



Tuomo Rinne, Peter Grönberg, Ville Heikura & Timo Loponen

Huoneistopalon sammutus vaihtoehtoisilla sammutus- menetelmillä

ISBN 978-951-38-7688-3 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

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

Copyright © VTT 2011

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

Espoo 2011

Tuomo Rinne, Peter Grönberg, Ville Heikura & Timo Loponen. Huoneistopalon sammutus vaihtoehtoisilla sammutusmenetelmillä [Apartment fire fighting using alternative extinguishing methods]. 2011. VTT Tiedotteita – Research Notes 2570. 80 s.

Avainsanat dry sprinkler powder aerosol, CCS Cobra, fire fighting, enclosure fire, flash over, toxic gases, emissions, fire load

Tiivistelmä

Raportissa esitetään tuloksia yhden huonetilan sammutuskokeista käyttämällä operatiivisen palontorjunnan perinteistä ja vaihtoehtoisia sammutusmenetelmiä. Sammutusmenetelminä käytettiin suihkuputkea (perinteinen), Cobra-sammutinleikkuria ja DSPA-heittosammutinta. Kokeita tehtiin kuusi, joista viidessä huonetila oli yleissyttynyt. Palokuormana käytettiin pääasiassa lastulevyistä valmistettuja huonekaluja. Huonetila oli instrumentoitu kaasun lämpötila- ja lämpösäteilyantureilla sekä jatkuvatoimisella kaasumittauslinjastolla. Sammutustapahtumia monitoroitiin videokuvien lisäksi sammutusvesilinjastoon liitettyjen paine- ja virtaamamittareiden avulla.

Sammutuksen onnistuminen ja käytetyn veden määrä käytetyllä koegeometrialla riippuivat vahvasti siitä, oliko huonetila suljettu vai avonainen (ts. oliko ovi auki vai kiinni). Suihkuputkella ja Cobra-sammutinleikkurilla huonetila (n. 12 m²) kyettiin sammuttamaan varsinaisessa sammutusvaiheessa n. 50 litralla vettä. Tähän verrattuna jälkisammutukseen käytetty vesimäärä oli moninkertainen. DSPA-heittosammutin ei kyennyt sammuttamaan palon kehittymisvaiheessa olevaa ja yleissyttynyttä avonaista huonetilaa. Henkilöturvallisuuden kannalta huonetilassa vallitsivat lamaannuttavat olosuhteet n. 2–3 minuutin kohdalla sytytyksestä.

Tuomo Rinne, Peter Grönberg, Ville Heikura & Timo Loponen. Apartment fire fighting using alternative extinguishing methods [Huoneistopalon sammutus vaihtoehtoisilla sammutusmenetelmillä]. 2011. VTT Tiedotteita – Research Notes 2570. 80 p.

Keywords dry sprinkler powder aerosol, CCS Cobra, fire fighting, enclosure fire, flash over, toxic gases, emissions, fire load

Abstract

The report presents results of extinguishing tests of single room enclosure fires with the goal of comparing the effectiveness of a traditional operative fire fighting method with alternative extinguishing methods. The methods included using a spray/fog nozzle attached to the attack hose (traditional fire fighting attack), Cobra cutting and extinguishing system and DSPA suppression device (Dry Sprinkler Powder Aerosol extinguishing system i.e. aerosol fire suppression “grenade”). Six fire tests were performed. In five of these the fire was fully developed (enclosure fire flash over). The fire load consisted mainly of furniture constructed of wood chipboard. The room enclosure had gas temperature and heat radiation sensors and a continuous gas sampling line. The fire extinguishing activities were monitored with video cameras and the extinguishing water supply line had transducers for water pressure and water flow measurements.

The success/efficiency of the extinguishment and the amount of water needed in this test geometry depended strongly on whether the room enclosure was open or closed (e.g. whether the door opening of the room was open or closed). With a traditional spray nozzle and the Cobra cutting and extinguishing system the approx. 12 m² room enclosure fire could be extinguished by using roughly 50 litres of water. Compared to this primary fire control phase, the amount of water used in the later damping-down and clearance phase was multiple. The DSPA suppression device was not able to extinguish a growing or a fully developed open enclosure fire. The conditions within the room enclosure were incapacitating for humans within 2–3 minutes of the ignition of the fire.

Alkusanat

Tämä julkaisu on hankkeen ”Huoneistopalon sammutus vaihtoehtoisilla sammutusmenetelmillä” loppuraportti.

Hanke on toteutettu vuonna 2010 VTT:n ja Pelastusopiston yhteistyönä. Hanke on rahoittaneet Palosuojelurahasto, Pelastusopisto ja VTT.

Loppuraportin tekijät haluavat esittää kiitokset VTT:n tutkija Kati Tillanderille, joka osallistui merkittäväällä panoksella kokeiden suunnitteluvaiheeseen. Koegeometrian rakentamisen osalta osoitamme kiitokset Pelastusopiston harjoitusalueen palveluhenkiselle henkilökunnalle ja kokeiden operatiivisen puolen toteutuksesta Pelastusopiston opettajalle Raimo Savolalle.

