISO 13571, Jin 2002) esiintyviin raja-arvoihin. Tarkastelu kattaa kaikki kolme palokoeskenaariota ja useita eri mittauspisteitä, joita em. viitteissä ei kaikissa mitata (esim. käytävän osalta) tai ne mitataan hieman eri kohdista. Tarkastelun tuloksia voidaan kuitenkin pitää hyvinkin suuntaa antavina arvioitaessa järjestelmien suorituskykyä.

Taulukko 7. Nurkkakokeiden tulokset verraten niitä eri lähteistä otettuihin raja-arvoihin.

Koehuoneessa	raja	yksikkö	NSFF1	NSFF2	NSFP1	NSFP2	NSFQ1	NSFU1	NSFU2	NSFU1_NAK	NSFV
FED-raja-arvon 0,3 ylitysaika (h = 1,8 m) A	-	min	-	-	-	-	-	9.5	-	-	-
FED-raja-arvon 1,0 ylitysaika (h = 1,8 m) B	-	min	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FED-raja-arvon 0,3 ylitysaika (h = 0,6 m) A	-	min	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FED-raja-arvon 1,0 ylitysaika (h = 0,6 m) B	-	min	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO-kertymäraja-arvon ylitys (h = 1,8 m) C	15 000	ppm-min	3 183	6 162	6 695	6 793	4 795	11 396	5 486	3 617	-
CO-kertymäraja-arvon ylitys (h = 0,6 m) C	15 000	ppm-min	946	1 817	3 860	3 723	1 661	933	2 749	715	-
minimihappipitoisuus (h = 1,8 m) D	15	%	18.1	18.2	19.0	19.0	18.7	14.8	18.7	17.9	-
minimihappipitoisuus (h = 0,6 m) D	15	%	20.6	20.9	19.9	20.0	20.0	20.9	19.9	20.9	-
keskiarvo TE-puiden lämpötiloista (koko koe)	100	°C	71	76	54	53	65	128	92	69	556
keskiarvo TE-puiden lämpötiloista (aikavälillä 4,5–5,5 min) E	100	°C	33	36	38	33	52	39	11	23	-
keskiarvo TE-puiden lämpötiloissa (aikavälillä 5–6 min) E	100	°C	29	30	36	32	51	36	11	19	-
lämpötila rakenteen sisällä palon yläpuolella F	260	°C	109	103	60	63	168	617	104	118	404
lämpötila suuttimen vieressä katon alla G	316	°C	115	125	89	92	128	165	155	114	733
lämpötila 1,8 m korkeudella, takimmainen TE-puu H	93	°C	85	105	72	41	94	118	117	88	776
54 °C:n ylitys 2 min ajan I	120	s	27	42	20	0	59	103	49	31	163
lämpötila 1,8 m korkeudella, etummainen TE-puu H	93	°C	89	111	77	85	53	134	129	97	763
54 °C:n ylitys 2 min ajan I	120	s	28	42	23	27	0	106	56	33	161
lämpötila katon alla, etummainen TE-puu G	316	°C	128	133	100	102	92	322	149	167	821
lämpötila katon alla, takimmainen TE-puu G	316	°C	196	133	101	114	160	327	175	140	906

Käytävällä	raja	yksikkö	NSFF1	NSFF2	NSFP1	NSFP2	NSFQ1	NSFU1	NSFU2	NSFU1_NAK	NSFV
FED-raja-arvon 0,3 ylitysaika (h = 1,8 m) A	-	min	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FED-raja-arvon 1,0 ylitysaika (h = 1,8 m) B	-	min	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO-kertymäraja-arvon ylitys (h = 1,8 m) C	15 000	ppm-min	402	1 323	768	874	306	651	534	54	-
minimihappipitoisuus (h = 1,8 m) D	15	%	20.6	20.4	20.9	20.9	20.9	20.3	20.9	20.9	-
lämpötila 1,8 m korkeudella, käytävän TE-puu H	93	°C	17	24	20	19	22	19	20	18	136
54 °C:n ylitys 2 min ajan I	120	s	0	0	0	0	0	0	0	0	23
lämpötila katon alla, käytävän TE-puu G	316	°C	56	64	44	49	52	159	75	97	268
lämpötila katon alla, käytävä suljettu pääty G	316	°C	74	79	52	52	68	200	96	120	313
lämpötila katon alla, käytävä koehuoneen ovi G	316	°C	102	116	71	85	69	284	125	159	465
lämpötila katon alla, käytävä oven ja TE-puun väli G	316	°C	61	67	47	52	56	175	80	105	339
aika, kun savun vaimennuskerroin $k \geq 0,5 \text{ m}^{-1} \text{ J}$	-	min	-	2.2	6.5	4.9	2.7	2.8	3.0	-	2.1

A: Poistumista haittaava FED-raja-arvo (ISO 13571)

B: Lamaantumisen aiheuttava FED-raja-arvo (ISO 13571)

C: CO-kertymäkriteeri (DSB & Räddningsverket 2007)

D: O<sub>2</sub>-kriteeri (DSB & Räddningsverket 2007)

E: Lämpötilakriteeri (DSB & Räddningsverket 2007)

F: Lämpötilakriteeri (UL 1626, kohta 28.1.1 d) (vain nurkkakokeessa)

G: Lämpötilakriteeri (UL 1626, kohta 28.1.1 a: anturi 76 mm kattopinnan alapuolella. Tässä tutkimuksessa etäisyys oli 100 mm)

H: Lämpötilakriteeri (UL 1626, kohta 28.1.1 b: anturi 1.6 m lattiatason yläpuolella. Tässä tutkimuksessa etäisyys oli 1.8 m.)

I: Lämpötilakriteeri (UL 1626, kohta 28.1.1 c: anturi 1.6 m lattiatason yläpuolella. Tässä tutkimuksessa etäisyys oli 1.8 m)

J: Tutusta tilasta poistuminen turvallista silloin, kun  $k < 0.5 \text{ m}^{-1}$  (Jin 2002)



Taulukko 8. Keittiökokeiden tulokset verraten niitä eri lähteistä otettuihin raja-arvoihin.

Koehuoneessa	raja	yksikkö	KF1	KF2	KP1	KP2	KQ1	KU1	KV
FED-raja-arvon 0,3 ylitysaika (h = 1,8 m) A	-	min	-	21.8	28.7	29.0	-	46.7	-
FED-raja-arvon 1,0 ylitysaika (h = 1,8 m) B	-	min	-	-	-	-	-	-	-
FED-raja-arvon 0,3 ylitysaika (h = 0,6 m) A	-	min	-	-	29.8	-	-	-	-
FED-raja-arvon 1,0 ylitysaika (h = 0,6 m) B	-	min	-	-	-	-	-	-	-
CO-kertymäraja-arvon ylitys (h = 1,8 m) C	15 000	ppm-min	8 191	16 576	22 798	11 935	709	10 233	-
CO-kertymäraja-arvon ylitys (h = 0,6 m) C	15 000	ppm-min	3 604	6 052	14 875	5 631	0	4 486	-
minimihappipitoisuus (h = 1,8 m) D	15	%	18.6	19.2	18.8	18.4	20.7	19.8	-
minimihappipitoisuus (h = 0,6 m) D	15	%	20.2	20.6	18.8	19.9	20.9	20.9	-
keskiarvo TE-puiden lämpötiloista (koko koe)	100	°C	92	51	56	114	17	68	155
keskiarvo TE-puiden lämpötiloista (aikavälillä 4,5–5,5 min) E	100	°C	25	29	34	72	14	21	0
keskiarvo TE-puiden lämpötiloissa (aikavälillä 5–6 min) E	100	°C	24	33	32	50	14	18	0
lämpötila suuttimen vieressä katon alla G	316	°C	154	135	92	42	24	172	272
lämpötila 1,8 m korkeudella, takimmainen TE-puu H	93	°C	67	44	49	50	18	40	131
54 °C:n ylitys 2 min ajan I	120	s	10	0	0	0	0	0	92
lämpötila 1,8 m korkeudella, etummainen TE-puu H	93	°C	50	44	44	48	17	39	101
54 °C:n ylitys 2 min ajan I	120	s	0	0	0	0	0	0	112
lämpötila katon alla, etummainen TE-puu G	316	°C	212	126	126	119	23	228	343
lämpötila katon alla, takimmainen TE-puu G	316	°C	334	122	174	535	26	221	467

Käytävällä	raja	yksikkö	KF1	KF2	KP1	KP2	KQ1	KU1	KV
FED-raja-arvon 0,3 ylitysaika (h = 1,8 m) A	-	min	-	-	37.7	-	-	-	-
FED-raja-arvon 1,0 ylitysaika (h = 1,8 m) B	-	min	-	-	-	-	-	-	-
CO-kertymäraja-arvon ylitys (h = 1,8 m) C	15 000	ppm-min	539	4 608	9 031	2 867	0	672	-
minimihappipitoisuus (h = 1,8 m) D	15	%	20.9	20.9	20.3	20.9	20.9	20.9	-
lämpötila 1,8 m korkeudella, käytävän TE-puu H	93	°C	16	17	22	20	14	14	18
54 °C:n ylitys 2 min ajan I	120	s	0	0	0	0	0	0	0
lämpötila katon alla, käytävän TE-puu G	316	°C	35	34	28	29	15	47	72
lämpötila katon alla, käytävä suljettu pääty G	316	°C	45	37	31	30	16	44	92
lämpötila katon alla, käytävä koehuoneen ovi G	316	°C	70	45	34	32	18	60	123
lämpötila katon alla, käytävä oven ja TE-puun väli G	316	°C	35	37	30	30	16	48	74
aika, kun savun vaimennuskerroin $k \geq 0,5 \text{ m}^{-1}$ J	-	min	-	16.5	26.3	24.4	-	-	-

A: Poistumista haittaava FED-raja-arvo (ISO 13571)

B: Lamaantumisen aiheuttava FED-raja-arvo (ISO 13571)

C: CO-kertymäkriteeri (DSB & Räddningsverket 2007)

D: O<sub>2</sub>-kriteeri (DSB & Räddningsverket 2007)

E: Lämpötilakriteeri (DSB & Räddningsverket 2007)

G: Lämpötilakriteeri (UL 1626, kohta 28.1.1 a: anturi 76 mm kattopinnan alapuolella. Tässä tutkimuksessa etäisyys oli 100 mm)

H: Lämpötilakriteeri (UL 1626, kohta 28.1.1 b: anturi 1.6 m lattiatason yläpuolella. Tässä tutkimuksessa etäisyys oli 1,8 m)

I: Lämpötilakriteeri (UL 1626, kohta 28.1.1 c: anturi 1.6 m lattiatason yläpuolella. Tässä tutkimuksessa etäisyys oli 1,8 m)

J: Tutusta tilasta poistuminen turvallista silloin, kun  $k < 0,5 \text{ m}^{-1}$  (Jin 2002)

Taulukko 9. Sohvakokeiden tulokset verraten niitä eri lähteistä otettuihin raja-arvoihin.

Koehuoneessa	raja	yksikkö	SF1	SF2	SP1	SP2	SQ1	SU1	SV
FED-raja-arvon 0.3 ylitysaika (h = 1,8 m) A	-	min	-	16.0	12.5	11.8	9.8	15.4	-
FED-raja-arvon 1.0 ylitysaika (h = 1,8 m) B	-	min	-	-	-	-	-	-	-
FED-raja-arvon 0.3 ylitysaika (h = 0,6 m) A	-	min	-	-	13.1	-	11.9	15.2	-
FED-raja-arvon 1.0 ylitysaika (h = 0,6 m) B	-	min	-	-	-	-	-	-	-
CO-kertymäraja-arvon ylitys (h = 1,8 m) C	1 5000	ppm-min	9 399	10 961	10 109	10 097	17 084	11 954	-
CO-kertymäraja-arvon ylitys (h = 0,6 m) C	15 000	ppm-min	6 823	5 950	9 576	6 999	9 875	10 326	-
minimihappipitoisuus (h = 1,8 m) D	15	%	19.5	19.2	18.4	19.7	19.1	18.7	-
minimihappipitoisuus (h = 0,6 m) D	15	%	20.2	20.2	18.9	20.3	20.0	20.2	-
keskiarvo TE-puiden lämpötiloista (koko koe)	100	°C	53	64	51	62	37	75	345
keskiarvo TE-puiden lämpötiloista (aikavälillä 4.5–5.5 min) E	100	°C	18	18	32	37	37	14	0
keskiarvo TE-puiden lämpötiloissa (aikavälillä 5–6 min) E	100	°C	18	17	31	49	37	14	0
lämpötila suuttimen vieressä katon alla G	316	°C	145	97	94	75	46	186	705
lämpötila 1.8 m korkeudella, takimmainen TE-puu H	93	°C	64	54	43	48	37	61	427
54 °C:n ylitys 2 min ajan I	120	s	9	0	0	0	0	12	144
lämpötila 1.8 m korkeudella, etummainen TE-puu H	93	°C	36	59	43	48	37	66	420
54 °C:n ylitys 2 min ajan I	120	s	0	6	0	0	0	19	140
lämpötila katon alla, etummainen TE-puu G	316	°C	126	165	141	175	43	195	637
lämpötila katon alla, takimmainen TE-puu G	316	°C	165	141	92	97	49	177	612

A: Poistumista haittaava FED-raja-arvo (ISO 13571)

B: Lamaantumisen aiheuttava FED-raja-arvo (ISO 13571)

C: CO-kertymäkriteeri (DSB & Räddningsverket 2007)

D: O<sub>2</sub>-kriteeri (DSB & Räddningsverket 2007)

E: Lämpötilakriteeri (DSB & Räddningsverket 2007)

G: Lämpötilakriteeri (UL 1626, kohta 28.1.1 a: anturi 76 mm kattopinnan alapuolella. Tässä tutkimuksessa etäisyys oli 100 mm)

H: Lämpötilakriteeri (UL 1626, kohta 28.1.1 b: anturi 1.6 m lattiatason yläpuolella. Tässä tutkimuksessa etäisyys oli 1.8 m)

I: Lämpötilakriteeri (UL 1626, kohta 28.1.1 c: anturi 1.6 m lattiatason yläpuolella. Tässä tutkimuksessa etäisyys oli 1.8 m)

## 4. Tulosten arviointi

### 4.1 Koemenetelmä

Tässä julkaisussa kuvatus koesarjan esikuvana olleen norjalaisen tutkimusraportin (Drangsholt & Rossebø 2006) perusteella laadittu palotestimenetelmä ”Easily installed automatic extinguishing system” (DSB & Räddningsverket 2007) on tarkoitettu helposti asennettavien automaattisten sammutuslaitteistojen testaukseen. VTT:n tutkimuksessa tehtiin tietoinen valinta, jossa testaukseen otettiin mukaan kiinteäasenteisia järjestelmiä. Näin menetellen norjalaisen menetelmän asettama vaatimustaso liikuteltavan järjestelmän suorituskyvyille tulee vertailukelpoiseksi tällä hetkellä yleisesti käytettyjen hyväksyntämenetelmien kanssa.

Koemenetelmä osoittautui pääpiirteissään helposti toteutettavaksi. Muutokset, joita menetelmään tehtiin, johtuivat pääasiassa siitä, että tutkimukseen haluttiin mahdollisimman monta erilaista sammutusjärjestelmää. Näin ollen yksittäisten kokeiden määrä järjestelmää kohti rajattiin kuudesta kolmeen, ja koejärjestelyn rakentamista yksinkertaistettiin jättämällä palava kattomateriaali pois palokuormasta. Jälkimmäinen muutos mahdollisti myös eristeestä tehdyn kattomateriaalin sisälämpötilan mittauksen, mikä on oleellisen tärkeä hyväksyntäkriteeri tavanomaisten asentosprinklereiden hyväksyntämenetelmässä UL1626. Koejärjestelyyn rakennetulla käytävällä ei katsottu olleen merkitystä koehuoneessa olleiden palokuormien palamiselle tai sammutettavuudelle, sillä käytävä ei rajoittanut ilmanvaihtoa koetilan sisä- ja ulkopuolen välillä.

Merkittävä muutos norjalaiseen menetelmään tehtiin keittiöpalokokeen sytytystavan osalta, sillä norjalaisessa menetelmässä kuvattua sytytystapaa käyttäen palokuormassa ei saatu aikaan paloa, joka olisi lähtenyt leviämään sytytyslähteen palokuorman (paistinpannulla 200 ml ruokaöljyä ja pieni määrä paistinlastaa kuvaavaa puuta) loputtua. VTT:n kokeissa öljyn määrä oli 500 ml, ja sähkölevyn asemesta öljyn kuumentamiseen käytettiin kaasupoltinta, paloteholtaan n. 2 kW.

Lisäksi sytytyslähdettä nostettiin keittiön työtason yläpuolelle, jotta saatiin aikaan riittävä liekkikosketus yläkaapistoon pysyvän syttymän varmistamiseksi.

Asuntojen palosuojaukseen tarkoitettujen sammutusjärjestelmien suorituskyvyn testauksessa on luonnollista käyttää lähtökohtana tosielämässä useimmin toistuvia uhkakuvia. Näitä ovat mm. ruoanlaitto (ruoan tai muun palamiskelpoisen materiaalin unohtuminen kuumalle liedelle) tai nukahtaminen vuoteeseen tupakoidessa, mikä on erityisen todennäköistä alkoholin vaikutuksen alaisena. Nämä uhkakuvat on sisällytetty norjalaisen menetelmän sohva- ja keittiöpalokeisiin. Kuitenkin tavanomaiseen sprinkleritekniikkaan perustuvien asuntospinklerien hyväksynnässä on jo 1970-luvulta alkaen käytetty näistä poikkeavaa nurkkapalokoetta, jossa lähtökohtana on verhoiltujen ja pehmustettujen huonekalujen palaminen ja joka kuvaa lähtökohtaisesti asunnon olohuonetta.

Nurkkapaloa voidaan pitää koesarjan vaativimpana palona, koska se on nopeasti pystysuunnassa kehittyvä palo, joka on osittain katveessa. Lisäksi palokuorma on sammutussuuttimen kannalta epäedullisimmassa mahdollisessa paikassa. Sohvapalo on myös pystysuunnassa kehittyvä palo, mutta palokuorma on kauttaaltaan vesisuihkujen tavoitettavissa. Keittiöpalo puolestaan levisi näitä kahta hitaammin. Kokeet osoittivat, että UL1626:n mukaisessa nurkkapalotestissä hyväksytty asuntospinkleri kykeni helposti hallitsemaan keittiö- ja sohvapalot. Tässä mielessä keittiö- ja sohvapalojen lisääminen koeohjelmaan ei nosta koesarjan vaativuutta, vaan ainoastaan työmäärää.

Keittiöpalon muista paloista poikkeava ominaisuus on kuitenkin pitkä öljyn lämmitysvaihe, jona aikana kuumeneva öljy tuottaa runsaasti savua koetilaan. Mikäli sammutusjärjestelmän laukaisua ohjataan savuilmaisimen perusteella, keittiöpalossa voi tapahtua järjestelmän laukeaminen ennen liekehtivän palon syttymistä. Sohvapaloa voidaan ajatella simulaationa vuoteessa tupakoivan ihmisen sytyttämästä palosta. Koemenetelmä ei pyri ottamaan kantaa siihen, voiko sammutusjärjestelmä pelastaa ihmisen joka sytyttää vuodevaatteensa. Sen sijaan kokeen suorittaminen ovi suljettuna voi kertoa siitä, säilyvätkö olosuhteet huoneessa riittävän kauan sellaisina, että omatoiminen tai autettu poistuminen huoneesta onnistuu.

DSB:n ja Räddningsverketin ehdottama koemenetelmä on tarkoitettu ennenkaikkea helposti asennettaville vesisumujärjestelmille. Vesisumujärjestelmien pieni vedenkulutus on oleellinen osa helppoa asennettavuutta ja liikuteltavuutta, sillä vähän vettä käyttävät järjestelmät voidaan liittää talousvesijohtoon, eivätkä ne näin ollen tarvitse erillistä vesiliitäntää tonttijohtoon.

#### 4. Tulosten arviointi

Helppoon asennettavuuteen liittyy se, että järjestelmien komponenteille ei aseteta erityisiä vaatimuksia. Oleellinen osa kiinteäasenteisten sammutusjärjestelmien hyväksyntämenettelyä on tiettyjen komponenttitestien läpäisy. Esimerkiksi asuntokäyttöön tarkoitetut sprinklerisuuttimet joutuvat läpäisemään vesivirtaamaan, lämpöherkkyyteen, mekaaniseen lujuuteen, lämmönkestävyyteen yms. liittyvän koesarjan, jonka tarkoituksena on lisätä järjestelmän luotettavuutta, ts. käytettävyyttä, palotilanteessa. Monesti sammutusjärjestelmän muillekin oleellisille komponenteille, kuten pumpuille ja venttiileille, asetetaan vaatimuksia. Tällaiset vaatimukset puuttuvat norjalaisesta menetelmästä. Vaatimusten puuttuminen ei periaatteessa huononna järjestelmän suorituskykyä palotilanteessa, mutta voi vaikuttaa siihen, onko järjestelmän toiminta oletetun tehokasta pitkän ajan kuluttua järjestelmän hankkimisesta. Järjestelmän luotettavuuden (käytettävyyden) näkökulmasta onkin tärkeää, että järjestelmää huolletaan säännöllisesti asiantuntevan tahon toimesta. Norjalaisen menetelmän erityispiirre on, että se jättää valmistajan antaman huolto-ohjelman noudattamisen yksinomaan ostajan vastuulle. Tämän perusteella voidaan väittää, että näiltä järjestelmiltä ei voida järjestelmän oletetun käyttöiän aikana odottaa samaa luotettavuutta kuin (kiinteäasenteisilta) järjestelmiltä, jotka kuuluvat hyvin määritellyn ja ulkopuolisen tahon toimesta suoritettun huolto- ja ylläpito-ohjelman piiriin.

### 4.2 Sammutusjärjestelmien suorituskyky

Yleisenä laadullisena johtopäätöksenä suoritetuista sammutuskokeista voidaan sanoa, että kaikki kokeisiin osallistuneet järjestelmät kykenivät selkeästi rajoittamaan palon kehitystä vapaaseen paloon nähden (ks. kuva 21). Vapaapalokokeita ei tässä koesarjassa käytännön syistä kyetty viemään niin pitkälle, että kaikki palokuorma olisi palanut loppuun. Myöskään kokeissa käytetyt palokuormat eivät vastanneet todellisen asuinhuoneen koko palokuormaa. Kuitenkin kokeissa mitattujen kaasulämpötilojen perusteella käytetyt palokuormat, erityisesti nurkkapalokuorma, kykenivät aiheuttamaan huoneen yläosaan lämpötiloja, jotka olisivat riittäneet aiheuttamaan yleissyttymisen täysin kalustetussa huoneessa. Vastaavasti sammutusjärjestelmät rajoittivat kaasulämpötiloja koetilassa niin alas, että tilan yleissyttyminen olisi käynyt mahdottomaksi, samoin palon leviäminen koetilan ulkopuolelle käytävään. Pääsääntöisesti korkeimmat lämpötilat kokeissa mitattiin sammutusjärjestelmän laukeamishetken tienoilla. Kokeen loppuun mennessä (15 minuuttia laukaisusta) lämpötilat olivat kaikissa tapauksissa

selkeästi laskeneet, palo oli rajoittunut hyvin pieneksi, ja se oli helppo sammuttaa käsin.

Kaikki kokeisiin osallistuneet järjestelmät kykenivät ylläpitämään koetilassa sellaisia olosuhteita riittävän kauan, että ihmisen poistuminen tilasta olisi ollut mahdollista. Kaasupitoisuuksista määritetyt FED-arvot eivät missään sammutuskokeessa nousseet tasolle, joka olisi merkinnyt todennäköistä lamaantumista. Poistumista haittaava FED-arvo ylittyi muutamissa kokeissa, mutta tällöinkin ylittyminen tapahtui vasta useiden minuuttien kuluttua palon syttymisestä. Raja-arvon ylitys tapahtui myös useammin koetilan yläosassa, seisovan ihmisen pään korkeudella. FED-arvon kannalta sarjan haastavin koe oli sohvakoe, joka edusti asunnon makuuhuonetta ja jossa koetilan ovi tästä syystä pidettiin kiinni. Tässä tapauksessa poistumista haittaava FED-arvo ylittyi muutamassa kokeessa alle 15 minuutissa myös makaavan ihmisen pään korkeudella.

Norjalaisessa koemenetelmässä henkilöturvallisuutta ei arvioida FED-arvon vaan CO-kertymän avulla, jonka raja-arvoksi on asetettu 15 000 ppm-min. Standardissa ISO13571 lamaantumiseen johtavalle CO-kertymälle on annettu arvo 35 000 ppm-min, jolloin norjalainen altistuskriteeri merkitsisi FED-arvoa 0,43, kun FED lasketaan ainoastaan hiilimodoksidin perusteella. Arvo on siten alueella, jolla altistuksen voidaan katsoa aiheuttavan haittaa poistumiselle.

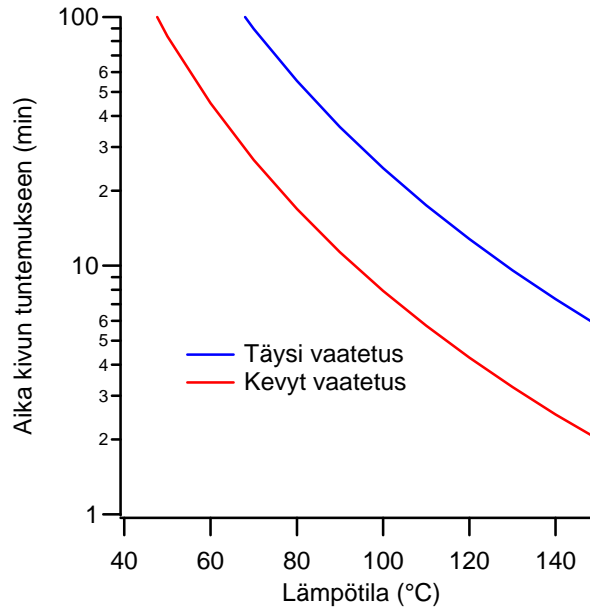
Tässä raportissa kuvatut FED-tarkastelut eivät huomioi lämpösäteilyn tai kaasulämpötilan (konvektiivinen lämmönsiirto) vaikutusta ihmiseen. Lämpösäteilyä kokeissa ei edes mitattu, sillä säteilymittarien suojaaminen veden suoralta jäähdytysvaikutukselta vesisammutuskokeessa, erityisesti vesisumukokeessa, on vaikeaa. Kaasulämpötilojen osalta voidaan tarkastella aikaa, jonka kuluessa tietty vakiolämpötila aiheuttaa iholla kipuaistimuksen (ISO13571). Tämä voidaan laskea kaavoilla

$$t_{\text{Iconv}} = (4.1 \times 10^8) \Gamma^{-3.61} \text{ ja} \quad (7)$$

$$t_{\text{Iconv}} = (5 \times 10^7) \Gamma^{-3.4}, \quad (8)$$

joista kaavaa (7) sovelletaan kun ihminen on täysin vaatetettu, ja kaavaa (8) kun vaatetus on hyvin kevyt. Kaavoilla lasketut kivulle altistavat ajat on esitetty kuvassa 20.