Tekijät

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Abstract	4
Alkusanat	5
1. Johdanto	9
1.1 Taustaa	9
1.2 Tavoite	9
2. Sammutusmenetelmät	11
2.1 Perinteinen sammutusmenetelmä	11
2.1.1 Sammutus tavanomaisella sammutustekniikalla	11
2.2 DSPA	15
2.2.1 Yleistä DSPA-sammutusmenetelmästä	15
2.2.2 DSPA-heittosammuttimen rakenne	15
2.2.3 DSPA-heittosammuttimen toimintaperiaate	16
2.2.4 Aikaisempia tutkimuksia ja kokeita DSPA:n käytöstä	17
2.3 DSPA:n käyttökokemuksia	19
2.3.1 Pelastusopistossa suoritettut esittelyt ja kokeet	19
2.4 Cobra	20
2.4.1 Yleistä Cobra-sammutusmenetelmästä	20
3. Koejärjestelyt	22
3.1 Koegeometria	22
3.2 Huoneiden palokuorma	24
3.3 Palotekniset mittaukset	27
3.4 Sammutusmenetelmiin liittyvät mittaukset	28
3.4.1 Perinteinen sammutusmenetelmä	28
3.4.2 DSPA	30
3.4.3 Cobra	30
3.5 Muut mittaukset	30
3.6 Kokeiden kulku	32
4. Tulokset	33
4.1 Koe 1 – perinteinen sammutusmenetelmä	33
4.1.1 Tapahtumat	33
4.1.2 Sammutusvesimäärä	35
4.1.3 Kaasun lämpötila	37
4.1.4 Kaasupitoisuudet	38
4.1.5 Lämpösäteily	40
4.2 Koe 2 – DSPA	41
4.2.1 Tapahtumat	41
4.2.2 Sammutusvesimäärä	42

1. Johdanto

4.2.3	Kaasun lämpötila.....	43
4.2.4	Kaasupitoisuudet.....	44
4.2.5	Lämpösäteily.....	46
4.2.6	Muut huomiot.....	46
4.3	Koe 3 – Cobra.....	47
4.3.1	Tapahtumat.....	47
4.3.2	Sammutusvesimäärä.....	47
4.3.3	Kaasun lämpötila.....	49
4.3.4	Kaasupitoisuudet.....	50
4.3.5	Lämpösäteily.....	51
4.4	Koe 4 – Cobra.....	52
4.4.1	Tapahtumat.....	52
4.4.2	Sammutusvesimäärä.....	53
4.4.3	Kaasun lämpötila.....	54
4.4.4	Kaasupitoisuudet.....	55
4.4.5	Lämpösäteily.....	57
4.4.6	Muut huomiot.....	58
4.5	Koe 5 – DSPA.....	59
4.5.1	Tapahtumat.....	59
4.5.2	Sammutusvesimäärä.....	60
4.5.3	Kaasun lämpötila.....	61
4.5.4	Kaasupitoisuudet.....	62
4.5.5	Lämpösäteily.....	64
4.6	Koe 6 – Cobra.....	65
4.6.1	Tapahtumat.....	65
4.6.2	Sammutusvesimäärä.....	66
4.6.3	Kaasun lämpötila.....	66
4.6.4	Kaasupitoisuudet.....	67
4.6.5	Lämpösäteily.....	69
5.	Tulosten arviointi.....	71
5.1	Yleistä kokeiden kulusta.....	71
5.2	Kokeiden toistettavuus.....	73
5.3	Kokeissa mitatut FED-arvot.....	74
5.4	Arvio sammutusmenetelmien tehokkuudesta.....	76
5.4.1	Perinteinen sammutusmenetelmä.....	76
5.4.2	DSPA-heittosammutin.....	77
5.4.3	Cobra.....	77
6.	Yhteenveto.....	78
	Lähdeluettelo.....	80

1. Johdanto

1.1 Taustaa

Operatiiviseen palontorjuntaan on tullut viime vuosina vaihtoehtoisia ja uusia sammutusmenetelmiä perinteisten menetelmien rinnalle huoneistopalojen sammutukseen. Tutkimuksen lähtökohtana on ollut osittainen tiedonpuute eri vaihtoehtoisten sammutustapojen sammutustehokkuudesta ja soveltuvuudesta esimerkiksi rakennuksen ulkopuolelta tapahtuvaan sammuttamiseen.

Sammutusmenetelmät voidaan jakaa karkeasti käytettävän työpaineen mukaan joko matala- tai korkeapaineellisiin menetelmiin. Menetelmien erot tulevat esiin myös vedenkulutuksessa, joista tyypillisen sammutustehtävän aikana matalapaineella tuotetaan oletusarvoisesti suurempi vesimäärä kuin korkeapaineellisella sammutusmenetelmällä. Veden kulutus on oleellinen parametri, kun tarkastellaan operatiivisen palontorjunnan käytössä olevia resursseja. Huoneistopalon sammutuksesta saatavalla tiedolla voidaan arvioida mm. tarvittavia voimavaroja suhteessa palon kokoon. Keskustelua on käyty mm. siitä voisivatko uudet sammutusmenetelmät olla tietyissä tapauksissa ensimmäinen ja nopein sammutustapa, joilla tyypillisten pientalojen huoneistopalojen sammuttaminen voitaisiin aloittaa ns. kevytyksikköä käyttäen.

Hankkeessa saatavaa kokeellista tietoa voidaan myös hyödyntää mm. sammutuksen laskennallisessa mallinnuksessa, sillä operatiivisen palontorjunnan mallintaminen on myös eräs haaste paloturvallisuussuunnittelussa.

1.2 Tavoite

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan kolmen erilaisen sammutustavan eroja yhden lieskahtaneen huonetilan tapauksessa. Suomessa samantyyllisiä polttokokeita on tehty aiemmin demonstratiivisissa tai opetustarkoituksissa (Aalto 2007). Aivan

viimeaikainen tutkimus tehtiin Pelastusopistossa (Jäntti ym. 2009), jossa paloskenaariona käytettiin kerrostaloasunnon keittiötilaa. Näiden kokeiden pohjalta haluttiin kokeilla samoja sammutusmenetelmiä kuin Jäntin ym. (2009) tutkimuksessa, kuitenkin käyttämällä erilaista huonetilaa ja erilaista palokuormamäärää. Koeasetelmassa huonetila on tarkoituksella valittu kuvaamaan tyypillisen pientalon huonetilaa, sillä esim. vuosina 2005–2009 pientalojen tulipaloja, joihin palokunta on saanut hälytyksen hätäkeskuksesta, sattuu vuosittain n. 900–1 500 kpl (Anon. 2010). Suomessa erillisissä pientaloissa asuu n. 51 % väestöstä (Tilastokeskus 2010).