#### 4. Tulosten arviointi



Kuva 20. Iholla tuntuvalle kivulle altistava aika lämpötilan funktiona.

Asuntosprinklerien testauksessa käytetty, standardin UL1626 sisältämä palo-koemenetelmä käyttää kahta lämpötilakriteeriä arvioimaan henkilöturvallisuutta. Molemmissa tapauksissa arvioidaan kaasulämpötilaa 1,6 m:n korkeudella lattiasta lähellä nurkkapalokuormaa. Tämä kaasulämpötila ei saa minään hetkenä ylittää arvoa 93 °C, ja se ei saa minään yhtenäisenä 2 minuutin jaksossa olla ylempänä kuin 54 °C. Vertaamalla kuvaan 20 voidaan todeta, että nämä kriteerit edustavat erittäin hyvää turvallisuustasoa ihon palamisvaurioiden suhteen. Tehdyissä sammutuskokeissa täysin UL1626:n asennustapaa vastaavaa kaasulämpötilan mittauspistettä ei ollut. Suuntaa-antava vertailu voidaan suorittaa koetilassa olleiden kahden termoelementtipuun toiseksi ylimpiin elementteihin, jotka olivat 1,8 m:n korkeudella lattiasta. Tulokset osoittavat, että nurkkakoe on lämpöaltistuksen kannalta haastavin koe. Muutamissa kokeissa lämpötilojen huippuarvot ylittivät 100 °C, mutta toisaalta missään kokeessa lämpötila ei pysytele yhtenäistä 2 minuutin jaksoa 54 °C:n yläpuolella.

Yllä esitetyt tarkastelut kuvaavat ihon lämpöaltistusta. Standardin ISO13571 mukaan, mikäli ilman vesihöyrypitoisuus on alle 10 tilavuusprosenttia, iho vaurioituu ennen kuin lämpimän kaasun hengittäminen vaurioittaa keuhkoja. Kuitenkin, mikäli lämpötila on yli 60 °C ja ilma on vesihöyryn kyllästämää, hengitystiet voivat vaurioitua.



On huomattavaa, että norjalaisen koemenetelmän sisältämät kriteerit kaasulämpötilalle koetilassa ovat merkittävästi sallivammat kuin UL1626:ssa. Ensinnäkin norjalaisessa menetelmässä lasketaan kaasulämpötila keskiarvona kahdeksan mittauspisteen (kahden termoelementtipuun) yli sekä lisäksi ajan suhteen keskiarvoistettuna minuutin yli. Toiseksi, näin saadulle keskiarvolle aletaan asettaa vaatimuksia vasta viiden minuutin kuluttua järjestelmän laukaisusta. Kolmanneksi, aika- ja paikkakeskiarvoistetun lämpötilan hylkäysraja on 100 °C. Erityisen kyseenalaista kriteeristössä on, että järjestelmältä ei edellytetä minikäänlaista lämpötilan hallintaa viiden ensimmäisen minuutin aikana.

Nurkkakokeiden osalta voidaan tarkastella lämpötilaa, joka mitattiin sytytyskohdan yläpuolella kattomateriaalin sisällä. Tämä nimenomainen lämpötila ja siihen liittyvä hyväksyntäraja on UL1626-hyväksyntätestissä kriittinen suure, sillä se liittyy pystysuunnassa etenevän palon pysäyttämiseen. Käytännössä on osoittautunut, että mikäli liekki ehtii levitä pystysuunnassa siten, että liekin huluavat osat koskettavat katon alapintaa, koe on hyvin lähellä hylkäystä. Tällöin hiiltymä nurkassa on edennyt yli puolen huonekorkeuden (ks. kuva 21). Tässä koesarjassa järjestelmä U1, ts. peitelevyllinen asentosprinkleri, ei onnistunut rajoittamaan pystysuuntaista palon leviämistä riittävästi siten, että kattomateriaalin lämpötila olisi jäänyt alle 260 °C:n. Tulosta arvioitaessa on kuitenkin huomioitava, että tässä koesarjassa käytetyt materiaalit (sekä vaahto että seinävaneri) eivät vastanneet UL1626:n materiaaleja. Sekä peitelevyn poistaminen (U1\_NAK) että vesivuon kasvattaminen (U2) palauttivat kattomateriaalin lämpötilan huipparvon alle 260 °C:n.

Näkyvyyttä kokeissa mitattiin ainoastaan seisovan ihmisen pään korkeudella käytävässä, mikä rajoitti mittaukset nurkka- ja keittiökokeisiin, joissa ovi koetilaan oli auki. Tulosten mukaan näkyvyys ei rajoittunut merkittävästi. Näkyvyys oli useimmissa tapauksissa enemmän kuin 5 m suurimman osan kokeen kestosta. Muutamassa tapauksessa näkyvyys laski 2 metriin. Käytävässä kuvattujen videoiden perusteella lähellä lattiaa näkyvyys oli kokeissa merkittävästi parempi kuin savuntiheysmittarin korkeudella (1,8 m). Näin ollen järjestelmien toiminta ei vaikeuttanut poistumista käytävää pitkin.

Yhteenveto järjestelmien laukeamisajoista on esitetty taulukossa 10. Järjestelmä Q1 laukesi keittiökokeessa ennen kuin öljy syttyi. Tulokset osoittavat, että keittiökokeessa palo levisi hitaammin kuin nurkka- ja sohvakokeissa. Nurkka- ja sohvakokeiden tapauksessa Q1 oli nopein kaikista järjestelmistä, ja erityisesti nopeampi kuin P2, mikä korostaa ilmaisimen ja ilmaisinjärjestelmän asetusten merkitystä järjestelmän nopeudelle mutta myös alttiudelle erheelliseen lau-

#### 4. Tulosten arviointi

kaisuun. Peitelevyllisellä suuttimella varustetut järjestelmät U1 ja U2 olivat n. 30 s hitaampia nopeasti kehittyvässä nurkkakokeessa kuin näkyvään suuttimeen perustunut U1\_NAK. Järjestelmän F1 laukeamisajat ovat täysin vertailukelpoiset muiden järjestelmien laukeamisaikojen kanssa, vaikka periaatteessa suuttimen asennuspaikkaa etäällä kattopinnasta ja etäällä palokuormista voidaan ajatella laukeamista hidastavana tekijänä.

Taulukko 10. Järjestelmien laukeamisajat (min:s) määritettynä sytytysketkestä. Sytytys-hetki keittiökokeiden tapauksessa oli öljyn syttymishetki.

	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>Q1</b>	<b>U1</b>	<b>U1_NAK</b>	<b>U2</b>
Nurkka	1:25	1:33	1:06	1:24	0:46	1:53	1:25	1:54
Sohva	1:49	1:28	1:17	1:00	0:47	1:51	-	-
Keittiö	2:12	1:59	2:37	2:19	-	2:52	-	-

Eri järjestelmien suorituskykyä ei tämän tutkimuksen perusteella voi suoraan verrata toisiinsa. Ensinnä, kaikkia järjestelmiä ei ollut mitoitettu samaan käyttö-tarkoitukseen. Niinpä mukana oli asuntokäyttöön (NFPA 13D ja NRPA13 R) mitoitettuja tavanomaisia asuntosprinklereitä, OH1-sprinkleriluokkaan hyväksytyjä vesisumujärjestelmiä (P1, F2) sekä järjestelmiä, joilla ei ollut selkeää kolmannen osapuolen antamaa hyväksyntää johonkin sovellukseen, joskin järjestelmä Q1 oli osallistunut norjalaisen koemenetelmän esikokeisiin. Käytännön syistä johtuen kaikkien järjestelmien tapauksessa ei myöskään ollut mahdollista säätää kohtilan pinta-alaa suuttimen suurimman suojausalan mukaiseksi. Kuitenkin tulosten perusteella näyttäisi, että OH1-luokkaan hyväksytyt vesisumujärjestelmät kykenevät tuottamaan asuntosovelluksissa samanlaisen suojaustason kuin erityisesti asuinsovelluksiin suunnitellut tavanomaiset sprinklerit.



Kuva 21. Nurkkakokeen palokuormalle aiheutuneet tuhot vapaassa palossa (yllä) sekä kolmessa sammutuskokeessa (alla vasemmalta oikealle: U1, U1\_NAK, U2). Keskimmäisessä kuvassa on selkeästi nähtävissä asuntosprinklerin kastelema osuus seinästä.

### 4.3 Asennuskriteerit

Sekä norjalaista koemenetelmää että tässä julkaisussa kuvattua menetelmän muunnelmaa on pidettävä ensisijaisesti yhtä huonetta suojaamaan tarkoitettujen järjestelmien koemenetelmänä. Sellaisenaan se on liikuteltavien ja helposti asennettavien sammutusjärjestelmien koemenetelmä. Suojattavan huoneen mitat tulee valita siten, että huoneala on suurin, jonka testattavalla sammutusjärjestelmällä saa suojata. Menetelmä ei suoraan rajoita järjestelmän suunnittelua millään tavalla; epäsuora rajoite tulee kokeen kestoajasta, joka on 20 minuuttia järjestelmän laukaisusta. Todettakoon erityisesti, että menetelmä ei aseta mitään rajoitteita laukaisutavalle (automaattisuutin, ilmaisuun perustuva laukaisu), järjestelmän toimintapaineelle (vakioaine, laskeva paine, jaksottainen toiminta ym.), suutintyyppille (veden syöttö suojattavaan tilaan voi perustua joka yhteen suuttimeen tai suureen määrään eri tavoin sijoitettuja suuttimia) tai vesilähteelle (säiliö, käyttövesijohto ym.).

Menetelmän mahdollisena ongelmana voidaan pitää tilannetta, jossa koemenetelmän antamia asennuskriteereitä koetetaan soveltaa samanaikaisesti useampaan kuin yhteen huoneeseen tai tilannetta, jossa asennuskriteereitä koetetaan soveltaa tilaan, joka on suurempi kuin kokeissa käytetty huone. Palokokeen tulokset osoittavat, että sammutusjärjestelmien suorituskyky riittää rajaamaan palon siihen huoneeseen, jossa palo syttyy. Tämä kuitenkin edellyttää, että asennettujen järjestelmien suorituskyky pysyy samantasoisena kuin kokeessa testattujen järjestelmien suorituskyky.

Sprinklerijärjestelmille (EN 12845) ja sprinklerityyppisille vesisumujärjestelmille (EN TS 14972) järjestelmien hydraulinen mitoitus perustuu mitoitusalan käsitteeseen. Sprinklerityyppisen sammutuslaitteiston toiminta perustuu oletukseen siitä, että kehittyvän palon ympäristöstä laukeaa niin paljon sprinklerisuuttimia, että palo lopulta rajautuu uloimpien auenneiden suutinten muodostaman kehän sisäpuolelle (mukaan lukien näiden suutinten koko suojausala). Suurimman sallitun tällaisen kehän rajoittamaa pinta-alaa kutsutaan mitoitusalaksi. Tällöin jokaiselta suuttimelta tulee saada ennalta määrätty paine ja virtaama. Mitoitusala perustuu yhtäältä kokemukseen todellisista tulipaloista ja toisaalta hallituissa olosuhteissa tehtyihin palokokeisiin. Mitoitusala riippuu suojattavan kohteen edustamasta paloriskistä.

Mikäli kokeessa käytetään vain yhtä sammutussuutinta, suuttimen suojausala määräytyy käytetyn koetilan pinta-alasta (koetila määritellään neliön muotoiseksi). Tällaisen järjestelmän suorituskyvyn voidaan olettaa olevan koemenetelmän

mukainen vain, jos yksi ainoa suutin hallitsee syttyneen palon. Jos järjestelmällä halutaan suojata esim. tila, joka on koetilaa enintään kaksi kertaa suurempi, vaaditaan suojauksen toteutukseen vähintään kaksi suutinta. Tällöin on kuitenkin mahdollista sekä paloilmaisuun että ampullilaukaisuun perustuvan järjestelmän tapauksessa, että molemmat suuttimet laukeavat. Koemenetelmän mukaisen suojaustason varmistaminen vaatii tällöin, että vettä purkautuu suutinta kohden vähintään saman verran kuin sammutuskokeessa, ts. vesisäiliön ja/tai paineenkorotuspumpun tuoton tulee olla kaksinkertainen kokeessa käytettyyn nähden. Mikäli vesilähteenä on käyttövesijohto, tulee hydraulisin painehäviölaskelmin varmistua paineen ja virtaaman riittävydestä. Tarkastelu tulee suorittaa vastaavasti, mikäli suojattava ala on vielä suurempi.

Tilan suurentuessa nousee esiin kysymys paitsi tilan paloluokituksesta, myös siitä, monenko suuttimen voidaan olettaa laukeavan palossa. Esimerkiksi NFPA13R-standardin mukaan enintään nelikerroksiset asuinrakennukset voidaan suojata asutokäyttöön hyväksytyillä sprinklereillä, kun järjestelmät mitoitetaan enintään neljälle yhtäaikaan toimivalle suuttimelle 30 minuutin toiminta-ajaksi.

Avosuuttimiin perustuvien sammutusjärjestelmien mitoitusperusteita asutokäyttöön ei tällä hetkellä ole olemassa. Tässä raportissa kuvattujen kokeiden perusteella voidaan kuitenkin olettaa, että huoneessa syttyvä palo kykenee aiheuttamaan ilmaisukynnyksen ylityksen myös ilmaisimissa, jotka sijaitsevat huoneen ulkopuolella. Tällöin ongelmaksi muodostuu järjestelmän suunnittelu siten, että vain palon hallinnan kannalta oleelliset suuttimet laukeavat riittävän aikaisin, ja palon hallinnan kannalta epäoleelliset suuttimet eivät turhaan rasita vesilähdettä. Tarkastelussa on tällöin välttämättä otettava huomioon monet markkinoilla olevat ilmaisintyyppit, näiden erilaiset ilmaisutavat, ja lopulta suuresta määrästä ilmaisimia koottavan paloilmoinjärjestelmän integrointi osaksi sammutusjärjestelmää.

## 5. Johtopäätökset

Tässä julkaisussa kuvatun koesarjan esikuvana olleen norjalaisen tutkimusraportin (Drangsholt & Rossebø 2006) perusteella laadittu palotestimenetelmä ”Easily installed automatic extinguishing system” (DSB & Räddningsverket 2007) osoitautui pääpiirteissään helposti toteutettavaksi. Muutokset, joita menetelmään tehtiin, johtuivat pääasiassa siitä, että tutkimukseen haluttiin mahdollisimman monta erilaista sammutusjärjestelmää. Kuitenkin keittiöpalokokeen sytytystapaa jouduttiin muuttamaan merkittävästi pysyvän syttymän varmistamiseksi.

Sammutusjärjestelmien suorituskyvystä voidaan vetää seuraavat johtopäätökset:

- Kaikki kokeisiin osallistuneet järjestelmät kykenivät selkeästi rajoittamaan palon kehitystä vapaaseen paloon nähden ja rajasivat palon siihen huoneeseen, jossa se syttyi ja estivät huoneen yleissyttymisen.
- Eri järjestelmien suorituskykyä ei voi suoraan verrata toisiinsa, sillä kaikkia järjestelmiä ei testattu suuttimen suurimmalla suojausalalla.
- Järjestelmät rajoittivat kaasulämpötiloja ja ihmiselle haitallisten kaasujen pitoisuuksia siten, että henkilöturvallisuus huoneessa ei vaarantunut ja poistumiseen oli riittävästi aikaa.
- Norjalaisen koemenetelmän sisältämät hyväksyntäkriteerit sekä kaasulämpötiloille että hiilimonoksidin pitoisuudelle ovat henkilöturvallisuutta ajatellen liian sallivat.
- Esteettisistä syistä käytettävät peitelevyt hidastavat asunospinklerien toimintaa, jolloin hidastunut järjestelmän laukeaminen edellyttää vesivuon kasvattamista, jotta järjestelmän suorituskyky säilyy.
- Avosuuttimiin perustuvat sammutusjärjestelmät, joita ohjataan paloilmamaisimien avulla, voivat tuottaa saman suojaustason kuin ampullilaukaisuun perustuvat sprinklerijärjestelmät.

- Avosuutinjärjestelmien laukaisunopeus (ja siten suorituskyky) riippuu järjestelmää ohjaavien paloilmamaisimien asetuksista sekä siitä, miten ilmaisjärjestelmän ohjausyksikkö on ohjelmoitu (esim. montako erilaista ilmaisua tarvitaan ennen kuin järjestelmä laukaistaan); herkiksi säädetyt ilmaisimet voivat aiheuttaa järjestelmän laukeamisen jo kytevässä vaiheessa (tai altistaa erheellisille laukaisuille).
- OH1-tasoisien sprinklerijärjestelmän kanssa ekvivalentti vesisumujärjestelmä voi tuottaa riittävän suojaustason henkilöturvallisuussovelluksissa.
- Tehdyt kokeet eivät ota kantaa siihen, miten järjestelmät tulisi suunnitella huoneiston tai kokonaisen asuinrakennuksen suojaukseen; kokeet osoittavat järjestelmien toimivuuden yhden huoneen suojauksessa.

Lopuksi on huomautettava, että kokeissa käytetyt palokuormat oli koottu materiaaleista, joita tyypillisesti käytetään palotestauksessa. Tällaisten materiaalien valinta perustuu yleensä palo-ominaisuuksien hyvään toistettavuuteen sekä materiaalien helppoon saatavuuteen suurina määrinä ja edulliseen hintaan. Palotestimateriaalit ovat palosuojamattomia, sillä tavoitteena on helposti leviävä palo; näin ollen materiaalit myös palavat puhtaammin kuin palosuojatut materiaalit. Myös testeissä käytettävät sytytysskenaariot poikkeavat tosielämästä, sillä usein kytevä vaihe jätetään pois ja palonkehitys aloitetaan suoraan liekehtivästä vaiheesta. Palokaasujen tuotto todellisista materiaaleista ja todellisilla syttymisskenaarioilla voi poiketa merkittävästi testitilanteesta. Esimerkiksi Pelastusopiston paloteatterissa suoritettava televisiopalodemo osoittaa, että huone voi merkittävässä määrin täytyä savulla ennen kuin lämmöntuotto palosta riittää aktivoimaan asuntosprinklerin. Yksi mahdollinen aihe asuntosprinklausta koskevalle jatkotutkimukselle onkin asuntosprinklerien toiminnan ja henkilöturvallisuuden selvittäminen todellisilla materiaaleilla kalustetussa asunnossa.

## Lähdeluettelo

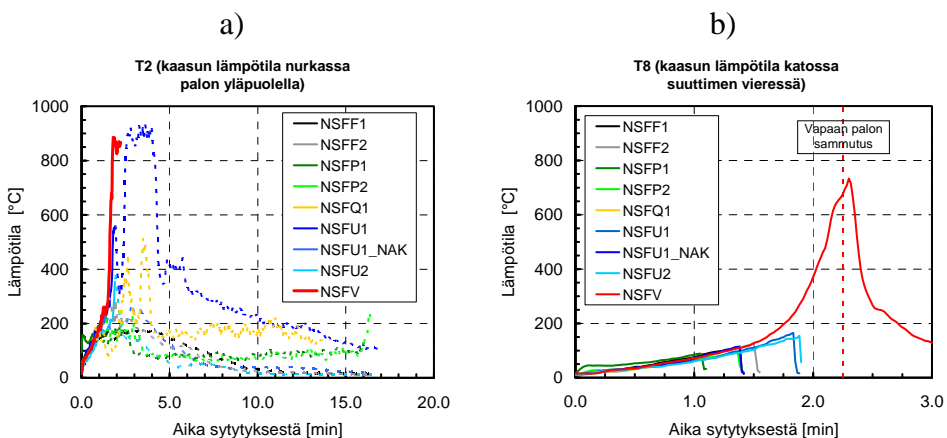
- Drangsholt, G. & Rossebø, B. 2006. Vanntåkeanlegg i omsorgsboliger – En kartlegging av hvilken effekt mobile og lett flyttbare vanntåkeanlegg har på brannsikkerheten i omsorgsboliger. Trondheim: SINTEF 2006. 32 s. SINTEF Rapport NBL A06108. ISBN 82-14-02462-5. [http://nbl.sintef.no/publication/lists/docs/NBL\\_A06108.pdf](http://nbl.sintef.no/publication/lists/docs/NBL_A06108.pdf).
- DSB & Räddningsverket 2007. Easily installed automatic extinguishing systems. <http://www.srv.se/upload/F%C3%B6rebyggande/Brandf%C3%B6rebyggande/SI%C3%A4cksystem/Easily%20installed%20automatic%20extinguishing%20system%20-%20English%20version.pdf>.
- ISO 13571:2007. Life-threatening components of fire – Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data.
- Jin, T. 2002. Visibility and Human Behavior in Fire Smoke. SFPE handbook of fire protection engineering. 3rd ed., NFPA, Quincy, MA (2002). Pp. 2-42–2-53.
- Rinne, T., Tillander, K., Vaari, J., Belloni, K. & Paloposki, T. 2008. Asuntosprinklaus Suomessa – vaikuttavuuden arviointi. VTT Tiedotteita 2430. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2008/T2430.pdf>.
- UL 1626, UL Standard for Safety for Residential Sprinklers for Fire-Protection Service, 3rd Ed. (2001). Northbrook: Underwriters Laboratories Inc. (UL). ISBN 0-7629-0688-X.
- Weckman, H. 2004. Poistumisvalaistus ja turvallisuuskilvet. Kirjallisuuskatsaus tulevan asetuksen tueksi. [http://www.intermin.fi/pelastus/images.nsf/files/.../\\$file/Weckman2004.pdf](http://www.intermin.fi/pelastus/images.nsf/files/.../$file/Weckman2004.pdf). Ladattu 18.12.2009.



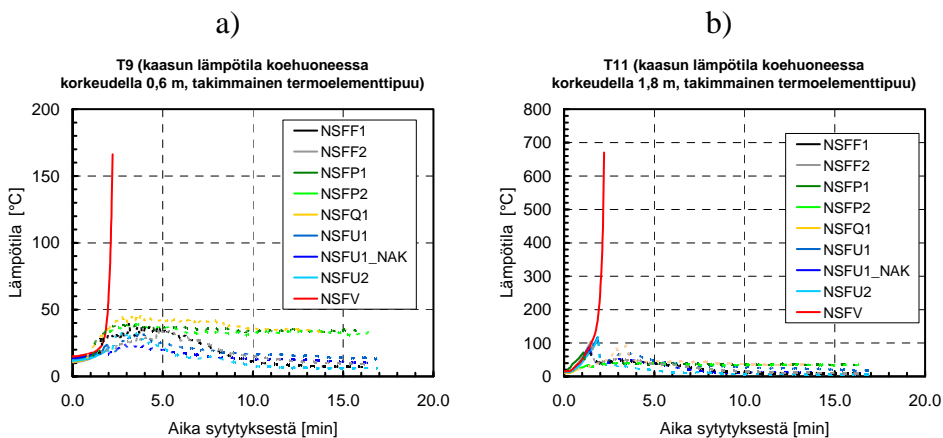
# Liite A: Polttokokeissa mitatut lämpötilat

Lämpötilakuvaajat esitetään seuraavista kohdista: palon yläpuolelta, suuttimen läheltä, kattorakenteen sisäpuolelta (vain nurkkapalo) sekä huoneen sisältä ja käytävällä olevista TE-puista 0,6 m:n ja 1,8 m:n korkeuksilta.

## Nurkkakokeet

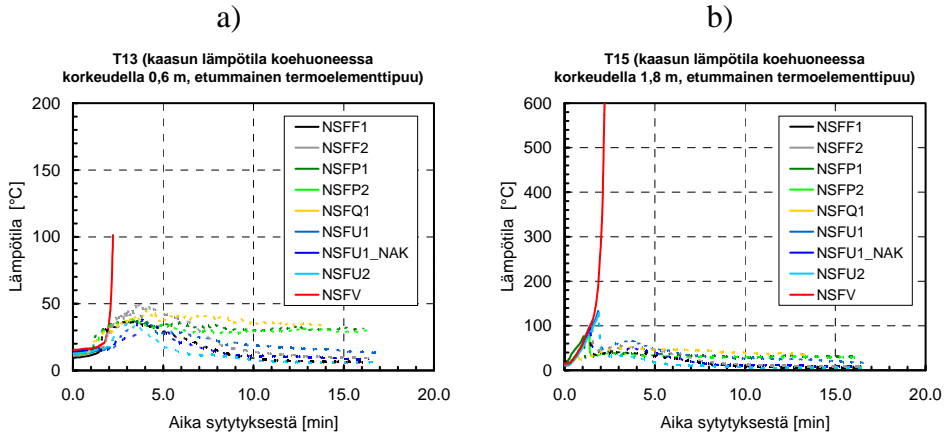


Kuva A22. Lämpötilat nurkkapalokokeissa a) palon yläpuolella ja b) suuttimen lähellä.