Kokeita suoritettiin kaikkiaan kuusi kpl. Sammutustapoina käytettiin perinteistä sammutusmenetelmää yhdellä 2 tuuman työjohdolla, DSPA-heitto-sammutinta ja Cobra-sammutinleikkuria. Yksittäiset huoneet sisustettiin käyttämällä pääosin puupohjaisia huonekaluja. Syttymislähteenä käytettiin televisiota. Polttokokeiden paloteknisissä mittauksissa huoneiden sisälle asennettiin lämpötila- ja lämpösäteilyantureita. Tämän lisäksi huonetilasta imettiin kokeiden aikana kaasunäytteitä, joista voitiin analysoida tyypilliset (CO, CO₂, O₂ ja HCN) kaasukomponentit. Sammutusmenetelmiin liittyvät mittaukset olivat mm. sammutusveden määrä, virtaama ja paine. Julkaisun loppuosassa on tulosten pohjalta analysoitu sammutuksen onnistumista eri sammutusmenetelmillä.

2. Sammutusmenetelmät

2.1 Perinteinen sammutusmenetelmä

2.1.1 Sammutus tavanomaisella sammutustekniikalla

Tavanomaisessa sammutuksessa huonepalon sammutus aloitetaan suuntaamalla jatkuva sumusuihku palotilan kattoon tilan ulkopuolelta esimerkiksi oviaukon kautta. Näin menetellen jäähdytetään huonetilan yläosassa ja kattopinnassa olevia kuumia savukaasuja. Vesi suihkutetaan niin, että vesisumu kattaa mahdollisimman suuren osan savupatjasta ja kuumista pinnoista. Tämän jälkeen ovi suljetaan. Veden suihkuttaminen uusitaan tarvittaessa. Kun palo on saatu riittävästi hallintaan, sammutuspari siirtyy sisälle. Leveä s u o j a s u m u suojaa sammutusparia lämpösäteilyltä ja pistoliekillä palotilaan siirtymisen aikana. Suojasumua käytetään vain tarvittaessa. Sen käyttöön valmistaudutaan ennen sisälle siirtymistä siten, että suihku säädetään 100–120°:n suihkukulmaan. Sammutusta jatketaan epäsuoralla sammutuksella. Kuumaa savupatjaa sekä seinä- ja kattopintoja jäähdytetään 40–90°:n suihkukulman omaavalla sumusuihkulla. Suihku suunnataan vinosti ylöspäin ja sitä liikutellaan pyörittämällä. Sumulla pyritään kattamaan koko savupatja ja kuumat pinnat. Välillä suihku suljetaan ja tarkkaillaan tilannetta. Veden suihkuttaminen kuumaan savupatjaan sekä seinä- ja kattopinnoille toistetaan tarvittaessa. Kun savupatja on jäähdytetty ja liekit sammutettu, suoritetaan savutuuletus luonnollisella tuuletuksella tai sumusuihkun avulla suoritettavalla tuuletuksella. Ovea pidetään raollaan tuloilman saannin takia. Näkyvyys paranee tuuletuksen ansiosta ja palonalku tulee näkyviin. Se sammutetaan suoralla sammutuksella. Suoraan sammutukseen käytetään kapeaa sumusuihkua tai suorasuihkua ja yleensä pientä vesivirtaa. Kytevät aineet kaivetaan esiin ja jäähdytetään vedellä. Tätä kutsutaan sammutusraivaukseksi.

Sammutusraivauksen avulla vähennetään veden käyttöä ja siinä samalla vesivahinkojen määrää. Lämpökameralla saadaan etsittyä esimerkiksi seinäeristeissä olevat kytöpesäkkeet. (Hyttinen ym. 2008)

Sammutus pienpisarasammutuksella

Nykyisin pelastuslaitokset sammuttavat huonepaloja jäähdyttämällä savupatjaa katkonaisella pienipisarasaisella 40–90°:n suihkukulman sumusuihkulla. Tätä sammutusta kutsutaan **pienpisarasammutukseksi**. Tässä sammutuksessa katkonainen sumusuihku saadaan aikaiseksi liikuttelemalla nopeasti suihkuputken suljinta auki- ja suljettu-asentojen välillä. Sumulla pyritään kattamaan koko savupatja. Optimaalisessa tilanteessa pienet sumupisarat jäähdyttävät pelkästään savua. Savu kutistuu jäähtyessään ja kutistuminen on samaa luokkaa kuin muodostuneen vesihöyryn tilavuus. Tästä syystä palotilaan ei juuri synny ylipainetta. Kuumasta vesihöyrystä ei näin ollen ole haittaa sammuttajille. Automaattiset suihkuputket sopivat hyvin tähän sammutukseen ja niillä saadaan sopiva 0,35 mm:n pisarakoon vesisumu.