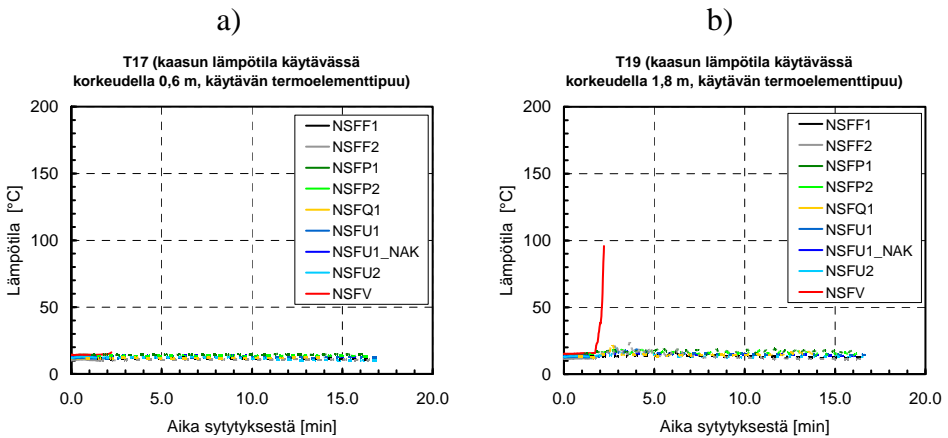


Kuva A23. Takimmaisesta termoelementtipuusta a) 0,6 m:n ja b) 1,8 m:n korkeudelta mitatut lämpötilat nurkkapalokokeissa.

## Liite A: Polttokokeissa mitatut lämpötilat



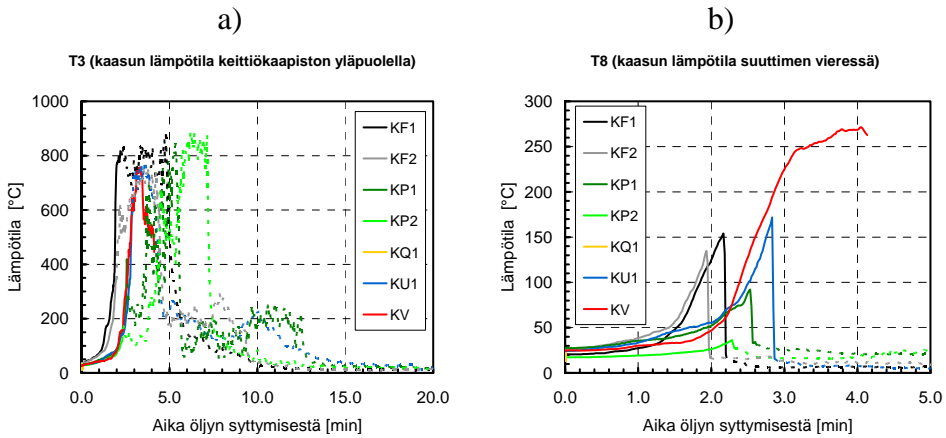
Kuva A24. Ovea lähinnä olevasta termoelementtipuusta a) 0,6 m:n ja b) 1,8 m:n korkeudelta mitatut lämpötilat nurkkapalokokeissa.



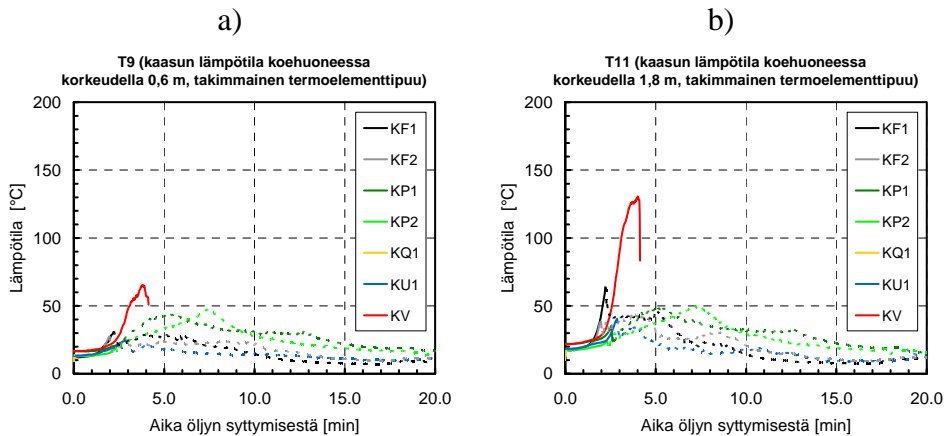
Kuva A25. Käytävän termoelementtipuusta a) 0,6 m:n ja b) 1,8 m:n korkeudelta mitatut lämpötilat nurkkapalokokeissa.

## Keittiökokeet

Käytävän termoelementtipuusta ( $h = 0,6 \text{ m}$  ja  $1,8 \text{ m}$ ) mitatuista lämpötiloista ei ole piirretty erillisiä kuvaajia, koska lämpötilat olivat n.  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ :n luokkaa.

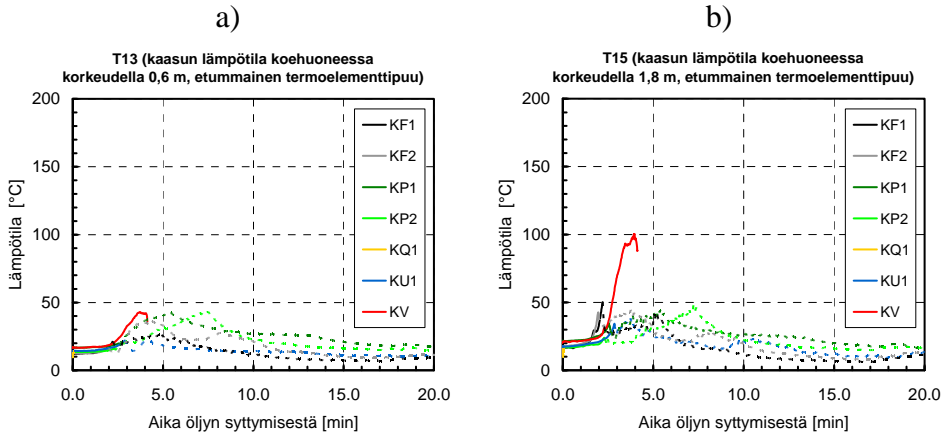


Kuva A26. Lämpötilat keittiöpalokokeissa a) palon yläpuolella ja b) suuttimen lähellä.



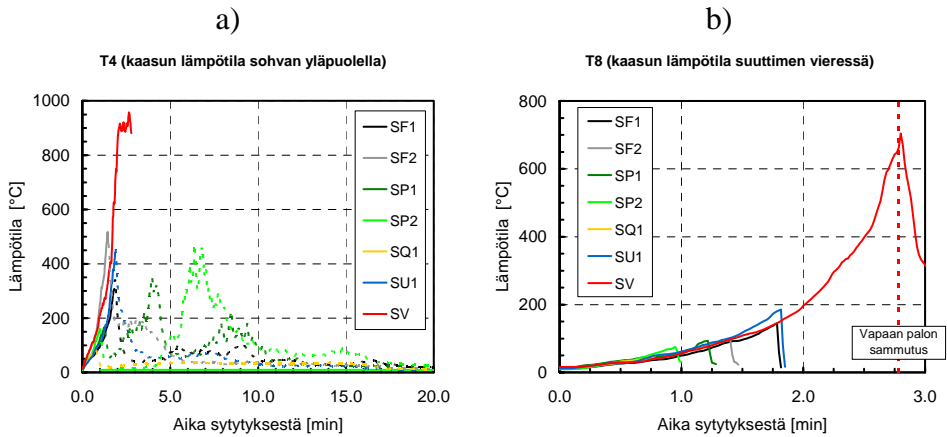
Kuva A27. Takimmaisesta termoelementtipuusta a)  $0,6 \text{ m}$ :n ja b)  $1,8 \text{ m}$ :n korkeudelta mitatut lämpötilat keittiöpalokokeissa.

## Liite A: Polttokokeissa mitatut lämpötilat

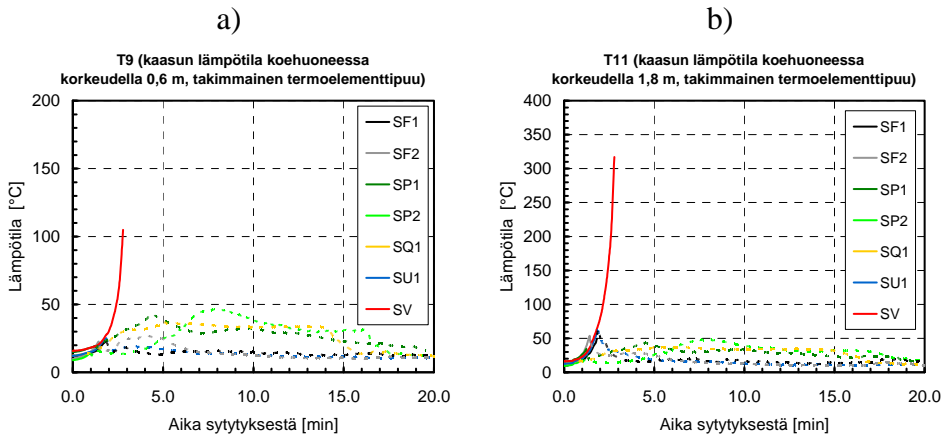


Kuva A28. Ovea lähinnä olevasta termoelementtipuusta a) 0,6 m:n ja b) 1,8 m:n korkeudelta mitatut lämpötilat keittiöpalokokeissa.

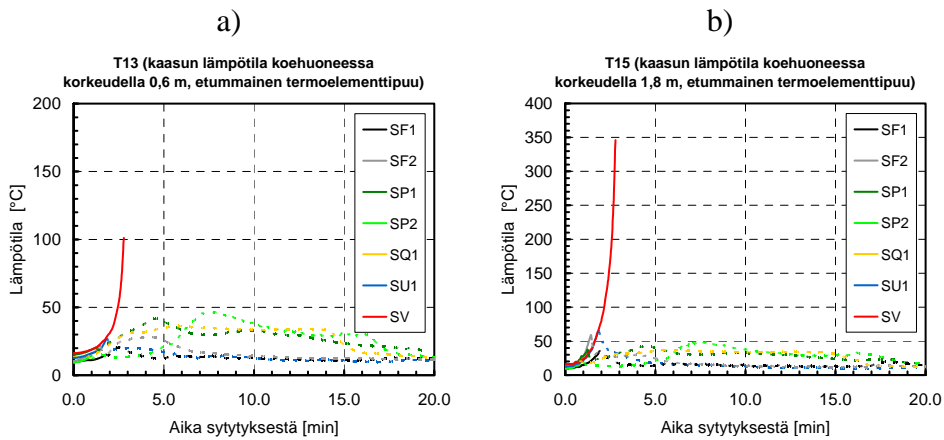
## Sohvakokeet



Kuva A29. Lämpötilat sohvapalokokeissa a) palon yläpuolella ja b) suuttimen lähellä.



Kuva A30. Takimmaisesta termoelementtipuusta a) 0,6 m:n ja b) 1,8 m:n korkeudelta mitatut lämpötilat sohvalokokeissa.



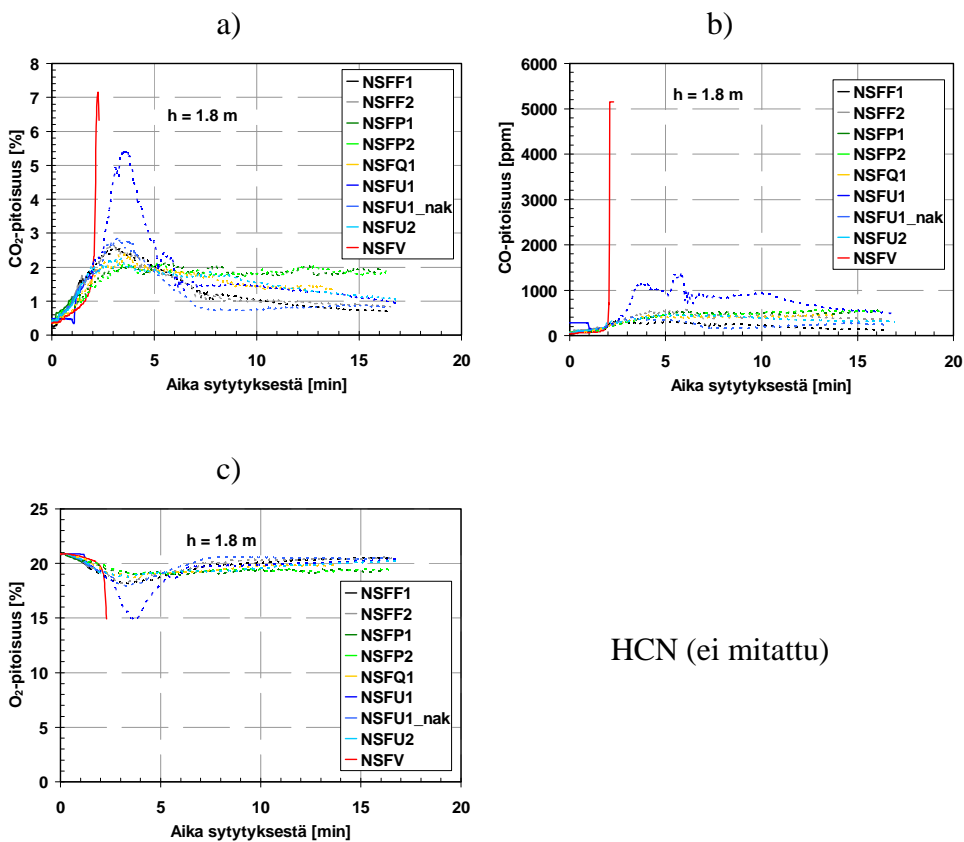
Kuva A31. Ovea lähinnä olevasta termoelementtipuusta a) 0,6 m:n ja b) 1,8 m:n korkeudelta mitatut lämpötilat sohvalokokeissa.



## Liite B: Polttokokeiden kaasupitoisuudet

Seuraavissa kuvissa esitetään yksittäisten kaasukomponenttien CO, CO<sub>2</sub>, HCN ja O<sub>2</sub> pitoisuudet kaikissa mittauspisteissä (käytävä, palohuone).

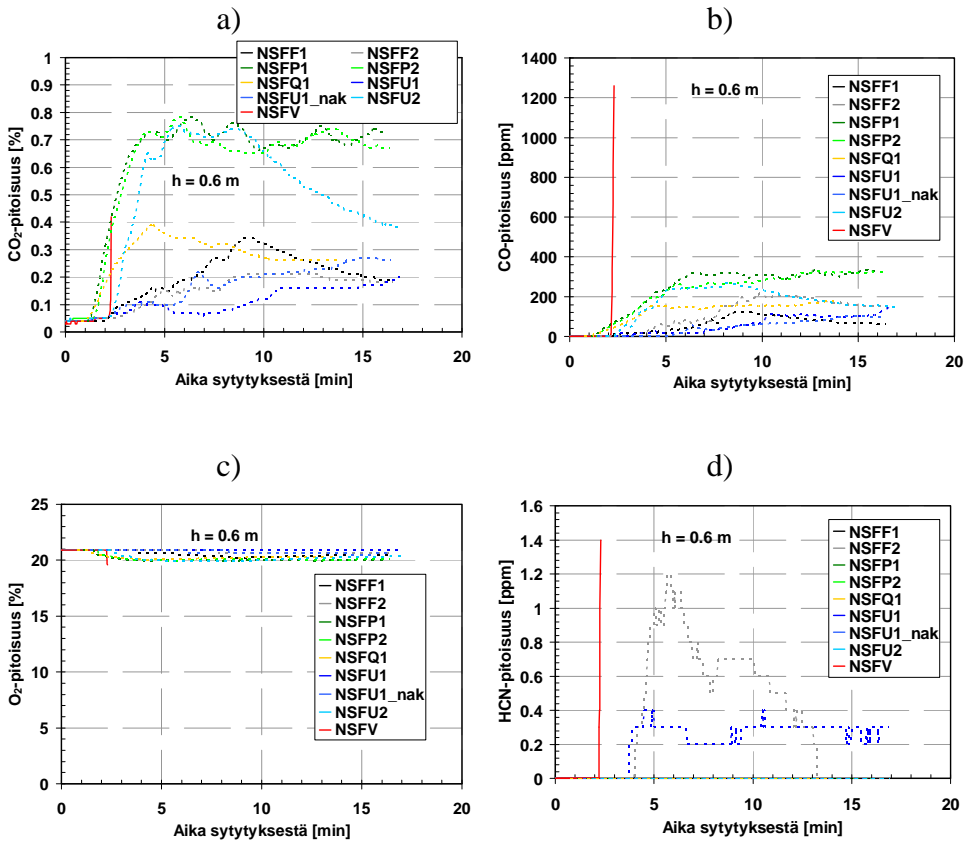
### Nurkkapalokokeet



HCN (ei mitattu)

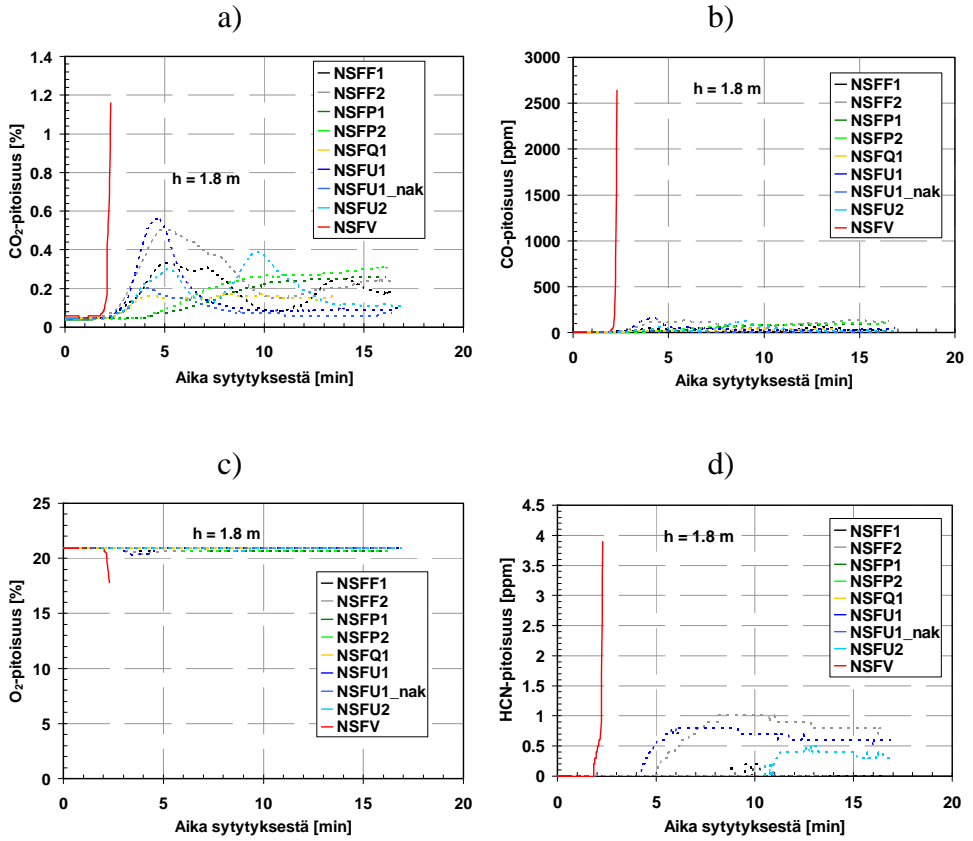
Kuva B32. Palohuoneen sisältä 1,8 m:n korkeudelta mitatut kaasupitoisuudet eri polttokoikeissa.

Liite B: Polttokokeiden kaasupitoisuudet



Kuva B33. Palohuoneen sisältä 0,6 m:n korkeudelta mitatut kaasupitoisuudet eri polttoko-keissa.

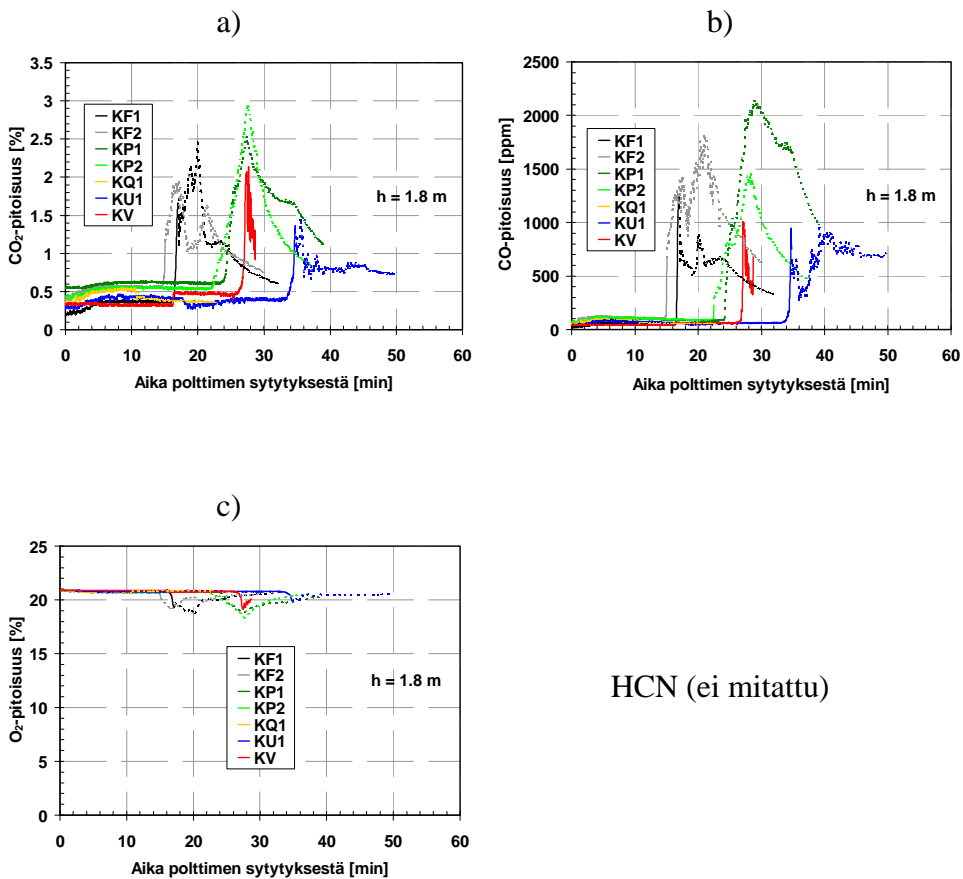




Kuva B34. Käytävältä 1,8 m:n korkeudelta mitatut kaasupitoisuudet eri polttokokeissa.

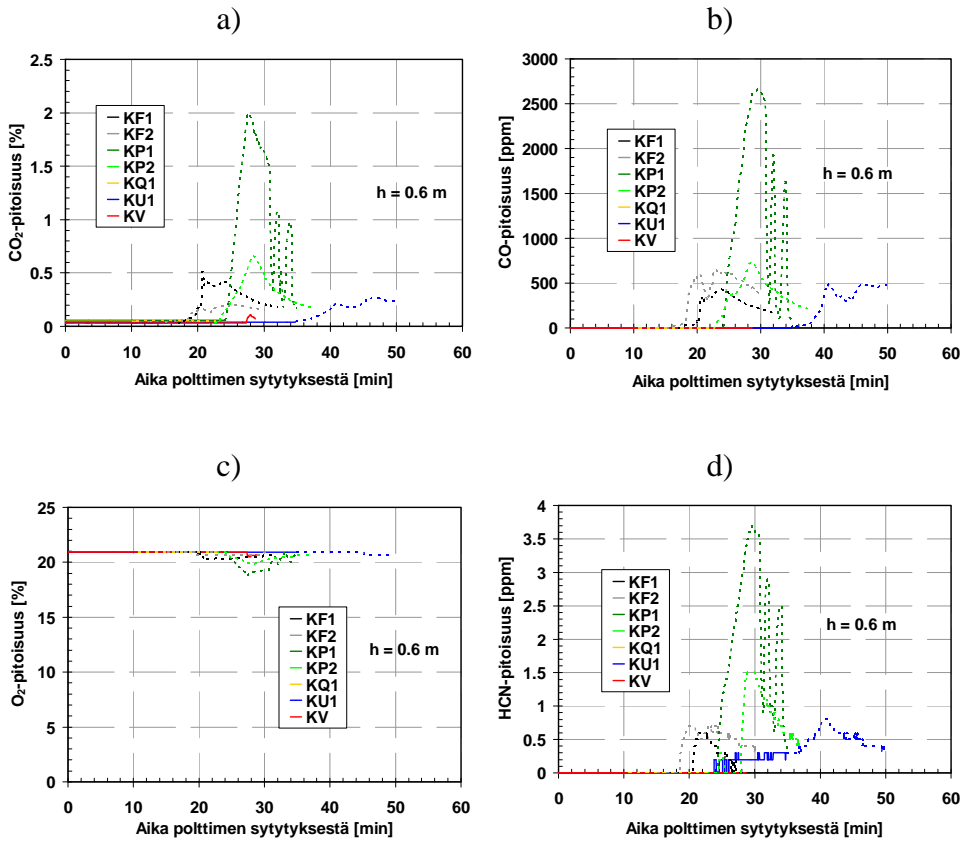
## Keittiöpalokokeet

### Kaasupitoisuudet polttimen syttymisajanhetkestä eteenpäin



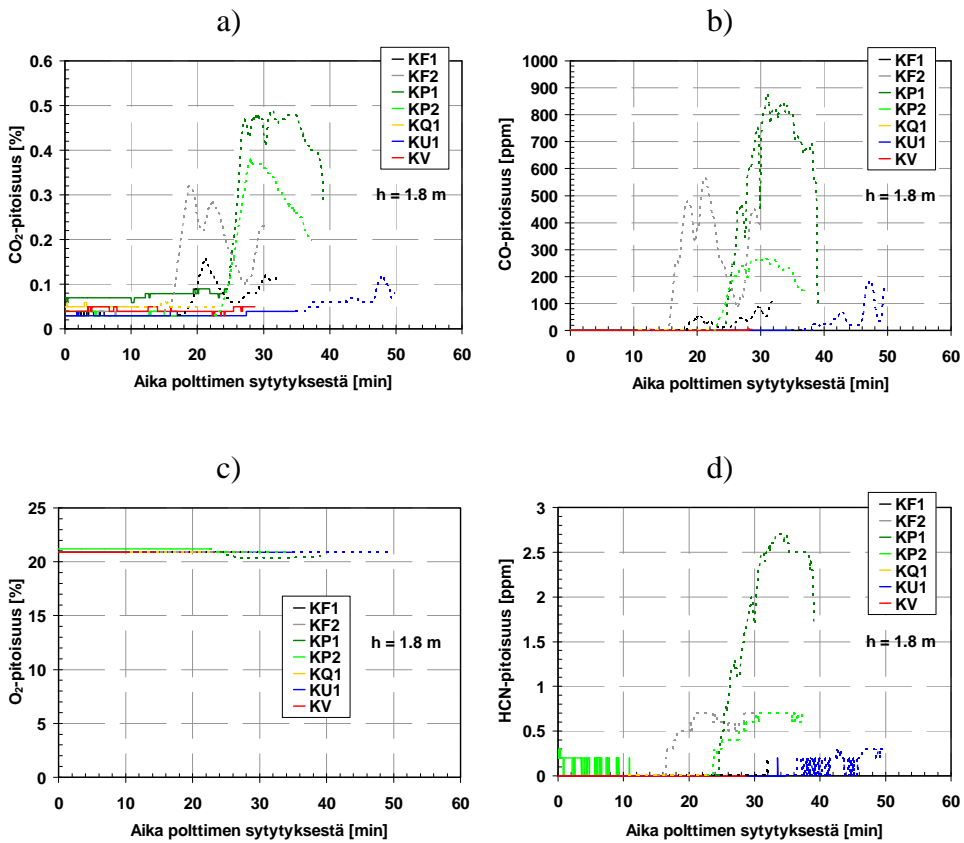
HCN (ei mitattu)

Kuva B35. Palohuoneen sisältä mitatut kaasupitoisuudet eri polttokokeissa.



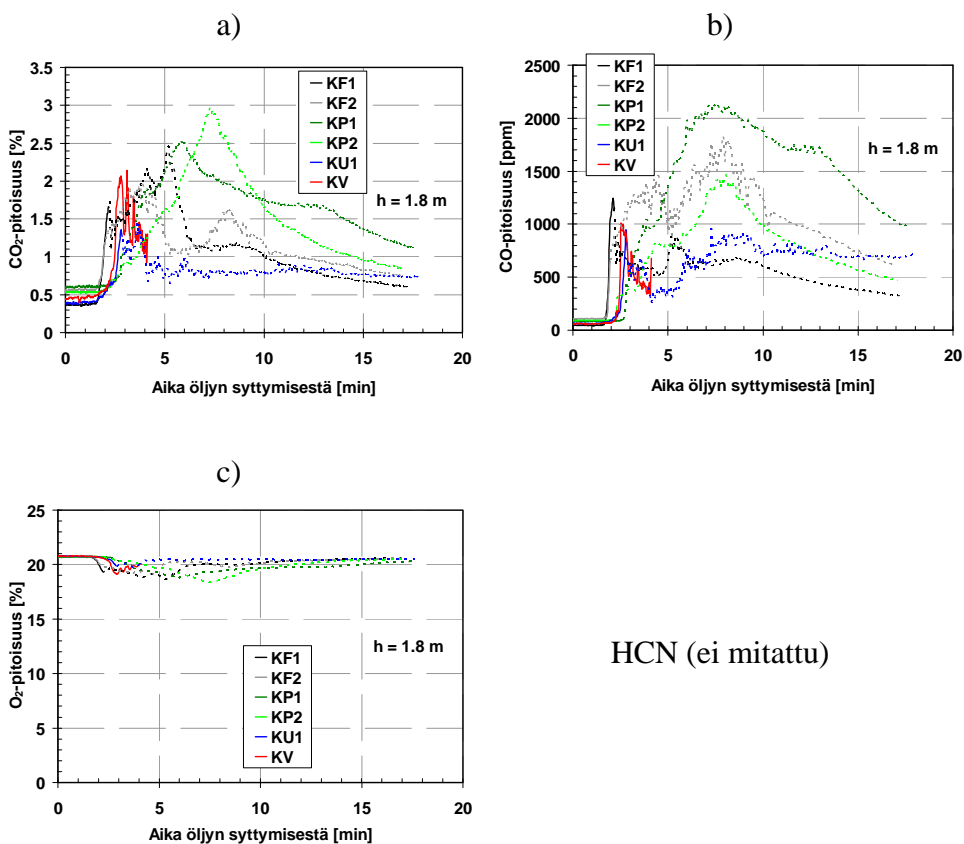
Kuva B36. Palohuoneen sisältä mitatut kaasupitoisuudet eri polttokokeissa.

Liite B: Polttokokeiden kaasupitoisuudet



Kuva B37. Käytävältä mitatut kaasupitoisuudet eri polttokokeissa.

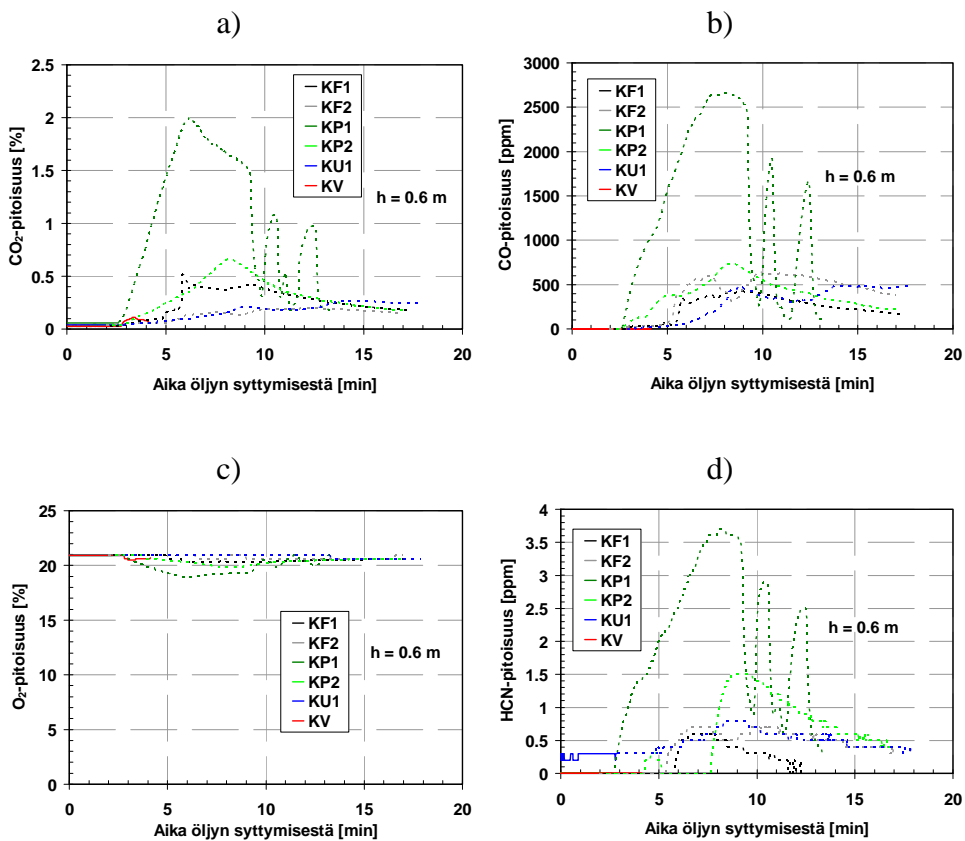
### Kaasupitoisuudet öljyn syttymisajanhetkestä eteenpäin



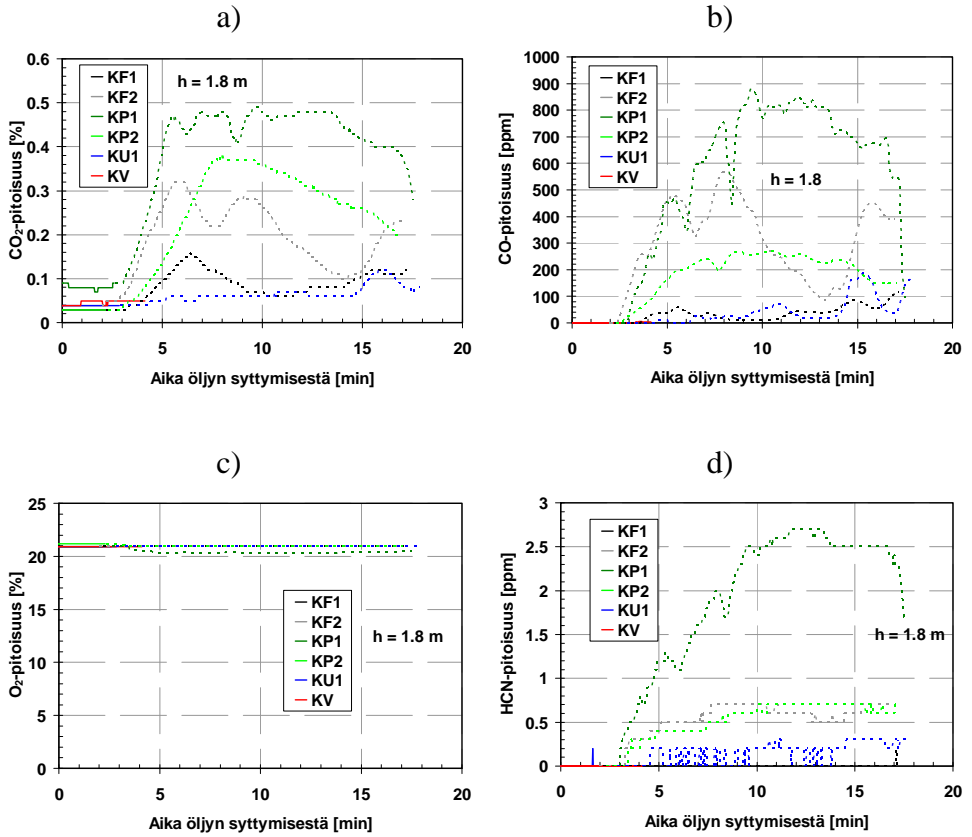
HCN (ei mitattu)

Kuva B38. Palohuoneen sisältä mitatut kaasupitoisuudet eri polttokokeissa.

Liite B: Polttokokeiden kaasupitoisuudet

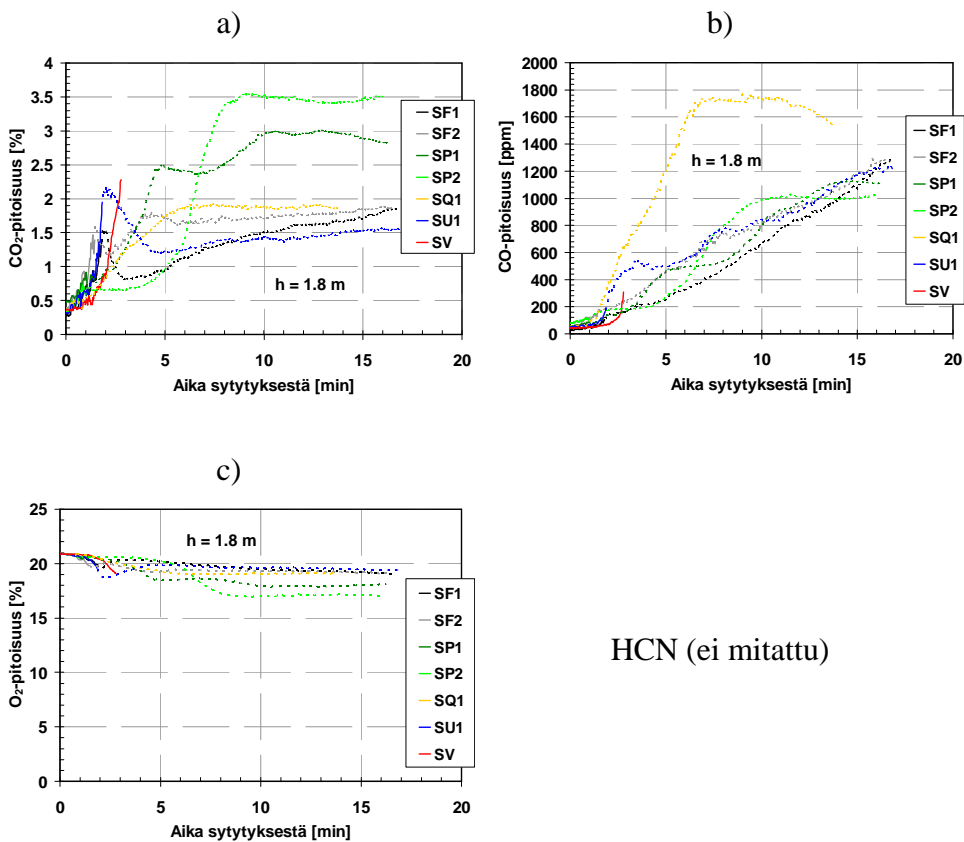


Kuva B39. Palohuoneen sisältä mitatut kaasupitoisuudet eri polttokokeissa.



Kuva B40. Käytävältä mitatut kaasupitoisuudet eri polttokokeissa.

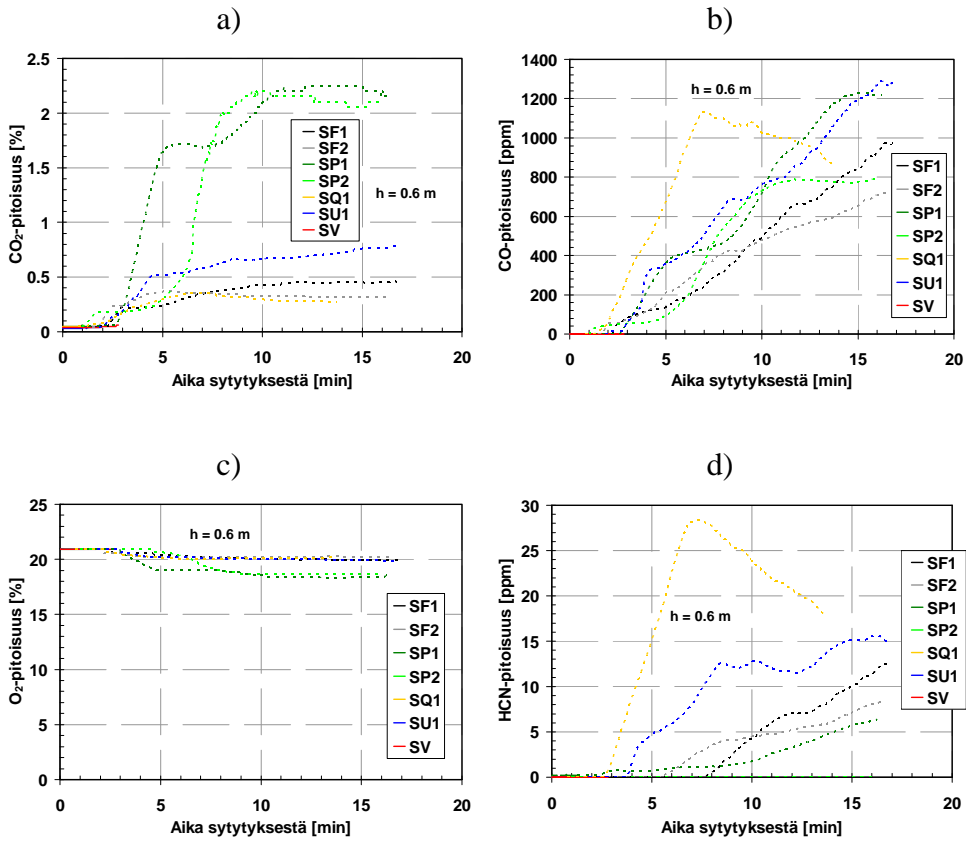
## Sohvapolokoheet



HCN (ei mitattu)

Kuva B41. Palohuoneen sisältä 1,8 m:n korkeudelta mitatut kaasupitoisuudet eri polttokokeissa.



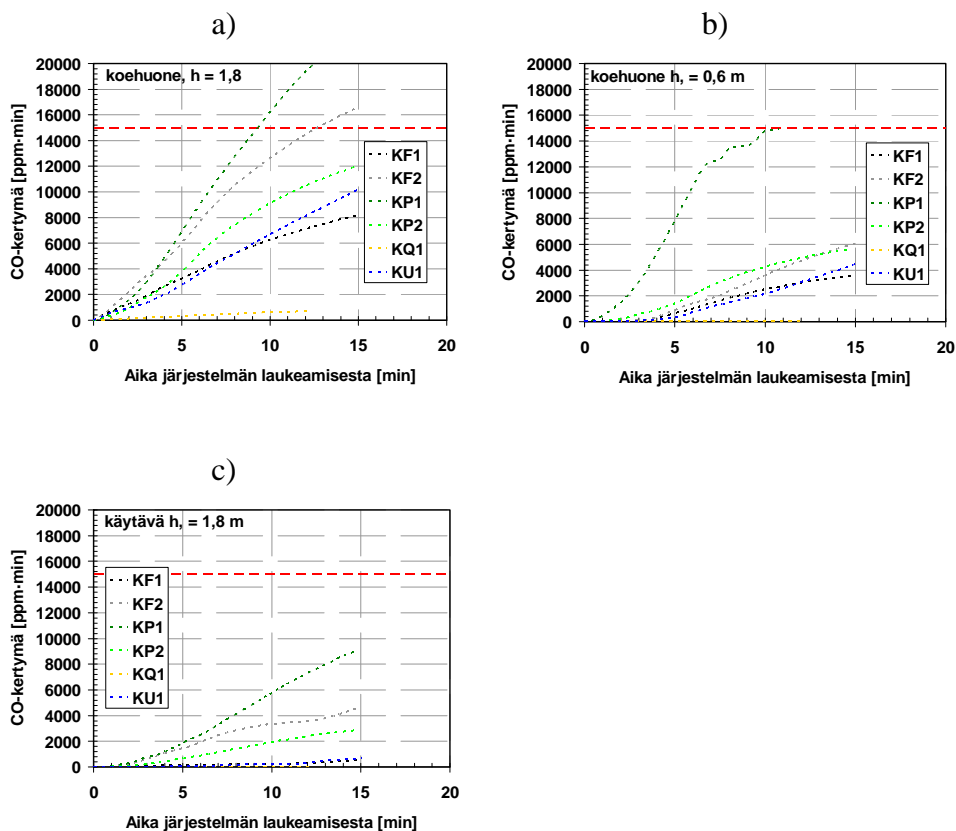


Kuva B42. Palohuoneen sisältä 0,6 m:n korkeudelta mitatut kaasupitoisuudet eri polttoko-keissa.



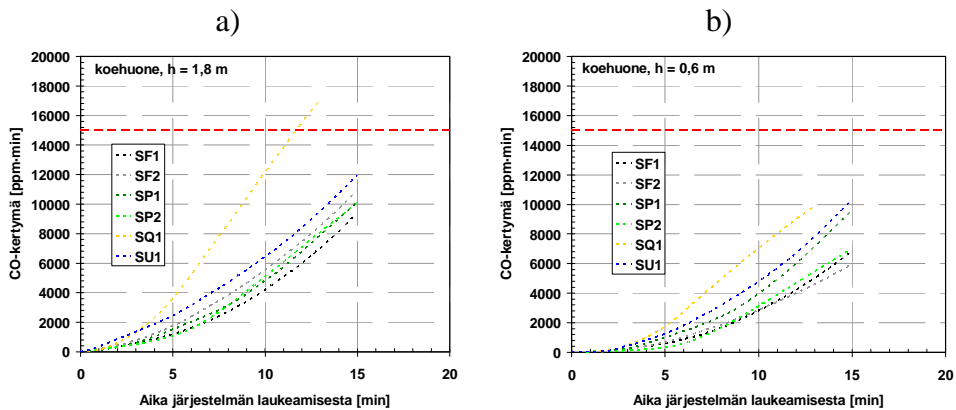
## Liite C: CO-kertymäarvot

Menetelmäehdotuksessa (DSB & Räddningsverket 2007) eräänä hyväksymisrajana on hiilimonoksidin (CO) kertymäarvon 15 000 ppm-min ylittyminen. Seuraavissa kuvissa esitetään CO-kertymäarvot eri polttokokeissa mittauspisteittäin siitä hetkestä alkaen, kun sammutusjärjestelmä on lauennut.

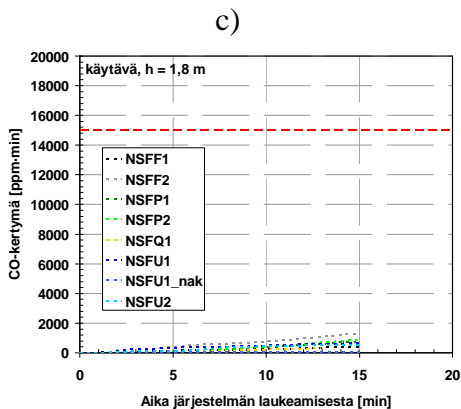
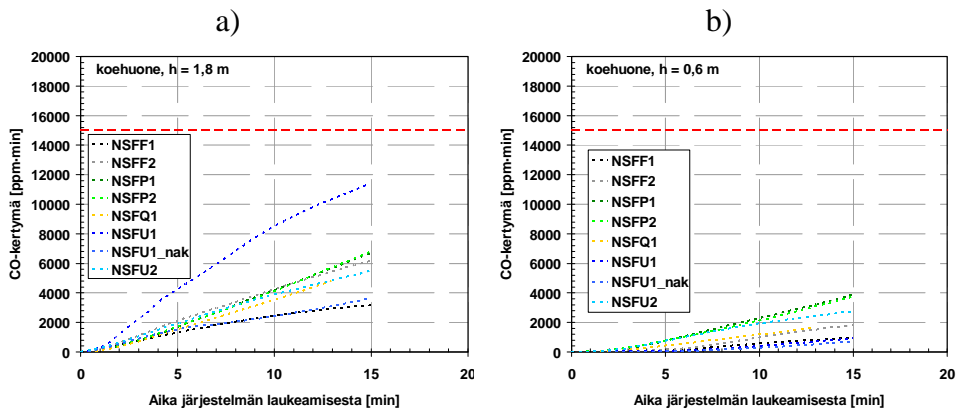


Kuva C43. Keittiöpalokokeiden CO-kertymä koehuoneessa (kuvat a ja b) ja käytävällä (kuva c).

Liite C: CO-kertymäarvot



Kuva C44. Sohvapalokokeiden CO-kertymä koehuoneessa.

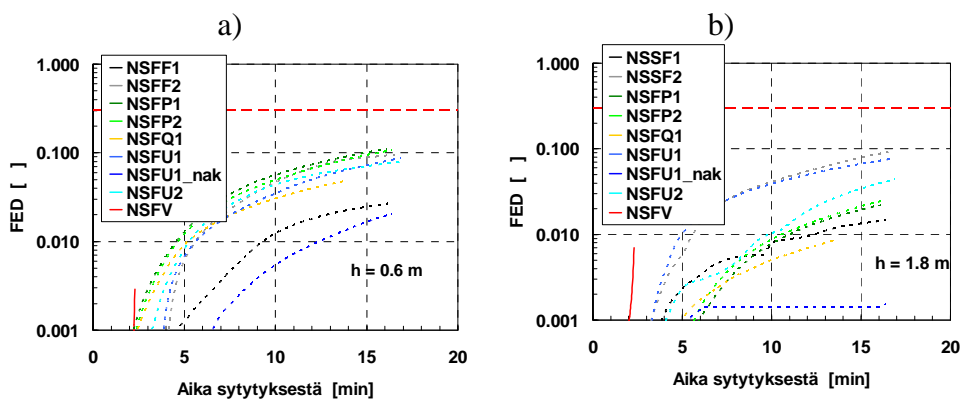


Kuva C45. Nurkkapalokokeiden CO-kertymä koehuoneessa (kuvat a ja b) ja käytävällä (kuva c).

## Liite D: Polttokokeiden FED-arvot

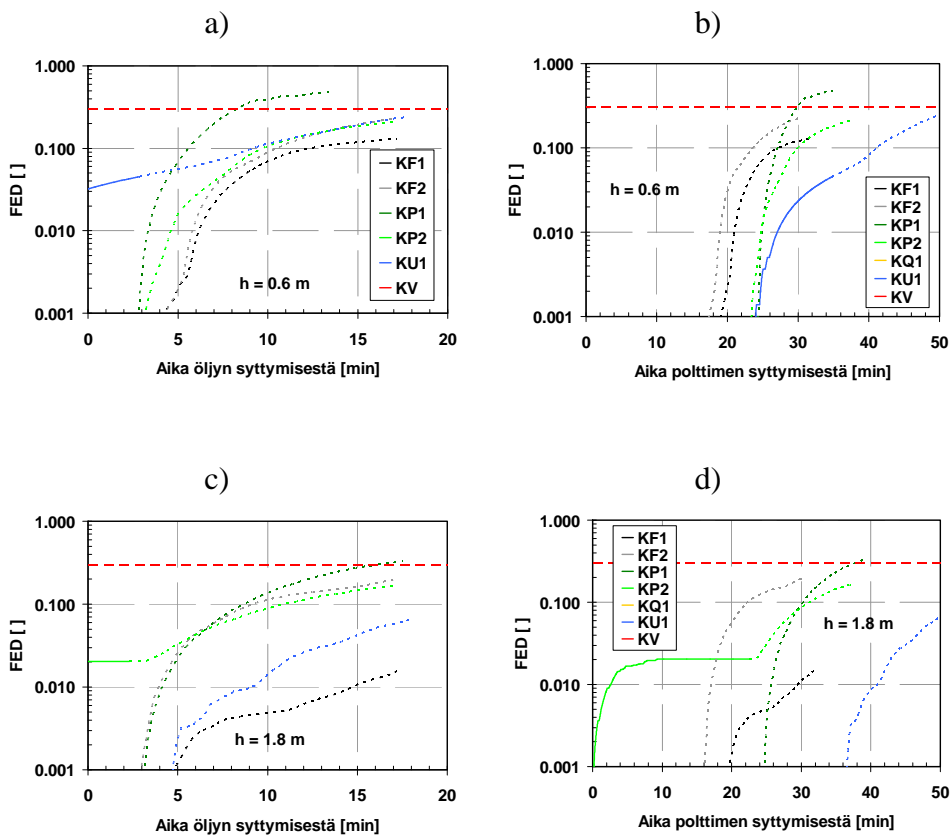
Yksittäisten kaasukomponenttien ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCN}$  ja  $\text{O}_2$ ) mittaustuloksista lasketut FED-arvot on esitetty seuraavissa kuvissa koehuoneen alimman ( $h = 0,6 \text{ m}$ ) ja käytävän mittauspisteen ( $h = 1,8 \text{ m}$ ) osalta.