Huonepalon sammutus suoritetaan pienpisarasammutuksella seuraavasti. Sammutus aloitetaan suihkuttamalla katkonaisella sumulla vettä oviaukosta savupatjaan neutraalitason alapuolelta vinosti ylöspäin, jonka jälkeen ovi suljetaan muutamiksi sekunneiksi. Suoritus uusitaan tarvittaessa. Kun palo on saatu riittävästi hallintaan, sammutuspari siirtyy palotilaan ja ovi suljetaan perässä niin kiinni kuin mahdollista. Savupatjaa jäädytetään sitten katkonaisella sumulla ja samalla tarkkaillaan tilannetta. Sitten jäähdytetään kuumia seinä- ja kattopintoja "sivelemällä" niitä edestakaisin jatkuvalla kapealla sumu- tai suorasuihkulla pientä vesivirtaa käyttäen. Tämän jälkeen sammutetaan palonalku kapealla jatkuvalla sumu- tai suorasuihkulla. Sitten suoritetaan savutuuletus. Tehokas savutuuletus saadaan aikaan sumusuihkulla. Suihkuputki työnnetään ulos ikkuna- tai oviaukosta ja suihku säädetään 80–110 °:n suihkukulmaan. Sitten suihkuputki vedetään sisäänpäin sopivasti niin, että pieni rako jää sumun ja ikkunan puitteiden väliin. Sumun ejektorivaikutus aikaansaa savun nopean virtauksen ulos tilasta. Tuloilmaa päästetään tilaan raotetusta ovesta. Savutuuletuksessa sammutusparin ykkönen pitelee suihkuputkea ja sammutusparin kakkonen auttaa ykköstä suihkun ohjauksessa sekä on valppaana savun mahdollisen leimahduksen varalta. Savutuuletuksessa ilmaa virtaa oviaukosta huonetilaan, jolloin kytevät materiaalit voivat syttyä uudelleen. Palopesäkkeet kaivetaan esiin sammutusraivauksella ja jäähdytetään vedellä.

2. Sammutusmenetelmät

Katkonainen sumusuihku sopii parhaiten savupatjan jäädytykseen pienten huonepalojen sammutuksessa, kun taas kuumien pintojen jäädytykseen ja palavien pintojen sammutukseen sopii paremmin jatkuva sumusuihku. Pienpisarasammutuksen suorittaminen edellyttää sammuttajalta, että hän tuntee huonepalon kehittymisen eri vaiheet ja osaa ”lukea” palon vaiheita.

Pienpisarasammutuksen edut ovat seuraavat:

- Huonepalo sammuu pienemmällä kokonaisvesimäärällä kuin muilla sammutustekniikoilla. Tästä syystä vesivahingot jäävät vähäisiksi.
- Vesihöyryn muodostuminen on vähäistä, minkä vuoksi ylipainetta ei juuri synny palotilaan.

Pienpisarasammutuksen haittoja ovat:

- Savun leimahdusvaara. Kun sammutuksessa tavallisesti käytetään pientä vesivirtaa, savu ei aina jäähydy riittävästi, vaan voi leimahtaa. Tällöin olosuhteet voivat muuttua sammuttajille vaarallisiksi suuren lämpösäteilyvirran vuoksi. Savun leimahtaminen voidaan estää käyttämällä tarvittaessa suurempaa sammutusvesivirtaa.
- Veden ja sammutuspumpun kuumeneminen. Pienpisarasammutuksessa käytetään pientä vesivirtaa ja suurta painetta. Autopumpun hukkalämpö, joka voi olla jopa 30 kW, kuumentaa vettä ja pumppua. Pumppua on jäädytettävä järjestämällä vedenkierto pumpusta auton säiliöön tai päästämällä vettä ulos pumpun paineliittimistä. Jos jäädytystä ei järjestetä, pumppu kuumenee ja veden virtaus pumpussa voi häiriintyä tai jopa estyä. Kuumenemisen ja virtauksen estymisen takia pumpun juoksupyörä, akseliviste sekä laakeri voivat rikkoontua ja letkuja voi vioittua.
- Vesivirran äkillisen sulkemisen ja avaamisen vuoksi syntyy paineiskuja, jotka kohdistuvat pumppuun, ellei pumpun paineliitintä ole varustettu takaiskuventtiilillä.

Pelastusopistossa on todettu sammutuspumpun juoksupyörän löystymistä akselilla paineiskujen johdosta. Juoksupyöriä ja akselikiiloja joudutaan uusimaan tavallista enemmän. Myös letkujen kuluminen ja rikkoontuminen lisääntyy paineiskujen johdosta. (Hyttinen ym. 2008)

Happirajoitteisen huonepalon sammutus

Happirajoitteisen huonepalon sammutukseen liittyy vaaroja, kuten pistol liekki ja humahdus. Lisäksi rikkaan savuilmaseoksen leimahdusta seuraa raju liekkipalo. Kun tietyistä tunnusmerkeistä on todettu, että kyseessä on happirajoitteinen palo, on ensiksi suoritettava kaluston selvitys siten, että käytettävissä on riittävästi sammutussuihkuja rajun liekkipalon sammuttamiseen.

Seuraavassa kuvataan happirajoitteisen huonepalon torjuntaan sopivia keinoja:

- *Palotila tuuletetaan luonnollisella tuuletuksella.* Avataan kattoluukku tai tehdään kattoon savunpoistoaukko palon yläpuolelle. Savu virtaa ulos savunpoistoaukosta. Palotilan ovesta päästetään varovasti tuloilmaa. Tuuletuksen ansiosta pyrolyysikaasujen pitoisuus savussa pienenee. Jos onnistutaan, pitoisuus voi pienetä alle alemman syttymisrajan, jolloin pistol liekki tai humahdus eivät ole mahdollisia. Samanaikaisesti tai sen jälkeen, kun savutuuletus on suoritettu, jäähdytetään sumusuihkulla kuumaa savua sekä seinä- ja kattopintoja.
- *Suoritetaan samanaikaisesti kuuman savun ja pintojen jäähdytys sekä ylipainetuuletus.* Avataan palotilan ovi ja jäähdytetään kuumaa savua ja kuumia seinä- ja kattopintoja sumusuihkulla sekä päästetään kuumaa savua ulos savunpoistoaukosta. Kun savupatjaa on jäähdytetty riittävästi, aloitetaan palotilan ylipainetuuletus. Samalla sammutuspari etenee palotilaan ja jatkaa kuuman savun ja seinäpintojen jäähdyttämistä ja etenee palotilassa sitä mukaa kuin savurintama väistyy. Savutuuletuksen ansiosta ilmaa virtaa runsaasti palotilaan ja liian rikas savuilmaseos siirtyy syttymisalueelle. Kun savun ja kuumien pintojen lämpötilaa on alennettu riittävästi, savu ei leimahda. Lisäksi muodostunut vesihöyry vaikeuttaa savun syttymistä ja palamista. Savutuuletus ja vesihöyry synnyttävät ylipaineen tilaan ja aiheuttavat sen, että savunpoistoaukosta virtaa ulos kuumaa savua, joka on polttoainetta.
- *Savun leimahdus saadaan aikaiseksi päästämällä ilmaa palotilaan.* Rikotetaan ikkuna savupatjan korkeudelta. Aukosta virtaa ilmaa palotilaan ja aikaansaa savun leimahtamisen. Pistol liekki voi tulla ulos ikkunan aukosta. Välittömästi tämän jälkeen sammutuspari avaa palotilan oven ja sammuttaa rajun liekkipalon riittäväällä vesisumulla (Hyttinen ym. 2008).

2. Sammutusmenetelmät

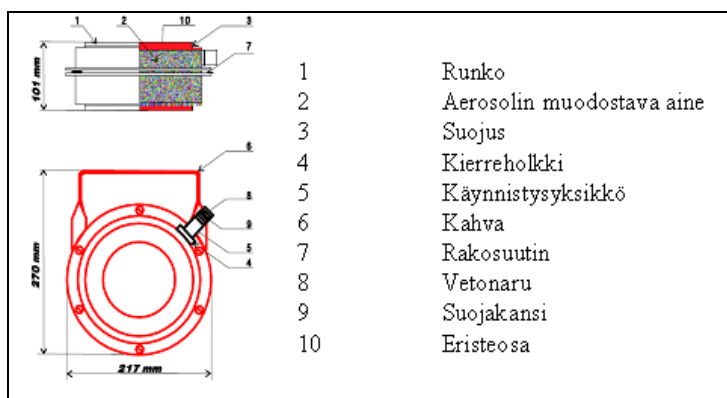
2.2 DSPA

2.2.1 Yleistä DSPA-sammutusmenetelmästä

DSPA on lyhenne englanninkielisistä sanoista Dry Sprinkler Powder Aerosol. DSPA on tarkoitettu käytettäväksi luokan A ja B tulipalojen ja sähköpalojen sammuttamisessa, muun muassa teollisuusrakennuksissa, rautatie- ja ajoneuvo-kuljetuksissa. Sammuttimia käytetään ensisijaisena sammutusvälineenä sulje-tuissa tiloissa olevien tulipalojen sammuttamiseen. Potentiaalisista käyttökoh-teista valmistaja on nostanut esiin erityisesti tilat, joihin on vaikea päästä (DSPA-5 käyttöohje 2007).

2.2.2 DSPA-heittosammuttimen rakenne

DSPA-heittosammuttimen osat ja mitat on esitetty kuvassa 1. Heittosammutti-messa on teräksinen runko (1), johon on sijoitettu aerosolin muodostavat aineet (2). Aineet on erotettu rungon sisäpinnasta suojuksella (3). Aineet on erotettu toisistaan eristeosalla (10). Rungon sivupinnassa on kierreholkki (4) käynnis-tysyksikön (5) asentamista varten. Rungossa on kahva (6), jota voidaan käyttää sammuttimen kuljettamista ja heittämistä varten alueelle, jossa tulipalo sijaitsee. Sammutusaerosolin purkautuminen tapahtuu rakosuuttimen (7) kautta, joka si-jaitsee rungon sivupinnalla. Käynnistysyksikössä on metallikotelo, vetonarulla varustettu sytytyslaite (8), hidastin ja pääyhdiste. Käynnistysyksikön yläosa on suojattu irrotettavalla polyeteenikannella (9) sammuttimen tahattoman käynnis-tämisen estämiseksi (DSPA-5 käyttöohje 2007).



Kuva 1. DSPA heittosammuttimen mitat ja osat (DSPA-5 käyttöohje 2007).

2.2.3 DSPA-heittosammuttimen toimintaperiaate

Kertakäyttöisen DSPA-heittosammuttimen kiinteässä olomuodossa oleva sammuteseos aktivoidaan 6–10 sekunnin viiveellä toimivalla sytytyslaitteella. Sammuttimen toiminta perustuu hienojakoisten alkali- ja alkalimetallihiukkasten muodostumiseen aerosolin muodostavan aineen palamisen yhteydessä. Aerosoli sisältää 70 % kaasua ja 30 % kiinteitä kaliumhiukkasia. Reaktiossa muodostuva kaasu ei sammuta paloa tukahduttamalla tai jäädyttämällä, vaan aerosolin sammutusvaikutus (inhibitio) perustuu siihen, että kaliumhiukkaset sitovat palamisen ketjureaktiota ylläpitäviä hydroksyyliiryhmiä eli ns. vapaita radikaaleja. Yhden kokonaisuutensa 5,4 kg laitteen täydellinen purkautuminen kestää noin 25 s ja sammutusvaikutus kattaa 40–60 m³:n tilan. Aktiivinen aine vaikuttaa noin 30 minuutin ajan. (DSPA-5 käyttöohje 2007)

Sammutin käynnistetään vetämällä käynnistysyksikön (sytyttimen) narusta nopeasti pois päin suorassa linjassa sammuttimeen nähden. Hidastin, joka on nyt sytytetty, varmistaa 6–10 sekunnin viiveen ennen kuin pääyhdiste aktivoituu. Tämä viive tarvitaan sammuttimen heittämiseksi huoneeseen, jossa tulipalo sijaitsee. Sen jälkeen kun käynnistysyksikön pääyhdiste on aktivoitu, tapahtuu aerosolin muodostavan aineen syttyminen. Kun käynnistysyksikkö on käynnistynyt, kuuluu sammuttimesta pieni ääni. Yksikön metallikotelossa olevasta poistoaukosta tulee pieni suihku savua ja näkyy liekin kärki (DSPA-5 käyttöohje 2007).