### Nurkkapalokokeet



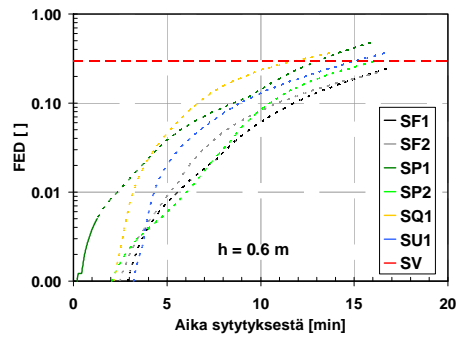
Kuva D46. Kaasupitoisuuksista lasketut FED-arvot a) paluhuoneen sisältä ja b) käytävästä. Mittauspaikan korkeus lattiasta on ilmoitettu kuvassa.

## Keittiöpalokokeet



Kuva D47. Kaasupitoisuuksista lasketut FED-arvot palohuoneen sisältä (kuvat a ja b) sekä käytävästä (kuvat c ja d). Mittauspaikan korkeus lattiasta on ilmoitettu kuvassa. Huomaa vaaka-akselissa sytytysajanhetken eroavaisuudet. Kokeessa KQ1 öljy ei syttynyt palamaan (kuvat a ja c).

## Sohvapalokoheet



Kuva D48. Kaasupitoisuuksista lasketut FED-arvot palohuoneen sisältä 0,6 m:n korkeudelta lattiatasosta mitattuna.

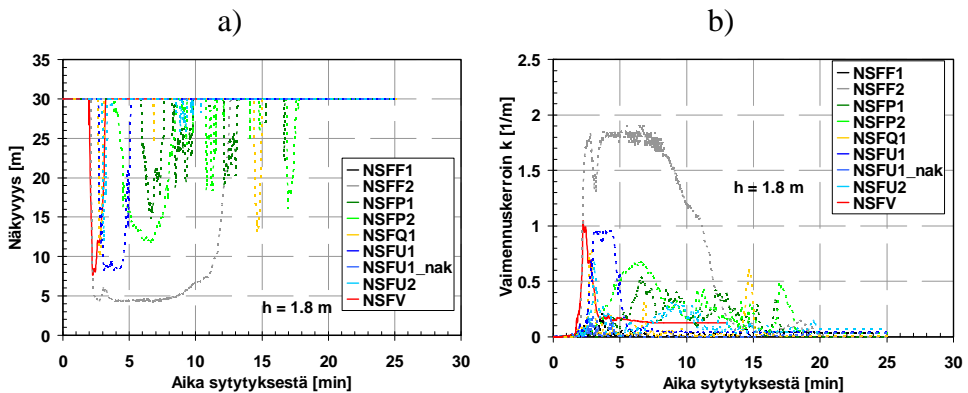




## Liite E: Näkyvyys ja vaimennuskerroin

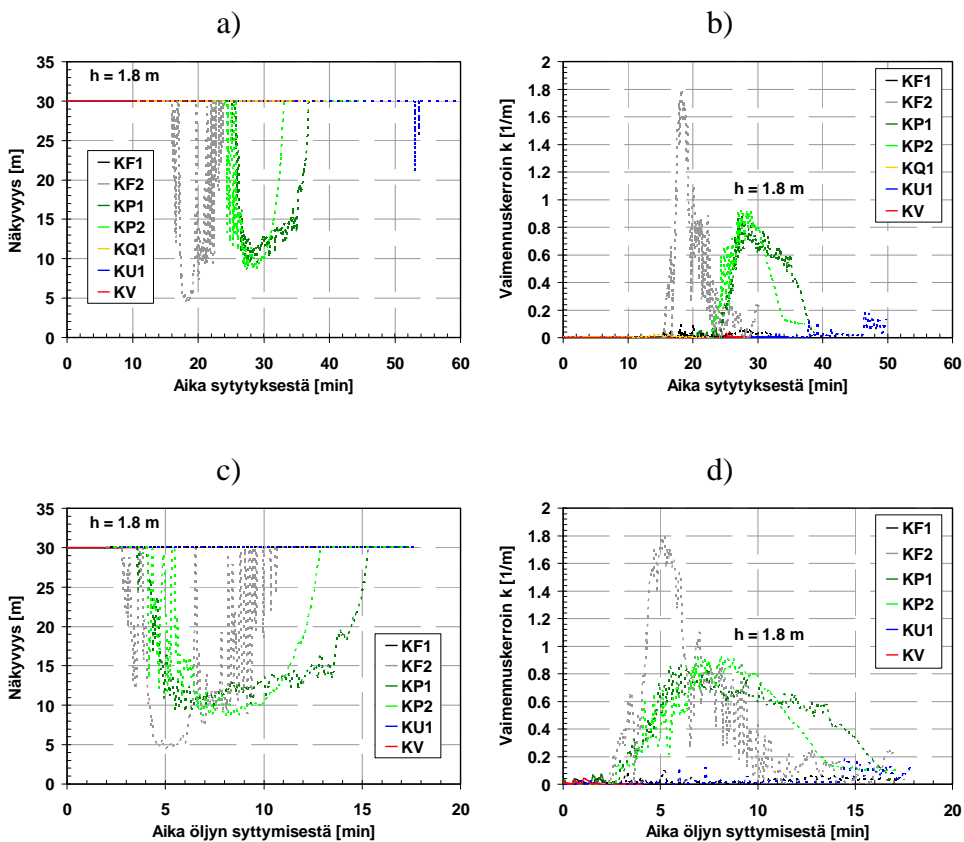
Tässä liitteessä esitetään käytävästä mitatut savun vaimennuskerroinarvot ja näkyvyys eri polttokokeissa. Näkyvyys on laskettu valoa lähettävälle objektille (tekstiosiossa näkyvyys laskettu valoa heijastavalle objektille).

### Nurkkapalokokeet



Kuva E49. Laskettu a) näkyvyys-arvo valoa lähettävälle objektille ja b) savun vaimennuskerroin eri polttokokeissa. Mittauskohta käytävällä  $h = 1,8$  m.

## Keittiöpalokokeet



Kuva E50. Laskettu näkyvyys-arvo valoa lähettävälle objektille (kuvat a ja c) ja savun vaimennuskerroin (kuvat b ja d) eri polttokokeissa. Huomaa vaaka-akselin eroavaisuudet. Mittauskohta käytävällä  $h = 1,8$  m.

# Liite F: Valokuvia polttokokeista ennen sammutusjärjestelmän aktivoitumista

## Nurkkakokeet

NSFF1



NSFF2



NSFP1



NSFP2



Kuva F51 jatkuu.

Liite F: Valokuvia polttokokeista ennen sammutusjärjestelmän aktivoitumista

NSFQ1



NSFU1



NSFU1\_NAK



NSFU2



NSFV



Kuva F51. Nurkkakokeista otettuja kuvia videotallenteista juuri ennen kunkin sammutusjärjestelmän aktivoitumista (pl. vapaa poltto "NSFV").

## Keittiökokeet

KF1



KF2



KP1



KP2



KU1



KV



Kuva F52. Keittiökokeista otettuja kuvia videotallenteista juuri ennen kunkin sammutusjärjestelmän aktivoitumista (pl. vapaa poltto "KV").

## Sohvakokeet

SF1



SF2



SP1



SP2



Kuva F53 jatkuu.

Liite F: Valokuvia polttokokeista ennen sammutusjärjestelmän aktivoitumista

SQ1



SU1



SV



Kuva F53. Sohvakokeista otettuja kuvia videotallenteista juuri ennen kunkin sammutusjärjestelmän aktivoitumista (pl. vapaa poltto "SV").





**Osa B:**  
**Asuntosprinklauksen kustannus-**  
**hyötyanalyysi.**  
**Esimerkkinä pientalo**



## 6. Johdanto

Asuntosprinklauksen kannattavuutta tarkastellaan usein ainoastaan taloudellisesta näkökulmasta, ts. kannattavuuslaskelmien avulla, joita voidaan tehdä käyttäen useita eri lähestymistapoja. Kannattavuuslaskelma sisältää rahassa mitatut vaikutukset, hyöty-kustannussuhteen laskemisen sekä herkkyytstarkastelun. Vaikeimpia asuntosprinklauksen kannattavuuslaskelmaan liittyviä asioita on ihmishengen arvon mittaaminen rahassa.

Taloudellisten vaikutusten punnitseminen on kuitenkin vain yksi osa kattavaa kannattavuustarkastelua. Kun tavoitteena on kokonaisvaltaisen kannattavuustarkastelun tekeminen, tulee analyysiin sisällyttää myös muita näkökulmia puhtaasti taloudellisista lähtökohdista tehtyjen laskelmien rinnalle. Vaikuttavuuden laadullinen tarkastelu käsittää siten myös muut kuin rahassa mitattavat vaikutukset hankkeen tavoitteisiin ja lisäksi erittelee missä määrin nämä näkökohdat on huomioitu kannattavuuslaskelmassa. Esimerkki asuintilojen sprinklaukseen liittyvästä ei-rahallisesta arvottamisesta on turvallisuusselvitysmenettelyn piiriin kuuluvien asuintilojen sprinklaus, siis selkeästi pelkästään ihmishengen pelastaminen.

Liikenne- ja viestintäministeriö on julkaissut yleisohjeen liikenneväylähankkeiden arvioinnista (LVM 2003), jossa hanketta ja sen vaikutuksia arvioidaan kokonaisuudessaan eri näkökulmista. Kyseisen arvioinnin tarkoituksena on selvittää hankkeen edullisuus yhteiskunnan kannalta. Vaikutusten arviointiprosessi kattaa puhtaan taloudellisen kannattavuuden tarkastelun lisäksi myös muiden kuin rahassa mitattavien vaikutusten arvioinnin. Tämän lisäksi punnitaan myös hankkeen toteutettavuus eli mm. tekniset, taloudelliset sekä ympäristöriskit ja vaikutukset suunnittelu- ja kaavoitustilanteeseen. Tämän kokonaisvaltaisen analyysin perusteella tehdään päätelmät hankkeen kannattavuudesta. Vaikka kysymys asuntosprinklauksen kannattavuudesta on perin toisenlainen ongelma tieväylähankkeiden toteuttamiseen verrattuna, nämä tässä mainitut peruseriaatteet pätevät kuitenkin molempien kannattavuuden arviointia ratkaistaessa.

## 6. Johdanto

Tässä julkaisussa esitetty tarkastelu rajoittuu yhteen kannattavuustarkastelun osa-alueista: taloudelliseen näkökulmaan. Tähän on kaksi pääasiallista syytä. Ensinnä, hankkeen ensimmäisen osan loppuraportti (Rinne et al. 2008) sisälsi tuloksia eräistä asuntosprinklaukseen liittyvistä kustannus-hyötyanalyyseistä, jotka oli tehty USA:ssa ja Isossa-Britanniassa. Analyysit poikkesivat toisistaan niin oletuksiltaan kuin tuloksiltaan, ja niiden soveltuvuutta Suomen oloihin oli vaikea päätellä. Tästä syystä nähtiin tarpeelliseksi vastaavan analyysin tekeminen Suomen oloissa. Toiseksi, hankesuunnitelma oli alun perinkin rajattu ainoastaan taloudellisten hyötyjen ja kustannusten tarkasteluun, eikä laajemman ja kokonaisvaltaisemman tarkastelun tekoon olisi ollut resursseja tämän hankkeen puitteissa.

Tämän esityksen tavoitteena on arvioida asuntosprinklauksella saavutettavissa olevien taloudellisten hyötyjen suhdetta kustannuksiin Suomen oloissa.

## 7. Kustannus-hyötylaskennan periaatteelliset lähtökohdat

### 7.1 Mittapuun valinta: raha ratkaisee

Kustannus-hyötylaskennan tavoitteena on arvioida kustannustehokkuutta. Arvioidaan, milloin hyödyt ovat suurempia kuin kustannukset. Perusolettamuksena on, että ihminen on taloudellinen eläin ja pyrkii jatkuvasti suuntaamaan sekä omaa toimintaansa että ihmisyhteisönsä toimintaa kohti parasta mahdollista kustannustehokkuutta.

Kustannus-hyötylaskenta on haastavaa, koska sen puitteissa joudutaan usein vertaamaan keskenään asioita, jotka eivät luonnostaan ole yhteismitallisia. Näin käy myös asuntosprinklauksen kustannus-hyötylaskennassa.

Asuntosprinklauksen kustannuspuolella mittapuuna on selkeästi raha. Kustannuksiin kuuluvat mm. sprinklauksen hankintakustannukset sekä ylläpitokustannukset.

Hyötypuolelle tulee ennen kaikkea pienentynyt palokuoleman riski. Asuntosprinklaus pienentää myös tulipalossa loukkaantumisen riskiä ja lisäksi mahdollisen tulipalon taloudelliset vahingot jäävät sprinklatussa asunnossa todennäköisesti pienemmiksi kuin sprinklaamattomassa asunnossa. Nämä kolme seikkaa on yleensä otettu huomioon asuntosprinklauksen taloudellisissa tarkasteluissa (ks. esim. Harmathy 1988, Fraser-Mitchell 2004, Butry 2009). Laskelmien suorittaminen edellyttää, että pystytään arvottamaan rahassa ihmishengen menetykset ja ihmisten loukkaantumiset sekä pysyvät vammautumiset. Tämä arvotuskysymys ei ole helppo.

Asuntosprinklauksella on muitakin potentiaalisia kustannuksia ja hyötyjä. Näiden osuus on aiemmissa tarkasteluissa ollut yleensä vähemmän merkittävä tai ne on jätetty kokonaan huomiotta.

## 7. Kustannus-hyötylaskennan periaatteelliset lähtökohdat

### 7.2 Kertakustannukset ja toistuvat kustannukset

Osa asuntosprinklaukseen liittyvistä kustannuksista on kertaluonteisia. Tällaisia kustannuksia ovat mm. sammutusjärjestelmän suunnittelun ja rakentamisen kustannukset sekä vesilähteen järjestämisestä mahdollisesti aiheutuvat lisäkustannukset. Kertaluonteiset kustannukset syntyvät tyypillisesti järjestelmää rakennettaessa.

Osa asuntosprinklaukseen liittyvistä kustannuksista on toistuvia. Tällaisia kustannuksia ovat mm. järjestelmän huollosta ja mahdollisista määräaikaistarkastuksista aiheutuvat kustannukset. Nämä kustannukset toistuvat yleensä vuosittain, mutta toistumisjakso voi olla jotain muutakin.

### 7.3 Varmat kustannukset ja epävarmat kustannukset

Edellisessä kohdassa esitetyt kustannukset ovat varmoja kustannuksia. Etukäteen ei välttämättä tiedetä kustannusten tarkkaa määrää, mutta joka tapauksessa on jo etukäteen varmaa, että tällaisia kustannuksia tulee syntymään. Kustannusten suuruuden arviointiin käytetään jo toteutuneiden hankkeiden kustannustietoja.

Toisena vaihtoehtona ovat epävarmat kustannukset. Tähän ryhmään kuuluvat mm. tulipaloista aiheutuvat kustannukset. Näiden suuruutta pyritään arvioimaan todennäköisyyslaskelmilla, pyritään arvioimaan vahinkojen odotusarvo. Todennäköisyyslaskelmien tukena ovat palotilastot.

### 7.4 Tulevaisuuden arvottaminen ja diskonttaus

Asuntosprinklauksen toteuttaminen on luonteeltaan investointiprojekti, jossa hyödyt kerätään pitkäjänteisesti laitteiston käyttöiän aikana, kun taas suunnittelun ja asentamisen kustannukset joudutaan maksamaan heti käyttöiän alussa. Kannattavuuslaskelman tulos riippuu voimakkaasti laitteiston käyttöiälle ja laskentakorkokannalle käytettävistä numeroarvoista. Laitteiston käyttöikä voidaan arvioida melko objektiivisesti, mutta laskentakorkokanta on paljon subjektiivisempi kysymys.

Laskelmien tekniseen suoritukseen on useita tapoja. Yleisesti käytettyjä ovat mm. nykyarvomenetelmä ja annuiteettimenetelmä (Uusi-Rauva et al. 1993). Aiemmissa asuntosprinklauksen kustannus-hyötytarkasteluissa Harmathy (1988) ja Butry (2009) ovat käyttäneet nykyarvomenetelmää kun taas Fraser-Mitchell (2004) on käyttänyt annuiteettimenetelmää.

## 7. Kustannus-hyötylaskennan periaatteelliset lähtökohdat

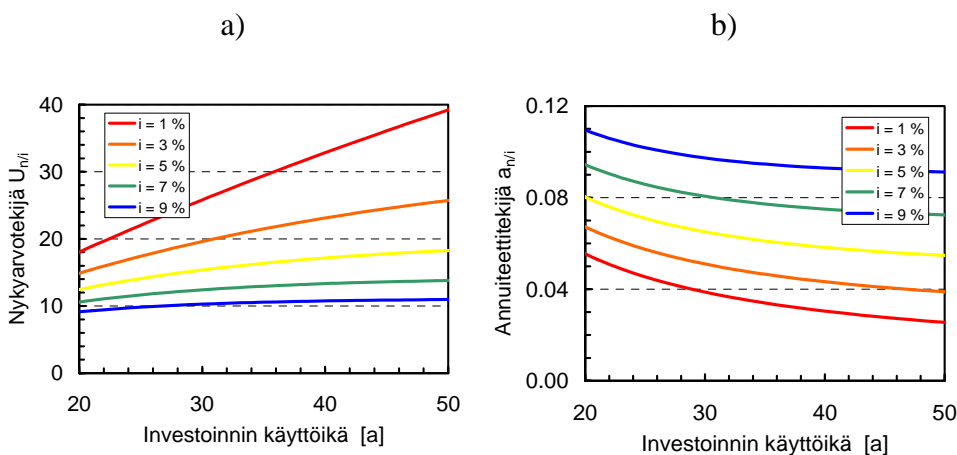
Nykyarvomenetelmän periaate on, että tulevaisuudessa tapahtuvat kustannukset ja hyödyt siirretään nykyhetkeen kertomalla ne nykyarvotekijällä. Vuosittain toistuville tasasuurille kustannuksille ja hyödyille nykyarvotekijän arvo lasketaan kaavalla

$$U_{n/i} = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}, \quad (9)$$

missä  $i$  on käytettävä laskentakorko ja  $n$  on investoinnin käyttöikä. Vastaavasti annuiteettimenetelmässä siirretään hankintamenot koko käyttöiän ajalle tasasuuruisiksi pääomakustannuksiksi kertomalla hankintakustannus annuiteettitekijällä

$$a_{n/i} = \frac{1}{U_{n/i}} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}, \quad (10)$$

Seuraavissa kuvissa (kuvat 54a ja 54b) on esitetty nykyarvotekijän ja annuiteettitekijän arvot käyttöiän funktiona eri laskentakoron arvoilla.



Kuva 54. a) Nykyarvotekijän ja b) annuiteettitekijän arvot käyttöiän funktiona eri laskentakoron arvoilla.

## 7.5 Maksajan näkökulma: yksittäinen ihminen vai yhteiskunta?

Kustannus-hyötylaskenta voidaan tehdä joko yksittäisen ihmisen näkökulmasta tai koko yhteiskunnan näkökulmasta. Näiden kahden näkökulman antamat tulokset saattavat olla erilaisia.

Yksittäisen ihmisen näkökulmasta kysymys kuuluu:

”Kannattaisiko minun itseni suojata oma asuntoni sprinklauksella?”

Yhteiskunnan näkökulmasta kysymys kuuluu:

”Kannattaisiko yhteiskunnan edistää asuntojen sprinklausta joko teke-mällä siitä pakollista tai tukemalla sitä sopivilla taloudellisilla kannusti-milla (esim. investointiavustuksilla tai verohelpotuksilla)?”

Tarkasteltaessa asiaa yksittäisen ihmisen kannalta huomioidaan esim. tulipalossa loukkaantumisen rahallinen kustannus ainoastaan siinä määrin kuin ihminen joutuu itse kustantamaan oman terveydenhoitonsa. Tarkasteltaessa asiaa yhteis-kunnan näkökulmasta huomioidaan tulipalossa loukkaantumisen rahalliset kus-tannukset täysimääräisinä myös niiltä osin, jotka eivät päädy yksittäisen potilaan maksettaviksi.

Sama periaatteellinen ero lähestymistavassa koskee kaikkia kustannusten ja hyötyjen lajeja. Niinpä esim. taloudellisten vahinkojen suhteen on yksittäisen ihmisen kannalta merkittävää lähinnä se, saako sprinklauksen perusteella alen-nusta vakuutusmaksuissa; mahdollisen tulipalon aiheuttamat taloudelliset vahin-gothan ylittävät todennäköisesti joka tapauksessa palovakuutuksen omavastuu-osuuden ja jäävät siis pääosiltaan vakuutusyhtiön korvattaviksi. Toisaalta yhteis-kunnan kannalta merkitystä on ainoastaan vahinkojen kokonaismäärällä, ei sillä, miten niiden korvaukset jakaantuvat eri osapuolten kesken, eikä myöskään sillä, minkälaisia vakuutusmaksuja on maksettu ennen vahinkoa.

Yksittäisen ihmisen näkökulman käyttö ei siis välttämättä johda kokonaisuuden kannalta parhaaseen lopputulokseen. Osoptimi poikkeaa järjestelmäoptimista. Niin kauan kuin asuntosprinklaus on vapaaehtoista, on yksittäisen ihmisen näkö-kulma kuitenkin keskeinen päätöksenteossa, ja yhteiskunnan tehtäväksi jää päättää, missä määrin päätöksentekoon halutaan vaikuttaa taloudellisilla kannustimilla.

Erityisesti Euroopassa, missä yhteiskunta vastaa suuresta osasta sosiaaliturvaa, on yhteiskunnan näkökulma mielekkäämpi kuin yksittäisen ihmisen näkökulma. Yhdysvalloissa, missä ihmiset ainakin periaatteellisella tasolla vastaavat omasta



sosiaaliturvastaan, on yksittäisen ihmisen näkökulma paremmin perusteltavissa. Asuntosprinklauksen aiemmissa kustannus-hyötyanalyysissä Harmathy (1988) sovelsi yhteiskunnan näkökulmaa tilanteen arviointiin Yhdysvalloista ja Kanadasta kerätyn tilastoaineiston perusteella, Fraser-Mitchell (2004) sovelsi yhteiskunnan näkökulmaa Ison-Britannian tilanteen arviointiin ja Butry (2009) sovelsi yksittäisen ihmisen näkökulmaa Yhdysvaltojen tilanteen arviointiin.

### **7.6 Tarkastelun laajuus: yksi asunto vai kaikki rakennukset?**

Laskelman peruslähtökohta voidaan valita useilla eri tavoilla.

Lähtökohdaksi voidaan ensinnäkin ottaa yksittäinen asunto, mikä erillisiä pientaloja tarkasteltaessa vastaa käytännössä yhtä asuinrakennusta. Tämä lähtökohta on havainnollinen erityisesti silloin, kun tarkastelu tehdään yksilön näkökulmasta (ks. kohta 7.5). Yksittäisiä asuntoja tarkasteltaessa voidaan asuntokanta myös segmentoida mm. asuntojen koon, sammutusjärjestelmän tyyppin ja asennuskustannusten ym. seikkojen perusteella. Butry (2009) on tarkastellut asiaa juuri tällä tavalla. Ainoa lievähkö haitta yksittäisten asuntojen tarkasteluissa on se, että monet paloriskeihin liittyvät numeroarvot ovat epähavainnollisen pieniä.

Toinen mahdollinen lähtökohta on tarkastella vuosittain valmistuvia uusia asuinrakennuksia yhtenäisenä joukkona. Tällöin paloriskeihin liittyvät numeroarvot alkavat olla tarpeeksi suuria ollakseen havainnollisia. Lisätuna on se, että tuloksista saadaan helposti hahmotettua arvioita siitä, mitä olisi odotettavissa, jos asuntosprinklaus määrättäisiin pakolliseksi. Harmathy (1988) on tarkastellut asiaa tällä tavalla. Ongelmana on kuitenkin se, että asuntorakentaminen on suhdanneherkkä ala, ja valmistuvien asuinrakennusten määrä vaihtelee voimakkaasti vuosittain. Niinpä tulosten havainnollisuus saattaa kärsiä.

Kolmas mahdollinen lähtökohta on tarkastella koko maan kaikkia asuinrakennuksia. Näin voitaisiin ehkä arvioida asuntosprinklauksen vaikuttavuutta pitkällä tähtäimellä.

## 8. Aiempien kustannus-hyötylaskelmien vertailu

### 8.1 Tarkasteltavat laskelmat

Tarkastellaan seuraavia kolmea työtä (taulukko 11):

Taulukko 11. Analyysissa tarkasteltavat ulkomaiset tutkimukset.

Tekijä	Ilmestymisvuosi	Tarkasteltava maa	Näkökulma	Tarkastelun laajuus	Laskenta-menetelmä
Harmathy	1988	USA ja Kanada	yhteiskunta	kaikki yhden vuoden aikana valmistuvat omakotitalot	nykyarvo-menetelmä
Fraser-Mitchell	2004	Iso-Britannia	yhteiskunta	yksittäinen omakotitalo	annuiteetti-menetelmä
Butry	2009	USA	yksilö	yksittäinen omakotitalo	nykyarvo-menetelmä

Näistä Harmathyn työ on jo varsin vanha, mutta edelleen kiinnostava mm. sen vuoksi, että se ajoittuu suunnilleen samaan aikaan kuin Scottsdalessa Yhdysvalloissa käyttöön otettu uusien asuinrakennusten sprinklauspakko (ks. esim. Ford 1997).

Harmathy ja Butry käsittelivät ainoastaan omakotitaloja. Fraser-Mitchell käsitteli muitakin asuinrakennusten tyyppejä, mutta vertailtavuuden vuoksi on tähän esitykseen poimittu hänen työstään omakotitaloa koskevat laskelmat.

Kustannusten arvioinnin perusteet on esitetty taulukossa 12:

Taulukko 12. Kustannusten arvioinnin perusteet eri tutkimuksissa.

Tekijä	Ilmestymisvuosi	Tarkasteluvuotta	Kustannusten referenssivuosi	Sprinklerilaitteiston käyttöikä	Laskentakorko
Harmathy	1988	Yhdysvaltain dollari (USD)	1985	30 vuotta	6,00 %
Fraser-Mitchell	2004	Ison-Britannian punta (GBP)	2002	30 vuotta	1,73 %
Butry	2009	Yhdysvaltain dollari (USD)	2005	30 vuotta	4,80 %

Tarkkaan ottaen Fraser-Mitchell ei määritellyt, mitä numeroarvoja hän käytti sprinklerilaitteiston käyttöiälle ja laskentakorolle vaan ilmoitti ainoastaan käyttävänsä annuiteettitekijälle numeroarvoa 0,0430. Tämä numeroarvo voidaan saada monilla käyttöiän ja laskentakoron yhdistelmillä (ks. kohta 7.4). Yllä olevassa taulukossa on esitetty eräs realistinen käyttöiän ja laskentakoron yhdistelmä, joka tuottaa annuiteettitekijän arvoksi 0,0430.

Töiden menetelmälliset, ajalliset ja paikalliset erot ovat niin suuria, että vertailukelpoisuuden saavuttaminen edellyttää melkoisesti laskelmia. Tähän syvennyttään seuraavassa kohdassa.

## 8.2 Vertailukelpoisuuden saavuttaminen

Koska edellisessä kohdassa esitellyt tutkimukset on tehty eri aikoina ja eri tavoilla ja koska tulokset on esitetty eri valuutoissa, ei tulosten suoranaisten vertailu ole hedelmällistä. Seuraavassa esitetään, kuinka laskelmien perusteet voidaan yhdenmukaistaa vertailukelpoisuuden saavuttamiseksi.

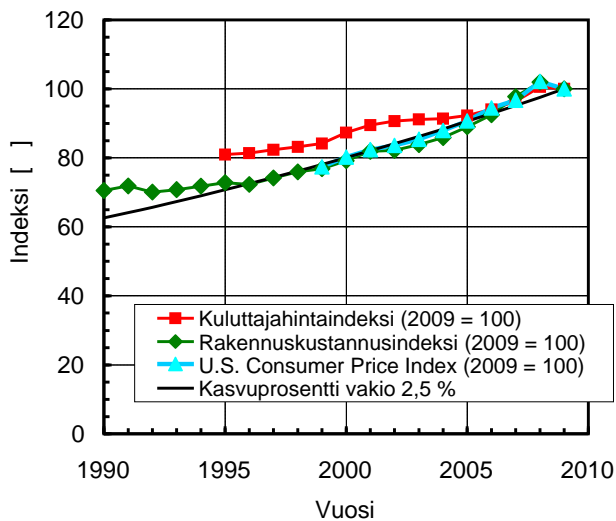
### 8.2.1 Ajalliset erot

Kaikki tarkasteltavissa laskelmissa ilmoitetut kustannukset inflaatiokorjattiin vuoden 2009 tasoon olettamalla tasainen 2,5 %:n vuotuinen inflaatio koko aikavälille kustannusten referenssivuodesta aina vuoteen 2009 saakka.

Tässä korjauksessa kustannusten ja hyötyjen absoluuttiset tasot muuttuivat kaikissa tarkastelluissa tutkimuksissa, ja muutoksen suuruus vaihteli tutkimuksesta toiseen. Kutakin tutkimusta yksinään tarkasteltaessa kustannusten ja hyötyjen suhteelliset suuruudet pysyivät kuitenkin entisellään.

## 8. Aiempien kustannus-hyötylaskelmien vertailu

Perustelu tehdyille ratkaisulle selviää oheisesta kuvasta 55, jossa esitetään rakennuskustannusindeksin ja kuluttajahintaindeksin arvot Suomessa sekä kuluttajahintaindeksin arvot Yhdysvalloissa viime vuosien aikana. Suomen indeksien arvot on saatu Tilastokeskuksen internet-sivuilta (Anon. 2009a, 2009b). Yhdysvaltain indeksin arvot on saatu Yhdysvaltain liittovaltion työministeriön internet-sivuilta (Anon. 2009c). Kuvaan 55 on piirretty vertailukohtaksi 2,5 %:n tasaista vuosikasvua kuvaava käyrä.



Kuva 55. Rakennuskustannusindeksin ja kuluttajahintaindeksin arvot Suomessa sekä kuluttajahintaindeksin arvot Yhdysvalloissa viime vuosien aikana. Kuvaan on piirretty vertailukohtaksi 2,5 %:n tasaista vuosikasvua kuvaava käyrä.

Sovellettu menetelmä on toki karkea, mutta silti parempi kuin ei mitään. Esim. Butryn (2009) käyttämien kustannusten referenssivuosi on 2005, joten hänen esittämiään kustannusarvioita jouduttiin niiden suhteellisesta tuoreudesta huolimatta korjaamaan tässä prosessissa ylöspäin noin 10 %.

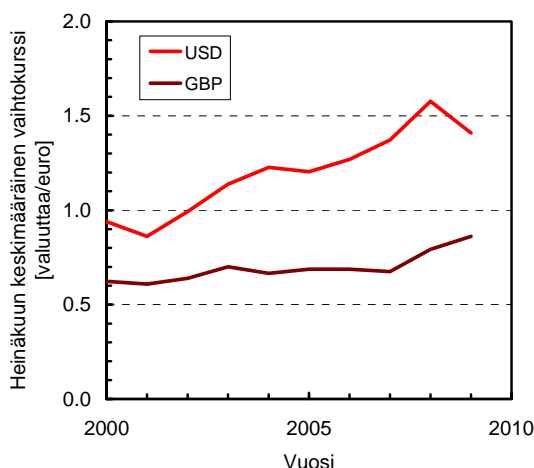
### 8.2.2 Paikalliset erot

Sen jälkeen, kun tarkasteltavissa laskelmissa ilmoitetut kustannukset oli inflaatiokorjattu vuoden 2009 tasoon, ne muutettiin euroiksi käyttäen Suomen Pankin ilmoittamaa heinäkuun 2009 keskimääräistä vaihtokurssia (Anon. 2009d).

Periaatteessa tämän korjauksen ainoa tarkoitus oli tehdä numeroarvojen vertailusta helpompaa. Kutakin tutkimusta yksinään tarkasteltaessa korjaus ei vai-

kuttanut kustannusten ja hyötyjen keskinäisiin suhteisiin. On kuitenkin huomattava, että vaihtokursseissa esiintyvä vaihtelu johtaa myös absoluuttisten tasojen muutoksiin. Amerikkalaisten ja brittiläisten tutkimusten vertailuasetelma olisi muodostunut erilaiseksi, jos valuuttamuunnokset olisi tehty ensin ja inflaatiokorjaus vasta sen jälkeen.

Oheisessa kuvassa 56 nähdään Yhdysvaltojen dollarin (USD) ja Ison-Britannian punnan (GBP) vaihtokurssien vaihtelu viime vuosina (Anon. 2009d).



Kuva 56. Yhdysvaltojen dollarin (USD) ja Ison-Britannian punnan (GBP) vaihtokurssien vaihtelu viime vuosina.

### 8.2.3 Menetelmälliset erot

Kaikki vertailut laskettiin uudestaan annuiteettimenetelmällä siten, että tarkastelunäkökulmaksi valittiin yhteiskunnan näkökulma ja tarkastelulaajuudeksi yksi asunto. Asuntosprinklausinvestoinnin käyttöajaksi valittiin 30 vuotta ja vuotuisesti laskentakoroksi 4,8 %. Uudelleenlaskenta aiheutti hieman muutoksia kerta-kustannusten ja toistuvien kustannusten keskinäisiin suhteisiin, mutta ei muuttanut merkittävästi eri kustannuslajien tärkeysjärjestyksiä.

## 8.3 Laskelmissa tarkastellut kustannukset ja hyödyt

Aiemmissa tutkimuksissa tehdyt arviot eri kustannuksista ja hyödyistä esitetään yksityiskohtaisesti kohdissa 8.3.2–8.3.11. Aluksi kuitenkin lyhyt yhteenveto siitä, mitä kustannuksia ja hyötyjä on ylimalkaan otettu mukaan laskelmiin.

### 8.3.1 Yhteenveto

Aiemmin tehdyissä laskelmissa tarkastellut kustannukset ja hyödyt on esitetty taulukossa 13. Taulukon tyyppikoodit kustannuksille ja hyödyille ovat:

VK	Varma kertakustannus tai kertahyöty
VT	Varma toistuva kustannus tai hyöty
ET	Epävarma toistuva kustannus tai hyöty.

Taulukon soluissa ”Kyllä” tarkoittaa, että alkuperäistyössä on erikseen mainittu, että ko. laji otetaan mukaan laskelmiin. Tällöinkin on joidenkin lajien osalta saatettu myöhemmin todeta erikseen, että ko. lajin aiheuttamat kustannukset tai hyödyt ovat merkityksettömän pienet ja jätetään huomiotta.

Taulukon soluissa ”0” tarkoittaa, että alkuperäistyössä on erikseen mainittu, että ko. laji jätetään pois laskelmista. Yleisin perustelu on se, että saatavilla ei ole riittävä aineistoa kunnolliseen arviointiin. Joissain tapauksissa on mainittu, että ko. lajin arvioidaan olevan merkityksetön. Palovakuutusmaksujen osalta Harmathy (1988) toteaa erikseen, että ko. kustannuslajeja ei pidä sisällyttää yhteiskunnan näkökulmista tehtäviin tarkasteluihin.

Tyhjät solut tarkoittavat, että ko. lajia ei ole erikseen mainittu alkuperäistyössä. Joissain tapauksissa voitaneen olettaa, että ko. laji sisältyy johonkin toiseen lajiin; esim. Harmathyn (1988) ja Butryn (2009) töissä vesilähteen kustannusten voisi olettaa sisältyvän sammutusjärjestelmän asennuskustannuksiin. Tätä ei ole kuitenkaan sanottu suoraan.

Eräät rivit taulukossa ovat kokonaan tyhjiä. Niinpä tässä tarkastellut tutkimukset eivät lainkaan mainitse esim. tulipaloista kulttuuriarvoille aiheutuvia vahinkoja. Myöskään ei pohdita mahdollisuuksia löytää hyötyjä käyttämällä asuntosprinklausta rakenteellisen paloturvallisuuden muiden vaatimusten kompensointiin. Scottsdalen tapauksessa (Ford 1997) asuntosprinklauksen poliittinen houkuttelevuus lisääntyi merkittävästi sen vuoksi, että sammutusjärjestelmän rakentamiskustannuksia voitiin kompensoida sekä antamalla helpotuksia rakenteellisen paloturvallisuuden vaatimukseen (mm. osastointi) että myös lieventämällä paloturvallisuussyiden vuoksi kehitettyjä yhdyskuntarakennetta koskevia määräyksiä (mm. rakennustiheys). On kuitenkin huomattava, että Suomessa asuntosprinklauksen tavoitteeksi lienee syytä asettaa paloturvallisuuden oleellinen parantaminen nykytasosta, joten lievennykset muihin paloturvallisuussääntöihin eivät Suomea ajatellen vaikuta kovin houkuttelevilta.

## 8. Aiempien kustannus-hyötylaskelmien vertailu

Taulukko13. Aikaisemmissa tutkimuksissa tehdyissä laskelmissa tarkastellut kustannukset ja hyödyt.

<i>Sammutusjärjestelmästä aiheutuvat kustannukset</i>				
<b>Kustannuslaji</b>	<b>Tyyppi</b>	<b>Harmathy (1988)</b>	<b>Fraser-Mitchell (2004)</b>	<b>Butry (2009)</b>
Sammutusjärjestelmän suunnittelu, hankinta ja asennus	VK	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Vesilähteen järjestäminen	VK		Kyllä	
Sammutusjärjestelmän käyttökustannukset	VT			0
Vuotuiset tarkastukset ja huollot	VT	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Muut sammutusjärjestelmästä aiheutuvat kustannukset	VK, VT			0
Mahdollisista vahinkolaukeamisista ja/tai vuodoista aiheutuvat vahingot	ET		0	

<i>Tulipaloista aiheutuvat kustannukset</i>				
<b>Kustannuslaji</b>	<b>Tyyppi</b>	<b>Harmathy (1988)</b>	<b>Fraser-Mitchell (2004)</b>	<b>Butry (2009)</b>
Palokuolemat	ET	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Loukkaantumiset	ET	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Omaisuusvahingot	ET	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Kulttuuriarvoille tapahtuvat vahingot	ET			
Ympäristövahingot	ET		0	
Palovakuutusmaksut	VT	0	0	Kyllä
Palovakuutuksen hallinnointikulut	VT	Kyllä		
Palokuntien kulut	VT	Kyllä	0	

## 8. Aiempien kustannus-hyötylaskelmien vertailu

<i>Sammutusjärjestelmän tuottamat hyödyt</i>				
<b>Hyöty</b>	<b>Tyyppi</b>	<b>Harmathy (1988)</b>	<b>Fraser-Mitchell (2004)</b>	<b>Butry (2009)</b>
Palokuolemien väheneminen	ET	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Loukkaantumisten väheneminen	ET	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Omaisuusvahinkojen pienentyminen	ET	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Kulttuuriarvoille tapahtuvien vahinkojen pienentyminen	ET			
Ympäristövahinkojen pienentyminen	ET		0	
Palovakuutusmaksujen pienentyminen	VT	0	0	Kyllä
Palovakuutuksen hallinnointikulujen pienentyminen	VT	Kyllä		
Palokuntien kustannusten pienentyminen	VT	Kyllä	0	
Säästöt muissa rakenteellisen paloturvallisuuden ratkaisuisissa	VT			
Säästöt, jotka syntyvät mahdollisuuksista aiempaa tiiviimpään rakentamiseen	VT		0	

### 8.3.2 Sammutusjärjestelmän ja vesilähteen suunnittelu, hankinta ja asennus

Eri tutkimuksissa käytetyt numeroarvot on esitetty taulukossa 14. Taulukon 14 yläosassa esitetään alkuperäiset numeroarvot. Taulukon 14 alemmassa osassa numeroarvot on yhdenmukaistettu suorittamalla kohdassa 8.2.1 kuvattu inflaatiokorjaus ja kohdassa 8.2.2 kuvattu valuuttamuunnos. Kohdassa 8.2.3 esitettyjä menetelmällisiä korjauksia ei tarvitse vielä tehdä, sillä tässä ollaan vasta keräämässä kustannus-hyötylaskelman lähtötietoja.



Taulukko14. Aikaisemmissa tutkimuksissa tehdyissä laskelmissa käytetyt numeroarvot.

<i>Alkuperäisessä tutkimuksessa esitetyt numeroarvot</i>						
Tekijä	Ilmestymis- vuosi	Hinta- arvio			Yksikkö	Referenssi- vuosi
		Matala	Tyypillinen	Korkea		
Harmathy	1988	10,80	15,00		USD/m <sup>2</sup>	1985
Fraser- Mitchell	2004	1 500	2 115	2 265	GBP/asunto	2002
Butry	2009	830	2 100	3 300	USD/asunto	2005

<i>Alkuperäisen tutkimuksen numeroarvot yhdenmukaistettuna</i>						
Tekijä	Ilmestymis- vuosi	Hinta- arvio			Yksikkö	Referenssi- vuosi
		Matala	Tyypillinen	Korkea		
Harmathy	1988	2 260	3 140		euroa/asunto	2009
Fraser- Mitchell	2004	2 050	2 890	3 100	euroa/asunto	2009
Butry	2009	650	1 650	2 590	euroa/asunto	2009

Harmathy (1988) esitti omat arvionsa ainoastaan matalista ja tyypillisistä kustannuksista. Hänen tarkasteluissaan asunnon pinta-alaksi oletettiin 163 m<sup>2</sup>, joten yhdenmukaistetussa laskelmassa järjestelmän tyypilliset kustannukset olivat hieman päälle 19 euroa/m<sup>2</sup> ja matalat kustannukset vastaavasti hieman alle 14 euroa/m<sup>2</sup>.

Yhdenmukaistetusta taulukosta havaitaan, että Harmathy arvioi sammutusjärjestelmän kustannukset korkeimmiksi. Fraser-Mitchellin (2004) arviot asettuvat lähes samoihin lukuihin kuin Harmathyn arviot. Tässä Fraser-Mitchellin lukuihin on lisätty vesilähteen kustannukset, jotka hän arvioi erikseen. Fraser-Mitchell ei ilmoittanut laskelmissaan käsittelemänsä asunnon pinta-alaa vaan ilmaisi asunnon koon brittiläisen käytännön mukaisesti makuuhuoneiden lukumäärällä (kolmen makuuhuoneen asunto).

Butryn (2009) arviot sammutusjärjestelmän asennuskustannuksista ovat varsin alhaisia. Butry arvioi kustannuksia kolmelle erilaiselle omakotitalolle, joiden pinta-alat vaihtelivat välillä 1 170–3 340 neliöjalkaa (109–310 neliometriä).

## 8. Aiempien kustannus-hyötylaskelmien vertailu

Näillä tiedoilla voidaan laskea, että Butryn arviot asennuskustannuksista vaihtelivat välillä 0,60–1,66 Yhdysvaltain dollaria neliöjalkaa kohden. Nämä ovat hyvin maltillisia arvioita, kun otetaan huomioon, että Yhdysvalloissa NFPA on vuonna 2008 selvittänyt toteutuneiden asennuskustannusten vaihdelleen välillä 0,38–3,66 dollaria neliöjalkaa kohden ja keskiarvon olleen 1,61 dollaria neliöjalkaa kohden (Anon. 2009e). Vertailun vuoksi mainittakoon, että vuoden 2009 tasossa 1,61 dollaria neliöjalkaa kohden vastaa 12,30 euron kustannusta neliömetriä kohden. Alimmillaan Butryn arvio on siis alle 5 euroa/m<sup>2</sup>.

### 8.3.3 Sammutusjärjestelmän tarkastukset ja huollot

Eri tutkimuksissa käytetyt numeroarvot on esitetty taulukossa 15. Taulukon 15 yläosassa esitetään alkuperäiset numeroarvot ja alaosassa numeroarvot on yhdenmukaistettu suorittamalla kohdassa 8.2.1 kuvattu inflaatiokorjaus ja kohdassa 8.2.2 kuvattu valuuttamuunnos. Kohdassa 8.2.3 esitettyjä menetelmällisiä korjauksia ei tarvitse tehdä vielä, sillä tässä ollaan vasta keräämässä kustannus-hyötylaskelman lähtötietoja.

Harmathy (1988) esitti omat arvionsa ainoastaan matalista ja tyypillisistä kustannuksista. Tässä esitetyt vuosikustannukset on Harmathyn osalta keskiarvoistettu, sillä Harmathyn alkuperäinen laskelma käsitti hieman yksinkertaisemman normaalin vuosihuollon lisäksi laajemman huollon, joka arvioitiin tehtävän kolmesti laitteiston käyttöänsä aikana. Butry (2009) arvioi, että huoltoa tarvitaan ainoastaan silloin, kun yleiseen vesijohtoverkkoon liitetty sammutusjärjestelmä tarvitsee takaisinvirtauksenestolaitteen; suurin osa hänen laskelmistaan on tehty olettaen, että vuosittaisia huoltokuluja ei ole lainkaan.

Taulukko15. Aikaisemmissa tutkimuksissa tehdyissä laskelmissa käytetyt numeroarvot.

<i>Alkuperäisessä tutkimuksessa esitetyt numeroarvot</i>						
Tekijä	Ilmestymis- vuosi	Hinta-arvio			Yksikkö	Referenssi- vuosi
		Matala	Tyypillinen	Korkea		
Harmathy	1988	33	65		USD/asunto/a	1985
Fraser- Mitchell	2004	40	50	60	GBP/asunto/a	2002
Butry	2009	0	100	200	USD/asunto/a	2005

<i>Alkuperäisen tutkimuksen numeroarvot yhdenmukaistettuna</i>						
Tekijä	Ilmestymis- vuosi	Hinta-arvio			Yksikkö	Referenssi- vuosi
		Matala	Tyypillinen	Korkea		
Harmathy	1988	42	83		euroa/asunto/a	2009
Fraser- Mitchell	2004	55	68	82	euroa/asunto/a	2009
Butry	2009	0	0	157	euroa/asunto/a	2009

### 8.3.4 Palokuolemat sprinklaamattomissa rakennuksissa

Eri tutkimuksissa käytetyt numeroarvot on esitetty taulukossa 16. Taulukossa esitetään ensin alkuperäiset numeroarvot ja taulukon alaosassa ihmishengen arvoa kuvaavat numeroarvot on yhdenmukaistettu suorittamalla kohdassa 8.2.1 kuvattu inflaatiokorjaus ja kohdassa 8.2.2 kuvattu valuuttamuunnos. Kohdassa 8.2.3 esitettyjä menetelmällisiä korjauksia ei tarvitse tehdä vielä, sillä tässä ollaan vasta keräämässä kustannus-hyötylaskelman lähtötietoja.

## 8. Aiempien kustannus-hyötylaskelmien vertailu

Taulukko16. Aiemmissä tutkimuksissa käytetyt numeroarvot.

<b>Tekijä</b>	<b>Ilmestymisvuosi</b>	<b>Tulipalon syttymis-todennäköisyys [1/a]</b>	<b>Palokuoleman todennäköisyys [uhria/tulipalo]</b>	<b>Palokuolemien odotusarvo [uhria/a/10<sup>6</sup> asuntoa]</b>
Harmathy	1988	0,00773	0,00804	62
Fraser-Mitchell	2004	0,00162	0,00928	15
Butry	2009	0,00360	0,00820	30

<i>Alkuperäisessä tutkimuksessa esitetyt numeroarvot</i>						
<b>Tekijä</b>	<b>Ilmestymisvuosi</b>	<b>Ihmishengen arvo</b>			<b>Yksikkö</b>	<b>Referenssivuosi</b>
		Matala	Tyypillinen	Korkea		
Harmathy	1988		558 000	1 116 000	USD/henki	1985
Fraser-Mitchell	2004	1 119 000	1 243 000	1 367 000	GBP/henki	2002
Butry	2009		7 940 000		USD/henki	2005

<i>Alkuperäisen tutkimuksen numeroarvot yhdenmukaistettuna</i>						
<b>Tekijä</b>	<b>Ilmestymisvuosi</b>	<b>Ihmishengen arvo</b>			<b>Yksikkö</b>	<b>Referenssivuosi</b>
		Matala	Tyypillinen	Korkea		
Harmathy	1988		717 000	1 433 000	eur./henki	2009
Fraser-Mitchell	2004	1 531 000	1 701 000	1 870 000	eur./henki	2009
Butry	2009		6 222 000		eur./henki	2009

Kaikissa kolmessa tutkimuksessa palokuoleman todennäköisyys tulipaloa kohden on kutakuinkin vakio, hieman alle 1/1 000. Tulipalon syttymistodennäköisyys sen sijaan vaihtelee melkoisesti. Harmathyn (1988) työssä syttymistodennäköisyys on korkein, ja hänen numeroarvoillaan päädytään yli 60 vuosittaiseen palokuolemaan miljoonaa asuntoa kohti, mikä heijastaa Pohjois-Amerikassa vielä muutamia vuosi-

kymmeniä sitten vallinnutta kiistattoman synkkää paloturvallisuustilannetta. Butryn numeroarvot puolestaan peilaavat sittemmin tapahtunutta myönteistä kehitystä. Fraser-Mitchellin lukemat edustavat vielä tästäkin parempaa tasoa.

Vertailun vuoksi voi todeta, että Suomessa erillisten pientalojen syttymistajuustiheys on viime vuosina pysytellyt suunnilleen tasolla  $8 \cdot 10^{-6}$   $1/m^2a$  (Tillander et al. 2009). Tämä antaa  $150 m^2$ :n pientalon syttymistodennäköisyydeksi 0,0012 1/a, eli tältä osin tilanne on vielä Ison-Britannian tilannettakin valoisampi. Kuva muuttuu kuitenkin paljon synkemmäksi, kun tarkastellaan palokuoleman todennäköisyyttä sitten, kun tulipalo on syttynyt. Suomessa on hieman yli miljoona erillistä pientaloa, ja niissä syttyy vuosittain tuhatkunta tulipaloa. Palokuolemia näissä tulipaloissa oli vuosina 2007–2008 yhteensä 92 (Kokki ja Jäntti 2009). Palokuoleman todennäköisyydeksi tulipaloa kohden saadaan siis noin  $92/2000 = 0,046$ . Tämä on noin viisinkertainen Yhdysvaltojen ja Ison-Britannian vastaaviin lukuihin verrattuna.

Ihmishengen arvon suhteen laskelmissa käytetyt numeroarvot vaihtelevat vielä enemmän. Ihmishengen arvon määrittäminen on tavattoman vaikea tehtävä, minkä myös kaikki aiemmat tutkijat ovat muistaneet mainita. Ramachandran (2002) esittelee useita mahdollisia lähestymistapoja ja vertailee niiden eroja. Parhaimmaksi menetelmäksi Ramachandran arvioi maksuhalukkuusmenetelmän, jolle sillekin on vielä kaksi vaihtoehtoista toteuttamistapaa.

Ensimmäinen vaihtoehto perustuu työmarkkinoilla jo toteutuneiden valintojen tarkasteluun ("revealed preferences", mikä ehkä voitaisiin kääntää termillä "toteutunut maksuhalukkuus"). Perusajatuksena on se, että vaarallisista töistä maksettavat palkat ovat riskihinnoittelun seurauksena korkeampia kuin turvallisista töistä maksettavat palkat. Tätä lähestymistapaa ovat käyttäneet mm. Viscusi ja Aldy (Viscusi ja Aldy 2003, Aldy ja Viscusi 2007; jälkimmäisessä julkaisussa on menetelmän perusajatus kuvattu selkeämmässä muodossa). Butry perustaa oman arvionsa Viscusin ja Aldyn vuonna 2003 julkaisemaan yhteenvetotyöhön.

Toinen vaihtoehto perustuu ihmisten maksuhalukkuuden selvittämiseen kyselytutkimuksilla ("stated preferences", mikä ehkä voitaisiin kääntää termillä "ilmaistu maksuhalukkuus"). Perusajatuksena on se, että ihmisten itsensä annetaan kertoa, paljonko he olisivat valmiita maksamaan turvallisuutta lisäävistä toimenpiteistä.