Kun sammutin on käynnistetty, se tulee heittää mieluummin alueelle, jossa ei ole ihmisiä. Kun sammutin on käynnistynyt, DSPA-heittosammuttimen ympärille muodostuu jopa yli 400 °C:n korkea lämpötila-alue sammutusaerosolin purkautumisajaksi eli 20–28 sekunniksi. Lämpötila laskee etäisyyden kasvaessa purkautumisraosta mitattuna siten, että vähintään 0,25 m:n etäisyydellä se on alle 400 °C ja vähintään 0,6 metrin etäisyydellä alle 200 °C. Vähintään 1,6 m:n etäisyydellä purkautumissuihkun lämpötila jää alle 75 °C:n. Sammuttimen aktivoimisessa tulee ottaa myös huomioon, että kun aerosolit sekoittuvat huonetilan ilman ja palokaasujen kanssa, näkyvyys huoneessa huononee merkittävästi (DSPA-5 käyttöohje 2007).

Suspendoituneen aerosolin säilymisaika ilmatiiviissä tilassa on useita kymmeniä minutteja. Uudelleen syttymistä on havaittu, kun kaliumhiukkasten pitoisuus tilan ilmassa laskee 6 g/m³. Jos katon ja seinien aukot muodostavat enemmän kuin 5 % kokonaispinta-alasta ja tilassa on luonnollista tai mekaanista il-

2. Sammutusmenetelmät

manvaihtoa, DSPA-heittosammuttimen tehokkuus vähenee merkittävästi (DSPA-5 käyttöohje 2007).

2.2.4 Aikaisempia tutkimuksia ja kokeita DSPA:n käytöstä

Valmistajan internetsivuilta osoitteesta www.dspa.nl löytyy ensimmäisiä englanninkielisiä lyhyitä raportteja sammutusdemoista Alankomaissa vuodelta 2006. Paul van Ooijenon Nijmegenin palokunnasta on kirjannut havaintoja ylös DSPA-heittosammuttimen kokeiluista niin sanotussa lieskahduskontissa.

Seuraavassa lyhyitä tiivistelmiä kokeista:

Ensimmäisessä kokeilussa konttia kuumennettiin muun muassa useiden lieskahdusten avulla. Tämän jälkeen tilan etuosaan asetettiin DSPA-heittosammutin alueelle, jossa ei ollut tulta. Lieskahdusta ei tapahtunut. Haittapuolena van Ooijen mainitsee, että koko tila oli täynnä jauhetta ja näkyvyys lähellä nolaa. Liekit sammuiivat, mutta syttyivät uudestaan, kun ulko-ovet aukaistiin.

Kolmannen kokeen aikana DSPA-heittosammutin heitettiin tuleen ja kuumennetun tilan (väli-)ovi jätettiin sulkematta. Muu osa kontista oli suljettu. DSPA täytti koko tilan jauheella ja sen ansiosta liekit sammuiivat. Heti kun ovet aukkaistiin, liekit syttyivät uudestaan, koska hehkuvaa materiaalia oli runsaasti. Lisäksi huomattiin, että tilan lämpötila nousi jauheen laskeutuessa. (Jäntti ym. 2009)

Ruotsissa tehtiin syksyllä 2006 kaikkiaan neljä kokeilua lieskahduskontissa. Ensimmäisessä demossa DSPA-heittosammutin laukaistiin puuta polttamalla lieskahtaneen kontin sisällä ovet auki, jotta ruotsalaiset kollegat näkivät myös, miten sammutin toimii. Toisessa kokeessa kontin ovet suljettiin hetkellä, jolloin ”tanssivat enkelit” ilmestyivät kohti kattoa ja savuraja alkoi laskeutua. DSPA laukaistiin ja sen ansiosta tila ei lieskahtanut. Heittosammuttimen laukaisun jälkeen, 60 sekunnin kuluttua, ovi aukaistiin ja palomiehet pystyivät menemään sisään sammuttamaan alkupalot. Tämä jälkimmäinen koe toistettiin vielä kahdesti. Kaikilla kolmella kerralla saatiin sama lopputulos: kontti ei enää lieskahtanut. (Jäntti ym. 2009)

Yhteenvetona ruotsalaiset olivat varsin haltioissaan DSPA-heittosammuttimen tehosta muutamien pienin huomautuksin, joita myös hollantilaiset olivat kirjanneet omista demoistaan. Heittosammutin ei heidän mielestään sovi tilanteisiin, joissa ihmisiä on vielä sisällä. DSPA tuottaa 400 asteisen kuumen vyöhykkeen ympärilleen ja vie näkyvyyden. Tilan, jossa sammutinta käytetään, tulisi olla suljettu ja tiivis halutun sammutustehon aikaan saamiseksi. (Jäntti ym. 2009)

Isossa-Britanniassa sijaitseva CIFL (Chiltern International Fire Ltd) on testannut toukokuussa 2009 DSPA-heittosammutinta DSPA.uk Limitedin toimeksiantosta (Howard & Osborn 2009). Testiohjelma käsitti kolme eri paloskenaariota. Testi 1 oli heptaaniaaltaan palo, testi 2 oli lieskahtava palo kontissa ja testi 3 simuloi asuintilan paloa.