Euroopan unioni pyrki kymmenkunta vuotta sitten luomaan yhteisiä käytäntöjä ympäristönsuojeluinvestointien kannattavuuden arviointiin. Tämän prosessin osana järjestettiin vuonna 2000 työpaja ihmishengen arvon määrittelyä varten. Työpajatyöskentelyn tuloksena syntyneet asiakirjat ovat ladattavissa internetistä (Anon. 2001a). Työpajan yleinen mielipide oli, että ilmaistu maksuhalukkuus on

## 8. Aiempien kustannus-hyötylaskelmien vertailu

toteutunutta maksuhalukkuutta parempi keino selvittää ihmishengen arvo (Anon 2001b.). Liikenneinvestointien yhteydessä käytetyt numeroarvot todettiin hyväksi lähtökohdaksi. Ihmishengen arvolla laadittiin suositusarvo (Anon. 2001c), joka oli lähellä Fraser-Mitchellin (2004) käyttämää arvoa ja huomattavasti alhaisempi kuin Butryn (2009) käyttämä arvo.

Ihmishengen arvo on ehkä merkittävin kustannus-hyötyanalyysin tuloksiin vaikuttava yksittäinen tekijä. On selvää, että asutosprinklaus näyttäytyy edullisessa valossa, jos ihmishengen arvo asetetaan hyvin korkeaksi. Toisaalta on huomattava, että ihmishengen arvottaminen korkealle ei mitenkään automaattisesti ohjaa kehitystä kohti asuntojen sprinklaamista. Maksaja todennäköisesti haluaa etsiä keinon, jolla saa rahoilleen parhaimman vastineen. Jos maksaja on yksittäinen ihminen, houkuttelevampana saattaa näyttäytyä esimerkiksi uuden ja turvallisen auton hankinta; jos maksaja on yhteiskunta, houkuttelevampana saattaa näyttäytyä vaikkapa tiestön parantaminen turvallisemmaksi. Asutosprinklaus nousee tällaisessa tarkastelussa etusijalle vain, jos sprinklauksen kustannukset pysyvät kohtuullisina.

### 8.3.5 Palokuolemien vähentyminen sprinklauksen seurauksena

Asutosprinklauksen tehokkuudeksi palokuolemien vähentämisessä ovat aiemmat tutkijat käyttäneet seuraavia arvioita (taulukko 17):

Taulukko 17. Aiemmissä tutkimuksissa käytetty arvio asutosprinklauksen tehokkuudesta palokuolemien vähentämisessä.

Tekijä	Ilmestymisvuosi	Arvio asutosprinklauksen tehokkuudesta palokuolemien vähentämisessä [ ]		
		Matala	Tyypillinen	Korkea
Harmathy	1988		0,804	
Fraser-Mitchell	2004	0,550	0,700	0,850
Butry	2009		1,000	

Harmathy (1988) ja Butry (2009) ovat esittäneet vain tyypillisen arvion. Butryn arvio on silmiinpistävä optimistinen.

### 8.3.6 Loukkaantumiset sprinklaamattomissa rakennuksissa

Eri tutkimuksissa käytetyt numeroarvot on esitetty taulukossa 18. Taulukon yläosassa esitetään alkuperäiset numeroarvot ja alaosassa loukkaantumisten kustannuksia kuvaavat numeroarvot on yhdenmukaistettu suorittamalla kohdassa 8.2.1 kuvattu inflaatiokorjaus ja kohdassa 8.2.2 kuvattu valuuttamuunnos. Kohdassa 8.2.3 esitettyjä menetelmällisiä korjauksia ei tarvitse vielä tehdä, sillä tässä ollaan vasta keräämässä kustannus-hyötylaskelman lähtötietoja.

Taulukko 18. Aiemmissä tutkimuksissa käytettyjä numeroarvoja.

<b>Tekijä</b>	<b>Ilmestymisvuosi</b>	<b>Tulipalon syttymis-todennäköisyys [1/a]</b>	<b>Loukkaantumisen todennäköisyys [uhria/tulipalo]</b>	<b>Loukkaantuneiden odotusarvo [uhria/a/10<sup>6</sup> asuntoa]</b>
Harmathy	1988	0,00773	0,0778	602
Fraser-Mitchell	2004	0,00162	0,2271	368
Butry	2009	0,00360	0,0403	145

<i>Alkuperäisessä tutkimuksessa esitetyt numeroarvot</i>						
<b>Tekijä</b>	<b>Ilmestymisvuosi</b>	<b>Loukkaantumisen kustannus</b>			<b>Yksikkö</b>	<b>Referenssi-vuosi</b>
		Matala	Tyypillinen	Korkea		
Harmathy	1988		22 000	44 000	USD/henki	1985
Fraser-Mitchell	2004	55 385	58 300	61 215	GBP/henki	2002
Butry	2009		171 620		USD/henki	2005

<i>Alkuperäisen tutkimuksen numeroarvot yhdenmukaistettuna</i>						
<b>Tekijä</b>	<b>Ilmestymisvuosi</b>	<b>Loukkaantumisen kustannus</b>			<b>Yksikkö</b>	<b>Referenssi-vuosi</b>
		Matala	Tyypillinen	Korkea		
Harmathy	1988		28 200	56 400	eur./henki	2009
Fraser-Mitchell	2004	75 800	79 800	83 800	eur./henki	2009
Butry	2009		134 500		eur./henki	2009

## 8. Aiempien kustannus-hyötylaskelmien vertailu

Kaikissa kolmessa työssä päädytään suunnilleen samoihin kokonaiskustannuksiin, sillä loukkaantumisten todennäköisyyden ja yksikkökustannuksen tulo on kaikissa kolmessa tapauksessa suunnilleen sama.

### 8.3.7 Loukkaantumisten vähentyminen sprinklauksen seurauksena

Asuntosprinklauksen tehokkuudeksi tulipaloista aiheutuvien loukkaantumisten vähentämisessä ovat aiemmat tutkijat käyttäneet seuraavia arvioita (taulukko 19):

Taulukko 19. Aiemmissä tutkimuksissa käytetty arvio asuntosprinklauksen tehokkuudesta loukkaantumisten vähentämisessä.

Tekijä	Ilmestymisvuosi	Arvio asuntosprinklauksen tehokkuudesta loukkaantumisten vähentämisessä [ ]		
		Matala	Tyypillinen	Korkea
Harmathy	1988		0,459	
Fraser-Mitchell	2004	0,150	0,300	0,450
Butry	2009		0,570	

Harmathy (1988) ja Butry (2009) ovat esittäneet vain tyypillisen arvion. Tässäkin Butryn arvio on selkeästi optimistisin.

### 8.3.8 Omaisuusvahingot sprinklaamattomissa rakennuksissa

Eri tutkimuksissa käytetyt numeroarvot on esitetty taulukossa 20. Taulukossa esitetään ensin alkuperäiset numeroarvot ja sen jälkeen numeroarvot on yhdenmukaistettu suorittamalla kohdassa 8.2.1 kuvattu inflaatiokorjaus ja kohdassa 8.2.2 kuvattu valuuttamuunnos. Kohdassa 8.2.3 esitettyjä menetelmällisiä korjauksia ei vielä tarvitse tehdä, sillä tässä ollaan vasta keräämässä kustannus-hyötylaskelman lähtötietoja.



## 8. Aiempien kustannus-hyötylaskelmien vertailu

Taulukko 20. Aiemmissä tutkimuksissa esitettyjä numeroarvoja omaisuusvahinkoihin liittyen.

<i>Alkuperäisessä tutkimuksessa esitetyt numeroarvot</i>						
Tekijä	Ilmestymis- vuosi	Arvio vahingoista			Yksikkö	Referenssi- vuosi
		Matala	Tyypillinen	Korkea		
Harmathy	1988		7 240		USD/asunto/a	1985
Fraser- Mitchell	2004	7 163	7 540	7 917	GBP/asunto/a	2002
Butry	2009		24 189		USD/asunto/a	2005

<i>Alkuperäisen tutkimuksen numeroarvot yhdenmukaistettuna</i>						
Tekijä	Ilmestymis- vuosi	Hinta-arvio			Yksikkö	Referenssi- vuosi
		Matala	Tyypillinen	Korkea		
Harmathy	1988		9 300		euroa/asunto	2009
Fraser- Mitchell	2004	9 800	10 300	10 800	euroa/asunto	2009
Butry	2009		19 000		euroa/asunto	2009

Tulipaloista aiheutuvat omaisuusvahingot käyvät varsin hyvin selville palotilastoista, eikä niihin liity myöskään vastaavaa arvotusproblematiikkaa kuin palokuolemien ja loukkaantumisten käsittelyyn. Niinpä Harmathy (1988) käyttää laskelmissaan ainoastaan tyypillistä arviota. Butry (2009) tarkastelee taloudellisia vahinkoja yksittäisen ihmisen kannalta, joten hän ottaa jatkolaskelmissaan huomioon ainoastaan sen osuuden omaisuusvahingoista, jota palovakuutus ei kata hänen arvionsa mukaan.

Sekä Harmathy että Butry käsittelevät erikseen suoria ja epäsuoria vahinkoja, mutta kumpikaan ei määrittele kovinkaan tarkkaan, mitä näillä tarkoitetaan. Tämän esityksen taulukoihin on otettu suorien ja epäsuorien vahinkojen kokonaissummat. Fraser-Mitchell (2004) ei erittele työssään suoria ja epäsuoria vahinkoja.

## 8. Aiempien kustannus-hyötylaskelmien vertailu

### 8.3.9 Omaisuusvahinkojen vähentyminen sprinklauksen seurauksena

Asuntosprinklauksen tehokkuudeksi tulipaloista aiheutuvien omaisuusvahinkojen vähentämisessä ovat aiemmat tutkijat käyttäneet seuraavia arvioita (taulukko 21):

Taulukko 21. Aiemmissä tutkimuksissa käytetty arvio asuntosprinklauksen tehokkuudesta omaisuusvahinkojen vähentämisessä.

Tekijä	Ilmestymisvuosi	Arvio asuntosprinklauksen tehokkuudesta loukkaantumisten vähentämisessä [ ]		
		Matala	Tyypillinen	Korkea
Harmathy	1988		0,713	
Fraser-Mitchell	2004	0,350	0,500	0,650
Butry	2009		0,320	

Harmathy (1988) ja Butry (2009) ovat esittäneet vain tyypillisen arvion. Tällä kertaa Butryn arvio on pessimistisin.

### 8.3.10 Palovakuutuksen hallinnointikulut ja sprinklauksen tuoma säästöpotentiaali

Harmathy (1988) on ainoana nyt tarkasteltavista töistä pyrkinyt arvioimaan palovakuutuksen hallinnointikuluja. Hänen arvionsa mukaan ne ovat noin 28 % palovakuutusmaksuista eli noin 39 % maksetuista palovakuutuskorvauksista. Laskelman tulokseksi hän saa palovakuutuksen vuotuisiksi hallinnointikuluiksi noin 26 dollaria asuntoa kohden vuoden 1985 hintatasossa eli noin 33 euroa asuntoa kohden vuoden 2009 hintatasossa. Säästöpotentiaaliksi muodostuu 71,3 % tästä summasta eli noin 24 euroa asuntoa kohden vuodessa. Harmathyn laskelmassa tämä säästö muodostaa noin 18 % asuntosprinklauksen tuottamista hyödyistä.

Palovakuutuksen hallinnointikulut kuulostavat korkeahkoilta, mutta myös esim. Ramachandran (2002) on esittänyt vastaavalla tasolla liikkuvia arvioita. Butry (2009) ei huomioi vakuutuksen hallinnointikuluja, koska hän käsittelee yksittäisen ihmisen näkökulmaa. Epäselväksi jää, miksi Fraser-Mitchell (2004) ei käsittele palovakuutusten hallinnointia omassa esityksessään.

### 8.3.11 Palokuntien kustannukset ja sprinklauksen tuoma säästöpotentiaali

Harmathy (1988) on ainoana nyt tarkasteltavista töistä pyrkinyt arvioimaan palokuntien perustamisesta ja toiminnasta syntyviä kustannuksia. Hänen arvionsa mukaan uusien pientalojen rakentamisen vuoksi tarvittavien lisäpalokuntien perustamiskustannus on noin 63 dollaria taloa kohden ja vuotuiset käyttökustannukset noin 10 dollaria taloa kohden (molemmat luvut vuoden 1985 hintatasossa). Vuoden 2009 hintatasossa vastaavat luvut olisivat perustamiskustannusten osalta noin 81 euroa ja vuotuisten käyttökustannusten osalta noin 13 euroa. Näidenkin kustannusten säästöpotentiaaliksi muodostuu 71,3 % eli Harmathyn käyttämällä käyttöiän ja laskentakoron arvoilla noin 15 euroa asuntoa kohden vuodessa. Harmathyn laskelmassa tämä säästö muodostaa noin 10 % asuntospinklauksen tuottamista hyödyistä.

Fraser-Mitchell (2004) ja Butry (2009) eivät käsittele palokuntien kustannusten mahdollisesta vähenemisestä saatavia hyötyjä.

Mahdollisuus säästää pelastustoimen kustannuksissa on tuotu Pohjois-Amerikassa esiin tärkeänä perusteluna asuntojen sprinklaukselle (ks. esim. Ford 1997, Rajaniemi 2006). On kuitenkin mietittävä, missä määrin tätä mahdollisuutta kannattaa yrittää hyödyntää Suomessa, kun tavoitteeksi lienee kuitenkin järkevämpää asettaa paloturvallisuustason oleellinen parantaminen nykytilanteesta mieluummin kuin kustannusten säästö.

## 8.4 Aiempien kustannus-hyötyanalyysien tulokset

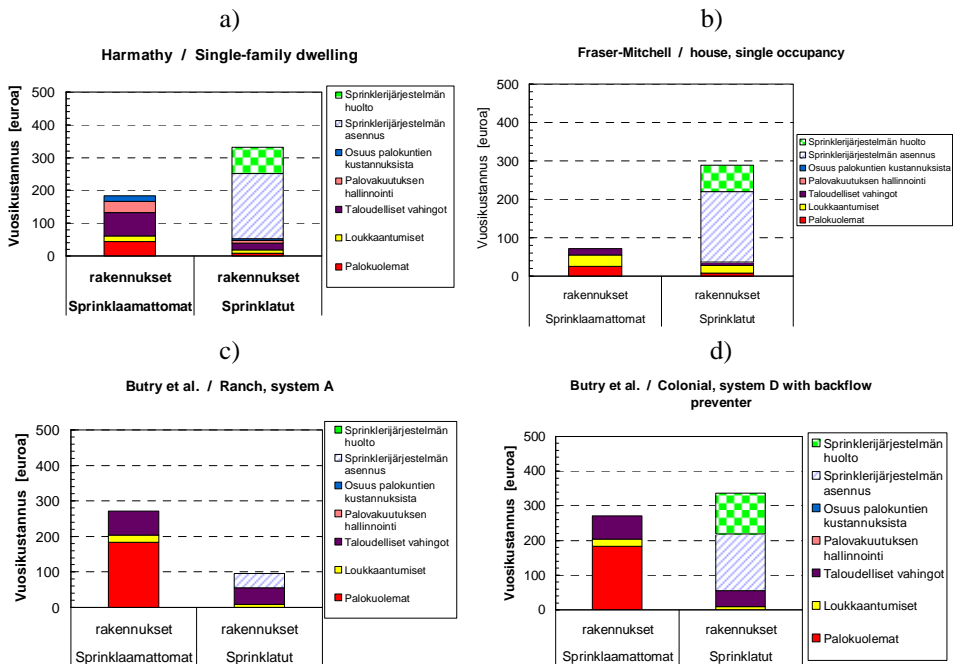
Tässä luvussa tarkasteltujen kustannus-hyötyanalyysien tulokset on tiivistetty oheisiin kuviin 57a–d. Harmathyn (1988) ja Fraser-Mitchellin (2004) töistä esitetään tyypillisiä numeroarvoja vastaavat tapaukset. Butryn (2009) laskelmista esitetään kaksi tapausta. Ensimmäinen tapaus on tyyppitalo ”ranch”, jonka pinta-ala on 109 m<sup>2</sup> ja joka on varustettu järjestelmällä, jonka koodinimi on Butryn työssä A. Tämä tapaus oli Butryn tarkastelemista tapauksista asennuskustannuksiltaan kaikkein halvin. Toinen tapaus on tyyppitalo ”colonial”, jonka pinta-ala on 310 m<sup>2</sup> ja joka on varustettu järjestelmällä, jonka koodinimi on Butryn työssä D, ja lisäksi takaisinvirtauksenestolaitteella. Tämä tapaus oli Butryn tarkastelemista tapauksista asennuskustannuksiltaan kaikkein kallein.

Laskelmien yhdenmukaistamiseksi kaikki kustannuslaskelmat on tehty yhtä taloa kohden annuiteettimenetelmällä. Käyttöiäksi on valittu 30 vuotta ja laskentakoroksi 4,8 %. Luonnollisesti tämä valinta aiheuttaa muutoksia kertakustannusten

## 8. Aiempien kustannus-hyötylaskelmien vertailu

ja toistuvien kustannusten suhteisiin; nämä muutokset ovat kuitenkin pienehköjä (vrt. nykyarvotekijän ja annuiteettitekijän muutokset kohdan 7.4 kuvissa). Näkökulmaksi on valittu yhteiskunnan näkökulma. Tämä näkökulmavalinta ei muuta Harmathyn eikä Fraser-Mitchellin laskelmia, sillä näissä töissä käytettiin alunperinkin yhteiskunnan näkökulmaa. Näkökulmavalinta muuttaa jonkin verran Butryn laskelmia, sillä vakuutusmaksujen ja tulipaloista aiheutuvien omaisuusvahinkojen käsittely on näissä kahdessa tapauksessa erilainen.

Tulokset ovat varsin selkeitä. Kolmessa tapauksessa neljästä asuntospinklaus on kannattamatonta. Erityisesti sammutusjärjestelmän rakentamiseen liittyvät investointikustannukset ja järjestelmän vuotuiset huoltokustannukset painavat raskaasti Harmathyn (1988) ja Fraser-Mitchellin (2004) analyyseissä. Myös Butryn (2009) laskelma tyypitalolle ”colonial” on kannattamaton johtuen ko. tapaukseen liittyvistä korkeista investointi- ja huoltokustannuksista. Butryn laskelma tyypitalolle ”ranch” on sen sijaan kannattava lähinnä sen vuoksi, että investointikustannus on arvioitu poikkeuksellisen alhaiseksi ja huoltokustannuksia ei ole oletettu syntyvän lainkaan. Butryn laskelmille on tyypillistä myös se, että ihmishengen arvo ja sprinklauksen tehokkuus ihmishenkien pelastamisessa on arvioitu huomattavan korkeiksi.



Kuva 57. Aikaisempien kustannus-hyötyanalyyseiden tulokset tiivistettyinä. Kustannukset on laskettu yhtä taloa kohden annuiteettimenetelmällä a) Harmathy, b) Fraser-Mitchell, c) Butry et al. ”ranch” ja d) Butry et al. ”colonial”.

## **9. Asuntosprinklauksen kannattavuus Suomessa**

Tässä luvussa lasketaan edellä esitetyllä metodiikalla kaksi esimerkkilaskelmaa asuntosprinklauksen kannattavuudesta Suomen olosuhteissa. Laskelmien kohteena on erillinen pientalo, jonka pinta-ala on 150 m<sup>2</sup>. Laskelmille tehdään myös herkkyysanalyysit.

### **9.1 Laskelman 1 lähtöarvot**

Oheisessa taulukossa 22 esitetään laskennan lähtöarvot. Laskelmaan on otettu mukaan kohdissa 8.3.2–8.3.9 esitetyt tekijät. Laskelman perustapauksessa kaikki muuttujat saavat sarakkeessa ”tyypillinen” esitetyt arvot, ja herkkyysanalyysissä annetaan yhden muuttujan kerrallaan vaihdella matalasta arvosta korkeaan. Asuntosprinklauksen vaikutusta palovakuutuksen hallintokuluihin ja palokuntien kuluihin ei ole huomioitu.

## 9. Asuntosprinklauksen kannattavuus Suomessa

Taulukko 22. Esimerkkilaskelman lähtöarvot, Suomi.

Muuttuja	Symboli	Arvo			Yksikkö
		Matala	Tyypillinen	Korkea	
Järjestelmän käyttöikä	r	20	30	40	a
Laskentakorko	k	2,8	4,8	6,8	%/a
Rakennuksen pinta-ala	A		150		m <sup>2</sup>
Sprinklauksen investointikustannukset	d	10	25	40	euroa/ m <sup>2</sup>
Sprinklauksen huoltokustannukset	s	0	100	200	euroa/a
Syttymistäajuustiheys	f'	0,6·10 <sup>-6</sup>	0,8·10 <sup>-6</sup>	1,0·10 <sup>-6</sup>	1/m <sup>2</sup> a
Palokuoleman todennäköisyys tulipaloa kohden	h	0,01	0,04	0,07	–
Ihmishengen arvo	H	967 000	1 934 000	2 901 000	euroa
Sprinklauksen tehokkuus palokuolemien estämisessä	χ <sub>kuol</sub>	0,7	0,8	0,9	–
Loukkaantumisen todennäköisyys tulipaloa kohden	l	0,1	0,2	0,3	–
Loukkaantumisen yksikkökustannus	L	60 750	243 000	425 250	euroa
Sprinklauksen tehokkuus loukkaantumisten estämisessä	χ <sub>louk</sub>	0,7	0,8	0,9	–
Keskimääräinen omaisuusvahinko tulipaloa kohden	V	20 000	40 000	60 000	euroa
Sprinklauksen tehokkuus omaisuusvahinkojen estämisessä	χ <sub>vah</sub>	0,7	0,8	0,9	–

Lähtösuureiden valinnasta voidaan todeta seuraavaa.

- Järjestelmän käyttöiän valinta vastaa aiempia tutkimuksia ja lienee varsin hyvin arvioitavissa.
- Laskentakoron valinta on osittain arvostuskysymys, mutta sitä ei liene järkevää valita ainakaan inflaatiota pienemmäksi. Nyt valittu tyypillinen arvo 4,8 % vuodessa vastaa Butryn (2009) valintaa. Matala arvo 2,8 % vuodessa ylittää juuri ja juuri tähänastisen rakennuskustannusindeksin nousun (vrt. kohta 8.2.1).
- Sprinklauksen investointikustannukset lienevät suhteellisen realistisia Suomen oloissa. Tyypilliseksi valittu arvo 25 euroa neliometriä kohden antaa kokonaiskustannuksiksi 3 750 euroa, mikä on hieman alhaisempi kuin esim. ympäristöministeriön vuonna 2006 esittämä arvio 5 000 euroa asuntoa kohden (Toikka 2006). Fraser-Mitchellin (2004) arvio oli kohdassa 8.2 esitetyn yhdenmukaistamisen jälkeen 2 900 euroa asuntoa kohden ja Norjassa on arveltu päästävän alle 2 500 euron asuntoa kohden (Anon. 2006). Pohjois-Amerikan hintoihin verrattuna kaikki nämä arviot ovat korkeita (vrt. esim. Ford 1997, Rajaniemi 2006, Anon. 2009e). Toisaalta myös rakennuskustannukset näyttävät ylimalkaan olevan Pohjois-Amerikassa varsin alhaisia: Vancouveriin rakennetun 140 neliömetrin asunnon rakennuskustannuksiksi voidaan Rajaniemen numeroarvojen perusteella laskea alle 900 euroa neliömetriltä.
- Arvioidut huoltokustannukset ovat samaa luokkaa kuin aikaisemmissa tutkimuksissa käytetyt arviot. Matalien kustannusten vaihtoehdossa vuotuisia huoltokustannuksia ei synny lainkaan. Tämä on luonnollisesti kiinnostava laskelma sikäli, että se kertoo, mihin parhaimmillaan voitaisiin ehkä päästä. Erikseen jää pohdittavaksi, onko tällainen käytäntö oikeasti realistinen eli uskalletaanko järjestelmät jättää täysin vaille vuosihuoltoa.
- Syttymistäajuustiheys voidaan varsin hyvin arvioida palotilastoista (Tillander et al. 2009). Tässä tarkasteltava vaihteluväli on varsin suppea, mutta vastaa viime aikojen toteutunutta kehitystä, kun tarkastelukohteena on koko maa. Erikseen kannattaisi ehkä pohtia, missä määrin myös syttymistäajuuden suhteen on löydettävissä riskiryhmiä vastaavalla tavalla kuin palokuolemien suhteen. Tillanderin et al. työssähän nähdään jo viitteitä tällaisesta eriytymisestä.

## 9. Asuntosprinklauksen kannattavuus Suomessa

- Palokuoleman todennäköisyys tulipaloa kohden on Suomessa huomattavan korkea. Lisäksi Suomen tilastoista on löydettävissä riskiryhmiä, joilla palokuoleman riski on kertaluokkaa korkeampi kuin muulla väestöllä (ks. esim. Kokki ja Jäntti 2009). Tätä tilannetta on pyritty haarukoimaan nyt käytetyllä varsin laajalla vaihteluvälillä.
- Ihmishengen arvolle ja loukkaantumisen yksikkökustannukselle käytetyt tyypilliset arvot on valittu Tiehallinnon omissa laskelmissaan käyttämien arvojen perusteella (Karhula ja Goebel 2005) kuitenkin niin, että ne on inflaatiokorjattu kohdassa 8.2.1 esitetyllä tavalla. Ihmishengen arvo vastaa varsin hyvin Fraser-Mitchellin (2004) käyttämää arvoa samoin kuin Euroopan unionin suosituksia (Anon. 2001c). Myös tässä käytetty vaihteluväli vastaa Euroopan unionin suosituksia. Loukkaantumisen yksikkökustannus on huomattavan korkea verrattuna muiden tutkijoiden käyttämiin arvoihin, mutta tämä lienee eräs heikoimmin tunnetuista tulipalojen aiheuttamista kustannuksista.
- Arvio keskimääräisestä omaisuusvahingosta tulipaloissa perustuu Tillanderin et al. (2009) esittämiin tietoihin. Ko. työssä ei tosin eritellä omaisuusvahinkoja erillisten pientalojen tulipaloissa, mutta alkuperäisaineistoa tarkastelemalla päädytään keskiarvoon, joka vastaa nyt käytettyä tyypillistä arvoa (Tillander 2009 suullinen tiedonanto).
- Sprinklauksen tehokkuus niin palokuolemien, loukkaantumisten kuin omaisuusvahinkojenkin torjumisessa on tässä työssä asetettu huomattavasti korkeammiksi kuin aiemmin tehdyissä tarkasteluissa (lukuun ottamatta sitä seikkaa, että Butry (2009) piti asuntosprinklausta täydellisen tehokkaana keinona palokuolemien torjunnassa). Pohjois-Amerikan kokemukset (Ford 1997, Aalto 2006) viittaavat kuitenkin siihen, että tässä valitut numeroarvot saattavat olla täysin realistisia.