Testissä 1 sytytettiin 5 litraa heptaania veden päällä halkaisijaltaan 0,62 m:n pyöreässä altaassa. Elämyskontti oli rakennettu 40-jalkaisesta merikontista ja sen tilavuus oli 67,5 m³. DSPA laukaistiin palotilan nurkassa hieman yli 3 minuutin palon jälkeen, ja ovet suljettiin. 4 min jälkeen ovet aukaistiin. Palo ei syttynyt uudelleen ja lämpötila kontissa laski alle 100 asteeseen noin 40 sekunnissa.

Testissä 2 kontin palotilaa verhoiltiin viidellä 12 mm:n lastulevyllä. Kun tila lieskahti, liu'utettiin myös aktivoitu DSPA-heittosammutin palotilan sivuluukusta sisään. Aikaa sytyttämisestä oli kulunut 9 min. Luukku suljettiin. Palotilan luukku avattiin 45 s:n kuluttua heittosammuttimen aktivoitumisesta, jolloin havaittiin tilassa vallitseva turbulenttinen ilma-savuseos ja näkyvyys oli heikko. Lämpökameralla pystyttiin toteamaan, että palo oli rajoittunut hyvin tehokkaasti tässä vaiheessa. Kaksi minuuttia myöhemmin palo alkoi jälleen voimistua ja sen arvioitiin lieskahtavan muutamassa minuutissa uudelleen. Palomiehet paikansivat palopesäkkeet ja sammuttivat palon vedellä ennen uudelleen lieskahdusta.

Testissä 3 britit sytyttivät havupuisen kuormalavan ja kasan sahatavaraa betonirakenteisessa simulaattorirakennuksessa, jonka palohuoneen tilavuus oli 39,4 m³. Palon annettiin kehittyä keskellä huonetta noin 6 minuuttia. Yksi huoneen ikkunoista jätettiin auki ja huoneen ovi laitettiin kiinni. Testaushenkilöt avasivat oven 7 minuutin 30 sekunnin kuluttua sytyttämisestä ja heittivät DSPA-heittosammuttimen huoneeseen. Huoneen alaosassa oli tällöin vielä hyvä näkyvyys. Huoneen ovi suljettiin ja lämpötiloja seurattiin seuraavat 6 minuuttia. Noin 6 minuuttia heittosammuttimen laukeamisesta ovi aukaistiin, ja minimaaliseksi hiipunut palo sammutettiin vedellä.

Yhteenvedossaan Philip Howard ja Jonathan Osborn ovat sitä mieltä testiensä perusteella, että heittämällä DSPA-laitteita palotilaan palokunnat voivat hillitä palon kehittymistä. Heittosammuttimet auttavat heidän mielestään vahinkojen pienentämisessä sillä aikaa, kun savusukellusyksiköt valmistautuvat hyökkäämään sisään. Heittosammuttimien jättämät jäljet olivat Howardin ja Osbornin mielestä pienet ja helposti harjattavissa pois testien jälkeen. On kuitenkin tarkkaan harkittava heittosammuttimen käyttöä tilanteissa, joissa henkilöitä saattaa olla kohoavan lämpötilan vaikutuspiirissä lähellä aktivoitunutta heittosammutinta. Suositeltavaa olisi myös, että DSPA-heittosammuttimen toimittua sisään

2. Sammutusmenetelmät

menevillä palomiehillä olisi käytössään lämpökamera, joka kompensoisi tuotteen käyttämisestä seurannutta heikentynyttä näkyvyyttä tiloissa (Howard & Osborn 2009).

2.3 DSPA:n käyttökokemuksia

2.3.1 Pelastusopistossa suoritettut esittelyt ja kokeet

Keväällä 2009 Pelastusopistossa esiteltiin ensimmäistä kertaa DSPA-heittosammuttimen toimintaa pelastustoimintayksikön opettajille järjestetyssä tilaisuudessa. Tilaisuudessa tehtiin useita kokeita eri simulaattoreissa, joissa esiteltiin sammuttimien sammutustehoa. Lämpötiloja tai palokaasuja ei esittelytilaisuudessa erikseen mitattu.

Ensimmäisenä palotalon 1. kerroksen väliseinättömään ns. myymälätilan poltonurkkiin (3 kpl) ladattiin kaksi kappaletta puurimalevyjä seinille ja yksi levy kattoon sekä kasattiin noin metrin mittaisista pintalaudoista alkupalot. Palojen kehittymistä seurattiin ja itse sammutustapahtumaa kuvattiin tallentavalla lämpökameralla. Kun kaikki kolme nurkkaa paloivat täysillä, tilaan palamisilmaa antaneet ovet ja luukut suljettiin. Yksi DSPA-heittosammutin aktivoitiin ja heitettiin alkupalon lähelle. Liekit sammuiivat muutamissa sekunneissa kaikista kolmesta palavasta nurkasta. Tilassa sisällä savusukellusvarustuksessa olleet henkilöt kuvasivat tunteneensa kuumuuden suojarvarustuksen läpi varsin voimakkaana. Näkyvyys ilman lämpökameraa oli olematon. Lämpökameran tallenteessa lämpötilat tilan yläosassa lähtivät pian sammuttimen aktivoituttua laskemaan, ja palot nurkissa hiipuivat lähelle sammumispistettä.

Seuraavaksi poltettiin palotalon 3. kerroksen keittiössä ruokailutilan nurkassa lataus puuta ja sammutettiin paloa DSPA-heittosammuttimella. Palo sammui.