Laskelma koostuu seitsemän eri kustannuslajin (esitetty kuvassa 58 alla) summana. Kustannukset on määritetty seuraavasti:

Osuus palokuntien kustannuksista: ei otettu huomioon

Palovakuutuksen hallinnointi: ei otettu huomioon

Taloudelliset vahingot:  $f'' \cdot A \cdot V \cdot \chi_{vah}$

Loukkaantumiset:  $f'' \cdot A \cdot l \cdot L \cdot \chi_{louk}$

Palokuolemat:  $f'' \cdot A \cdot h \cdot H \cdot \chi_{kuol}$

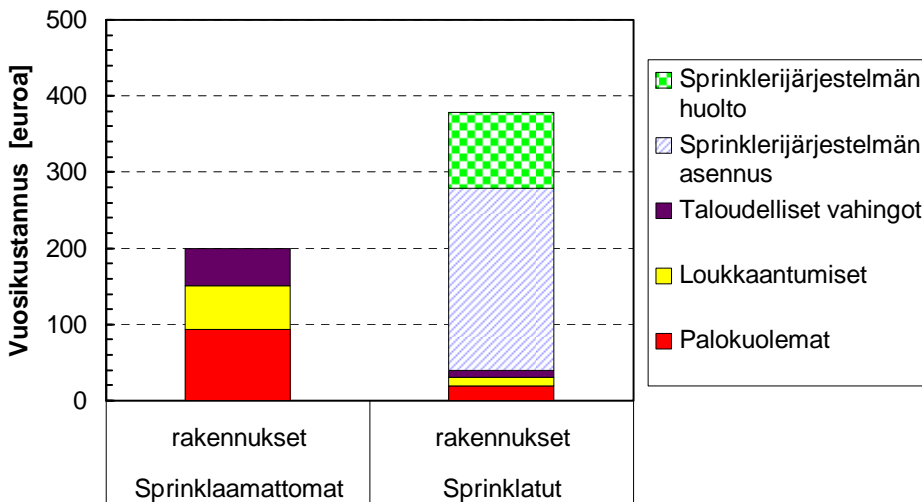
Sprinklerijärjestelmän huolto:  $s$

Sprinklerijärjestelmän asennus:  $d \cdot A \cdot \frac{k}{100} \left[ \frac{\left(1 + \frac{k}{100}\right)^r}{\left(1 + \frac{k}{100}\right)^r - 1} \right]$

Sprinklaamattomassa tapauksessa tehokkuuskerroin  $\chi_{vah} = \chi_{kuok} = \chi_{louk} = 1$ .

Laskelman 1 tyypilliset numeroarvot antavat kuvassa 58 esitetyn tuloksen:

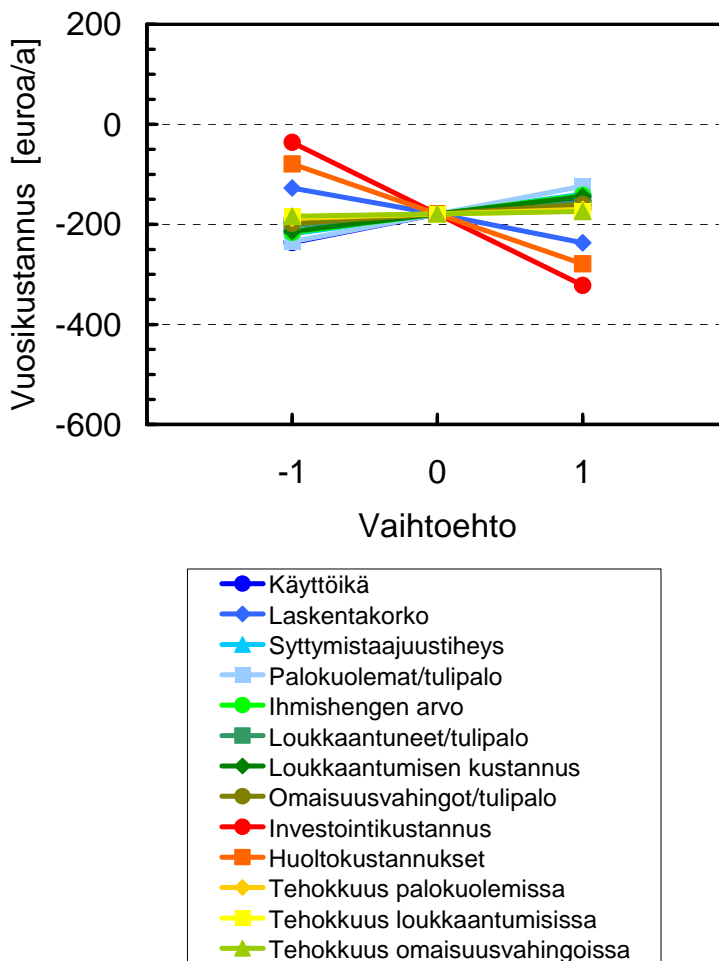
**Laskelma 1**



Kuva 58. Esimerkkilaskelman kustannus-hyötyanalyysin tulokset tiivistettynä.

## 9. Asuntosprinklauksen kannattavuus Suomessa

Herkkyysanalyysin tulokset on esitetty kuvassa 59.



Kuva 59. Herkkyysanalyysin tulokset laskelmalle 1.

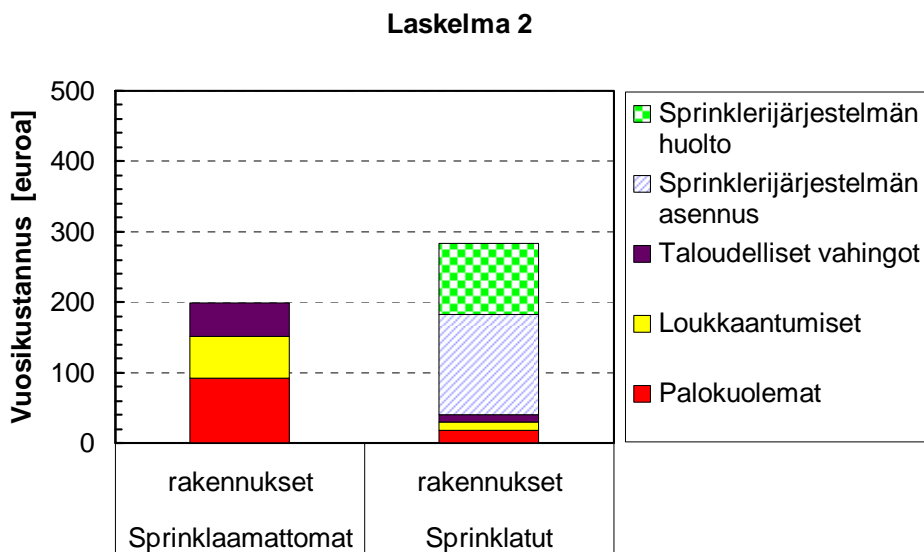
## 9.2 Laskelman 2 lähtöarvot

Laskelma 1 osoitti, että näillä lähtöarvoilla laskettaessa tärkein asuntosprinklauksen kannattavuuteen vaikuttava muuttuja on järjestelmän investointikustannus. Laskelma 2 on tyyppiä ”entä, jos” ja tavoitteena on katsoa, mitä tapahtuisi, jos investointikustannukset saataisiin painetuksi oleellisesti alhaisemmiksi. Niinpä laskelmassa 2 käytetään seuraavia arvoja:

- Tyypillinen investointikustannus 15 euroa neliometriä kohden.
- Matala arvo 10 euroa neliometriä kohden.
- Korkea arvo 20 euroa neliometriä kohden.

Kaikki muut lähtöarvot pidetään ennallaan.

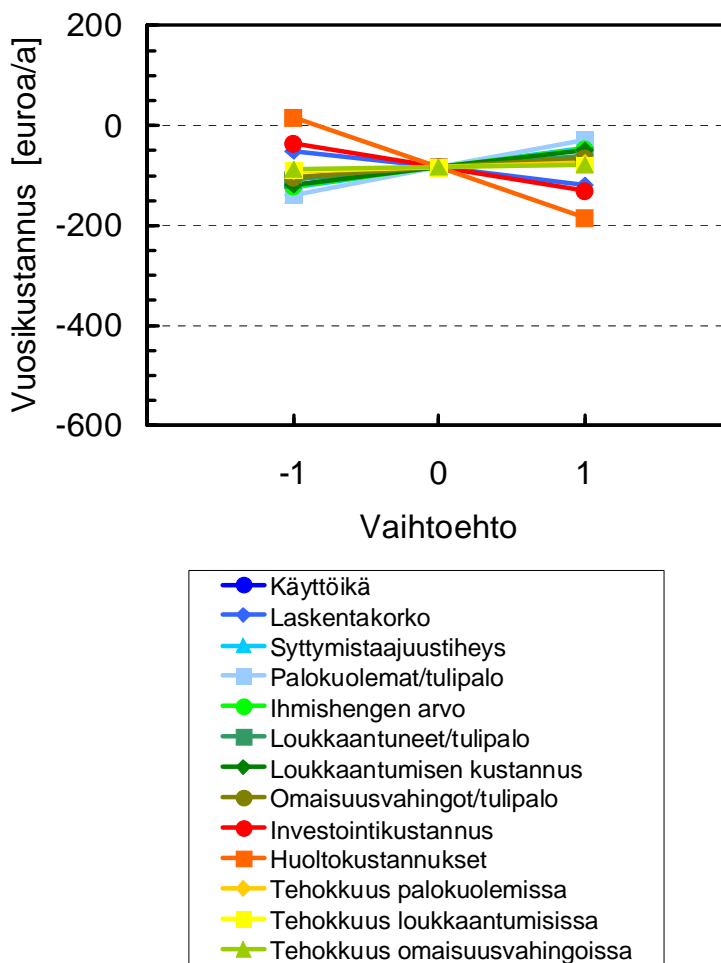
Tulokset kuvassa 60.



Kuva 60. Esimerkilaskelman 2 kustannus-hyötyanalyysin tulokset tiivistettynä.

## 9. Asuntosprinklauksen kannattavuus Suomessa

Herkkyysanalyysin tulokset on esitetty kuvassa 61.



Kuva 61. Herkkyysanalyysin tulokset laskelmalle 2.

## 10. Johtopäätökset

Asuntosprinklauksen hyötyjä ja haittoja voidaan arvioida kustannuslaskelmien, laadullisen vaikuttavuuden ja teknisen toteuttamiskelpoisuuden näkökulmista. Tässä esityksessä on keskitytty tarkastelemaan ainoastaan kustannuslaskelman yhtä osa-aluetta, kustannus-hyötysuhdetta. Tarkastelu on rajattu pientaloon, ja useat laskelman lähtöarvoista on valittu koko rakennuskantaa ja koko väestöä koskevien tunnuslukujen perusteella. Näin ollen tarkastelu ei erottele esimerkiksi sitä, minkä tyyppisellä alueella pientalo sijaitsee, millainen geometria rakennuksessa on, kuinka paljon ihmisiä rakennuksessa asuu tai mitkä ovat heidän mahdollisuutensa poistua palon sattuessa. Kyseessä on siten keskiarvoistettu tarkastelu, jossa muuttuvat numeroarvot on valittu vastaamaan Suomen keskimääräistä tasoa.

Valituilla numeroarvoilla suoritettu analyysi osoittaa, että esitetyssä esimerkitapauksessa pientalon varustaminen henkilösuojaukseen tarkoitettulla automaattisella sammutusjärjestelmällä ei ole kustannustehokasta, ellei sammutusjärjestelmien asennuskustannuksia saada merkittävästi pienennettyä. Niinpä amerikkalainen NFPA13D-standardi pientalojen sammutusjärjestelmille onkin pyritty kirjoittamaan nimenomaan siten, että se mahdollistaisi hyvin edullisten sammutusjärjestelmien asentamisen.

Tässä työssä saatua tulosta ei kuitenkaan voi tulkita siten, että asutosprinklaus olisi yleisesti ottaen kustannustehotonta. Esimerkiksi brittiläinen analyysi (Fraser-Mitchell 2004) osoittaa, että kun analyysi fokusoidaan rakennustyyppin perusteella, asutosprinklaus on todennäköisesti kustannustehokasta hoitolaitoksissa ja korkeissa asuinrakennuksissa.

Tässä julkaisussa esitettyyn yksittäistä rakennustyyppiä koskevaan laskelmaan tulee suhtautua esimerkinomaisena. Kokonaisvaltaisempi tulos voidaan saada laajentamalla tarkastelu koskemaan useita rakennustyyppisiä ja valitsemaan laskelmien lähtöarvot vain näihin rakennuksiin ja niissä asuviin ihmisiin perustuen. Samoin tarkastelu tulisi laajentaa käsittämään laadulliset vaikutukset, sekä teknisen

## 10. Johtopäätökset

toteuttamiskelpoisuuden kautta myös vaikutukset yhdyskuntasuunnitteluun. Esimerkkinä tästä voidaan todeta se, että asuntosprinklauksella voi olla suora vaikutus esim. kaavoitukseen, sillä suojaamalla asunnot sprinklerijärjestelmillä voidaan esimerkiksi edistää tiiviiden ja matalien asuinalueiden rakentamista. Hankkeen ensimmäisen osan loppuraportissa (Rinne et al. 2008) oli myös lueteltu USA:ssa saatuja kokemuksia sprinklauksen vaikutuksesta kaupunkisuunnitteluun.

# Lähdeluettelo

- Aalto, E. 2006. Synkille palokuolemaluville tehtävä jotain. Pelastustieto 7/2006, s. 11.
- Aldy, W. K. & Viscusi, J. E. 2007. Age differences in the value of statistical life. Resources for the Future Report RFF DP 07-05. <http://ideas.repec.org/p/rff/dpaper/dp-07-05.html>.
- Anon. 2001a. [http://ec.europa.eu/environment/enveco/economics\\_policy/index.htm#\\_Toc240786973](http://ec.europa.eu/environment/enveco/economics_policy/index.htm#_Toc240786973). Tiedot haettu 21.10.2009.
- Anon. 2001b. <http://ec.europa.eu/environment/enveco/others/pdf/proceedings.pdf>. Tiedot haettu 21.10.2009.
- Anon. 2001c. [http://ec.europa.eu/environment/enveco/others/pdf/recommended\\_interim\\_values.pdf](http://ec.europa.eu/environment/enveco/others/pdf/recommended_interim_values.pdf). Tiedot haettu 21.10.2009.
- Anon. 2006. Asuntojen sprinklausta pohditaan myös Norjassa. Pelastustieto 10/2006, s. 59.
- Anon. 2009a. [http://pxweb2.stat.fi/Dialog/varval.asp?ma=010\\_rki\\_tau\\_101\\_fi&ti=Rakennus+kustannusindeksi&path=../Database/StatFin/hin/rki/&lang=3&multilang=fi](http://pxweb2.stat.fi/Dialog/varval.asp?ma=010_rki_tau_101_fi&ti=Rakennus+kustannusindeksi&path=../Database/StatFin/hin/rki/&lang=3&multilang=fi). Tiedot haettu 31.8.2009.
- Anon. 2009b. [http://pxweb2.stat.fi/Dialog/varval.asp?ma=030\\_khi\\_tau\\_103\\_fi&ti=Kuluttaja+hintaindeksi+1995%3D100&path=../Database/StatFin/hin/khi/&lang=3&multilang=fi](http://pxweb2.stat.fi/Dialog/varval.asp?ma=030_khi_tau_103_fi&ti=Kuluttaja+hintaindeksi+1995%3D100&path=../Database/StatFin/hin/khi/&lang=3&multilang=fi). Tiedot haettu 31.8.2009.
- Anon. 2009c. <http://www.bls.gov/cpi/home.htm#overview>. Tiedot haettu 1.9.2009.
- Anon. 2009d. [http://www.bof.fi/Stats/default.aspx?r=%2ftilastot%2fvaluuttakurssit%2fvaluutta+kurssit\\_long\\_en](http://www.bof.fi/Stats/default.aspx?r=%2ftilastot%2fvaluuttakurssit%2fvaluutta+kurssit_long_en). Tiedot haettu 2.9.2009.
- Anon. 2009e. [http://www.nfpa.org/newsReleaseDetails.asp?categoryId=488&itemId=40496&rss=sprinklers&cookie\\_test=1](http://www.nfpa.org/newsReleaseDetails.asp?categoryId=488&itemId=40496&rss=sprinklers&cookie_test=1). Tiedot haettu 15.10.2009.
- Butry, D. T. 2009. Economic performance of residential fire sprinkler systems. *Fire Technology*, 45(2009), s. 117–143.
- Ford, J. 1997. Automatic Sprinklers. A 10-year study. Rural/Metro Fire Department, Scottsdale, Arizona. Ladattu 23.10.2007 osoitteesta <http://www.homefiresprinkler.org/FS/FSMunicipalRports.html>.
- Fraser-Mitchell, J. 2004. Effectiveness of sprinklers in residential premises: Section 6: Cost benefit analysis. Building Research Establishment report 204505.

- Harmathy, T. Z. 1988. On the economics of mandatory sprinklering of dwellings. *Fire Technology*, 24(1988)3, s. 245–261.
- Karhula, M. & Goebel, A. 2005. Tieliikenteen ajokustannusten yksikköarvot. Tiehallinto, 2005. ISBN 951-803-606-3. [http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100039-v-05tie liikent\\_ajokustann.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100039-v-05tie liikent_ajokustann.pdf).
- Kokki, E. & Jäntti, J. 2009. Vakavia henkilövahinkoja aiheuttaneet tulipalot 2007–2008. Pelastusopisto B-sarja: Tutkimusraportit 2/2009. ISBN 978-952-5515-67-1.
- LVM 2003. Liikenneväylähankkeiden arvioinnin yleisohje. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 34/2003. Liikenne- ja viestintäministeriö, Helsinki, 2003.
- Rajaniemi, K. 2006. Vancouverissa tiukat paloturvallisuusvaatimukset. *Pelastustieto*, 2(2006), s. 21–23.
- Ramachandran, G. 2002. Measuring fire consequences in economic terms. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 3. painos, Quincy. S. 5-79–5-92. ISBN 087765-451-4.
- Rinne, T., Tillander, K., Vaari, J., Belloni, K. & Paloposki, T. 2008. Asuntosprinklaus Suomessa. Vaikuttavuuden arviointi. Espoo, VTT. 84 s. VTT Tiedotteita 2430. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2008/T2430.pdf>.
- Tillander, K., Oksanen, T. & Kokki, E. 2009. Paloriskin arvioinnin tilastopohjaiset tiedot. Espoo, VTT. 106 s. + liitt. 5 s. VTT Tiedotteita 2479. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2479.pdf>.
- Toikka, V. 2006. Asuntopaloihin halutaan puuttua tehokkailla otteilla. *Pelastustieto* 9/2006 s. 9–10.
- Uusi-Rauva, E., Haverila, M. & Kouri, I. 1993. *Teollisuustalous*. Tampere, Infacs Johtamistechniikka Oy. 464 s.
- Viscusi, W. K. & Aldy, J. E. 2003. The value of a statistical life: a critical review of market estimates throughout the world. *Journal of Risk and Uncertainty*, Vol. 27, s. 5–76.



Tekijä(t) Jukka Vaari, Kati Tillander, Tuomo Rinne & Tuomas Paloposki		
Nimeke <b>Asuntosprinklaus Suomessa Vaikuttavuuden arviointi. Osa 2</b>		
Tiivistelmä VTT:ssä on vuodesta 2006 lähtien ollut meneillään asuntosprinklausta käsittelevä hankekokonaisuus, jonka päätavoitteena on arvioida, voidaanko palokuolemien ja loukkaantumisten määrää Suomessa vähentää merkittävästi asuntosprinklauksella. Hankkeen toisessa osassa toteutettiin mittava koesarja, jossa todennettiin paitsi tavanomaisten asuntosprinklerien suorituskyky, myös uudempaan sammutuslaitetekniikkaan, erityisesti vesisummuun, perustuvien järjestelmien suorituskyky henkilöturvallisuussovel-luksissa. Toisessa osassa tarkasteltiin myös alustavasti asuntosprinklauksen kustannuslaskentaa. Koesarjaan osallistuneet sammutusjärjestelmät edustivat laajaa kirjoa vesipohjaisia sammutusjärjes-telmiä. Mukana oli tavanomaisia asuntosprinklereitä, matala- ja korkeapaineisia vesisumujärjestelmiä, liikuteltavia järjestelmiä, sekä järjestelmiä, joiden laukeaminen perustui tavanomaisten lasikapselien asemesta paloilmaisimiin. Osa sammutusjärjestelmistä oli tarkoitettu nimenomaan henkilösuojaukseen, kun taas osa oli suunniteltu suorituskyvyltään samantasoiseksi kuin OH1-sprinklerijärjestelmä. Yhteistä kaikille järjestelmille oli, että testitilassa oli asennettuna yksi ainoa suutin. Kaikki järjestelmät käyttivät sammutteena pelkkää vettä. Johtopäätökset sammutusjärjestelmien suorituskyvystä perustuivat kokeiden aikana suoritettuihin kaasun lämpötilan, kaasupitoisuuksien sekä savun tiheyden mittauksiin. Kustakin paloskenaariosta toteutettiin vertailun vuoksi myös ns. vapaapalo, jossa seurattiin miten palo etenee samoja palokuormia käyttäen tilanteessa, jossa tilaan ei ole asennettu sammutusjärjestelmää. Kokeissa kaikki sammutusjärjestelmät rajoittivat kaasulämpötiloja koetilassa niin alas, että tilan yleis-syttyminen olisi käynyt mahdottomaksi, samoin palon leviäminen koetilan ulkopuolelle käytävään. Myös ihmiselle haitallisten kaasujen pitoisuudet rajoituivat niin alas, että henkilöturvallisuus huoneessa ei vaa-rantunut, ja poistumiseen oli riittävästi aikaa. Kustannuslaskennassa keskityttiin tarkastelemaan ainoastaan kustannuslaskelman yhtä osa-aluetta, kustannus-hyötysuhdetta. Tarkastelu on rajattu pientaloon, ja useat laskelman lähtöarvoista on valittu koko rakennuskantaa ja koko väestöä koskevien tunnuslukujen perusteella. Näin ollen tarkastelu ei erottele esi-merkiksi sitä, minkä tyyppisellä alueella pientalo sijaitsee, millainen geometria rakennuksessa on, kuinka paljon ihmisiä rakennuksessa asuu tai mitkä ovat heidän mahdollisuutensa poistua palon sattuessa. Valituilla numeroarvoilla suoritettu analyysi osoittaa, että esimerkkitapauksessa pientalon varustami-nen henkilösuojaukseen tarkoitettulla automaattisella sammutusjärjestelmällä ei ole kustannustehokasta, ellei sammutusjärjestelmien asennuskustannuksia saada merkittävästi pienennettyä. Laskelmaan tulee kuitenkin suhtautua esimerkinomaisena. Kokonaisvaltaisempi tulos voidaan saada laajentamalla tarkastelu koskemaan useita rakennustyyppisiä ja valitsemaan laskelmien lähtöarvot vain näihin rakennuksiin ja niissä asuviin ihmisiin perustuen. Samoin tarkastelu tulisi laajentaa käsittämään laadulliset vaikutukset.		
ISBN 978-951-38-7566-4 (nid.) 978-951-38-7567-1 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		Projektinnumero 14017
Julkaisu-aika Huhtikuu 2010	Kieli Suomi	Sivuja 134 s.
Projektin nimi		Toimeksiantaja(t)
Avainsanat fire hazards, fire safety, accident prevention, fire extinguishers, sprinkler systems, residential buildings, legislation, technical solutions, smoke detection, automatic extinguishers		Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374

Asuntosprinklausta käsittelevän hankekokonaisuuden toisessa osassa toteutettiin mittava koesarja, jossa todennettiin useiden erityyppisten vesisammutusjärjestelmien suorituskyky henkilöturvallisuussovelluksissa. Toisessa osassa tarkasteltiin myös alustavasti asuntosprinklauksen kustannuslaskentaa.

Koesarjaan osallistui tavanomaisia asuntosprinklereitä, matala- ja korkeapaineisia vesisumujärjestelmiä, liikuteltavia järjestelmiä sekä järjestelmiä, joiden laukeaminen perustui tavanomaisten lasikapselien asemesta paloilmaisimiin. Osa sammutusjärjestelmistä oli tarkoitettu nimenomaan henkilösuojaukseen, kun taas osa oli suunniteltu suorituskyvyltään samantasoisiksi kuin OH1-sprinklerijärjestelmä. Kaikki järjestelmät käyttivät sammutteena pelkkää vettä.

Kokeissa kaikki sammutusjärjestelmät rajoittivat kaasulämpötiloja koetilassa niin alas, että tilan yleissytyminen olisi käynyt mahdottomaksi, samoin palon leviäminen koetilan ulkopuolelle käytävään. Myös ihmiselle haitallisten kaasujen pitoisuudet rajoittuivat niin alas, että henkilöturvallisuus huoneessa ei vaarantunut, ja poistumiseen oli riittävästi aikaa.

Kustannuslaskennassa keskityttiin tarkastelemaan ainoastaan kustannuslaskelman yhtä osa-aluetta, kustannus-hyötysuhdetta. Tarkastelu rajattiin pientaloon, ja useat laskelman lähtöarvoista valittiin koko rakennuskantaa ja koko väestöä koskevien tunnuslukujen perusteella. Näin suoritettu analyysi osoitti, että esimerkkitapauksessa pientalon varustaminen henkilösuojaukseen tarkoitettulla automaattisella sammutusjärjestelmällä ei ole kustannustehokasta, ellei sammutusjärjestelmien asennuskustannuksia saada merkittävästi pienennettyä. Laskelmaan tulee kuitenkin suhtautua esimerkinomaisena. Kokonaisvaltaisempi tulos voitaisiin saada laajentamalla tarkastelu koskemaan useita rakennustyyppisiä ja valitsemaan laskelmien lähtöarvot vain näihin rakennuksiin ja niissä asuviin ihmisiin perustuen. Samoin tarkastelu tulisi laajentaa käsittämään laadulliset vaikutukset.