Kolmas kokeilu tehtiin teollisuuspalosimulaattorin matalammassa hallissa. Hallin kokonaistilavuudeksi saatiin 1 186 m³. Hallin etuosassa on suuri pariovi, joka oli avoinna. Palavaa nestettä sytytettiin palamaan kahteen halkaisijaltaan 2,3 m:n levyiseen astiaan. Yhteensä palava neste vastasi noin 10 MW:n palotehoa. Palavien altaiden välissä käytettiin noin 3 × 3 m:n kokoista lämpösäteilyn siirtymistä estävää teräseinäkettä. Altaiden vierellä lattialla toimineilla DSPA-heittosammuttimilla ei saatu altaissa olevia paloja sammumaan.

Neljäs kokeilu suoritettiin hyökkäyskontissa. Pelastusopiston opetuksessa käytettävä hyökkäyskontti on kohtuullisen tilava kaksikerroksinen rakennelma,

jonka ylä- ja alakerta ovat avoportaiden kautta yhteydessä toisiinsa. Yläkerran palotilan molempiin nurkkiin ladattiin kokeilumielessä kaksi lastulevyä seinille ja kolmas kattoon sekä alkupalot pintalautoista. Molemmat nurkat sytytettiin palavan nesteen ja kaasuliekin avulla yhtä aikaa palamaan. Paloa sammutettiin yhdellä yläkerran lattialle heitetyllä DSPA-heittosammuttimella ja sammutusvaikutusta seurattiin tallentavan lämpökameran avulla. Kokeilun tulokset olivat samat kuin myymälässä tehdyssä kokeessa.

Pelastusopistossa suoritetuissa huoneistopalokokeissa 11.–13.8.2009 käytettiin kolme heittosammutinta yhtä huoneiston sammutustapahtumaa kohden. Kokeissa huoneistona käytettiin lattiapinta-alaltaan 80 m²:n kerrostalokolmiota. Sivutilojen sisäovet pidettiin kokeiden aikana suljettuna, joten sammuttimilla hallittava tilavuus saatiin noin 180 m³:n kokoiseksi. Kokeissa tilasta oli avoimia aukkoja ulkoilmaan. Palot sammuiivat kolmen heittosammuttimen toimiessa. Yhdelläkin olohuoneeseen heitetyllä sammuttimella liekit keittiöstä sammuiivat muutamassa sekunnissa, mutta palo syttyi parissa minuutissa uudestaan. (Jäntti ym. 2009)

2.4 Cobra

2.4.1 Yleistä Cobra-sammutusmenetelmästä

Tuotemerkkiä ja nimeä Cobra käytetään arkikielessä Suomessakin yleisesti ruotsalaisesta sammutuslaitetekonaisuudesta. Cobra-sammutinleikkurin kokonaisuus koostuu vesisäiliöstä, voimanlähteestä, leikkuuaineen säiliöstä, korkeapainepumppusta, letkukelasta ja veden sekä leikkuuaineen ruiskutukseen käytettävästä sammutinsuuttimesta ”peitsestä”.

Cobra-sammutinleikkurin voimanlähteenä toimii kaksi bensiinikäyttöistä 27 hv:n polttomoottoria. Polttoainesäiliö on irtonainen ja tilavuudeltaan 20 litraa. Vesipumpun teho on 56 l/min ja maksimaalinen sammutuspaineen tuotto on 300 baaria. Vesisäiliön mitattu tilavuus on 251,5 litraa. Leikkuuaineen säiliön tilavuus on 10 litraa. Letkukelassa on 80 metriä korkeapaineletkua sekä sähköinen takaisinkelaus. Käsipeitseessä on painonapeilla toimiva ohjauslaitteisto (radio-ohjain), ohjauslaitteiston radion vara-akut ja ulkoinen akkujen latauslaite.

Laite muodostaa korkeapainepumpun avulla hienojakoisen vesisumun, jolla on hyvä lämmönsitomiskyky. Erona muihin markkinoilla oleviin korkeapainejärjestelmiin on, että Cobra on samalla myös vesileikkauslaite. Sammuttaja voi pumpun tuottamalla vesipaineella leikata tai porata reitin sammutettavaan tilaan

2. Sammutusmenetelmät

sitä rajaavien rakennusosien läpi. Edellä mainitusta ominaisuudesta johtuen tässä raportissa on käytetty laitteesta termiä Cobra-sammutinleikkuri (*skärsläckare*).

Yhtenäisen vesisuihkun kantama on noin 5–6 metriä, jolloin vesisuihku voi vielä olla sisätiloissa vaarallinen. Vesisumun kantama noin 14–16 metriä, sammuttevesimäärä noin 50–60 l/min ja lähtönopeus noin 200 m/s (Holmsted 1999). Pumpun tuottamalla noin 300 baarin vesipaineella voi läpäistä kevyitä materiaaleja muutamassa sekunnissa. Pienistä metallioksidikuulista koostuvaa leikkuainetta (abradiivi) veden joukkoon lisäämällä materiaalien läpäisy nopeutuu. Laitteella on mahdollista läpäistä esimerkiksi 10 millimetriä terästä noin 40 sekunnissa.

Pelastusopistossa kokeissa käytetyn sammutinleikkurin kokonaistilantarve on pituus noin 2 000 mm, leveys 900 mm ja korkeus 1 200 mm. Painoa laitteella on noin 900 kiloa ilman sammutteita ja polttoainetta. Sammutinleikkuri on asennettu kevyeen ajoneuvoon. Ajoneuvon tavaratilassa on sammutusjärjestelmän lisäksi kevyt korotuslava (kuva 2), jolla sammuttajan käyttämä ”peitsi” saadaan korkeammalle maasta ja sammutussuihku tehokkaammin suunnattua palokohteeseen.



Kuva 2. Cobra-sammutinleikkuri asennettuna ajoneuvoon (ylemmät kuvat) sekä sammuttaja ja avustaja korotuslavalla (alempi kuva).

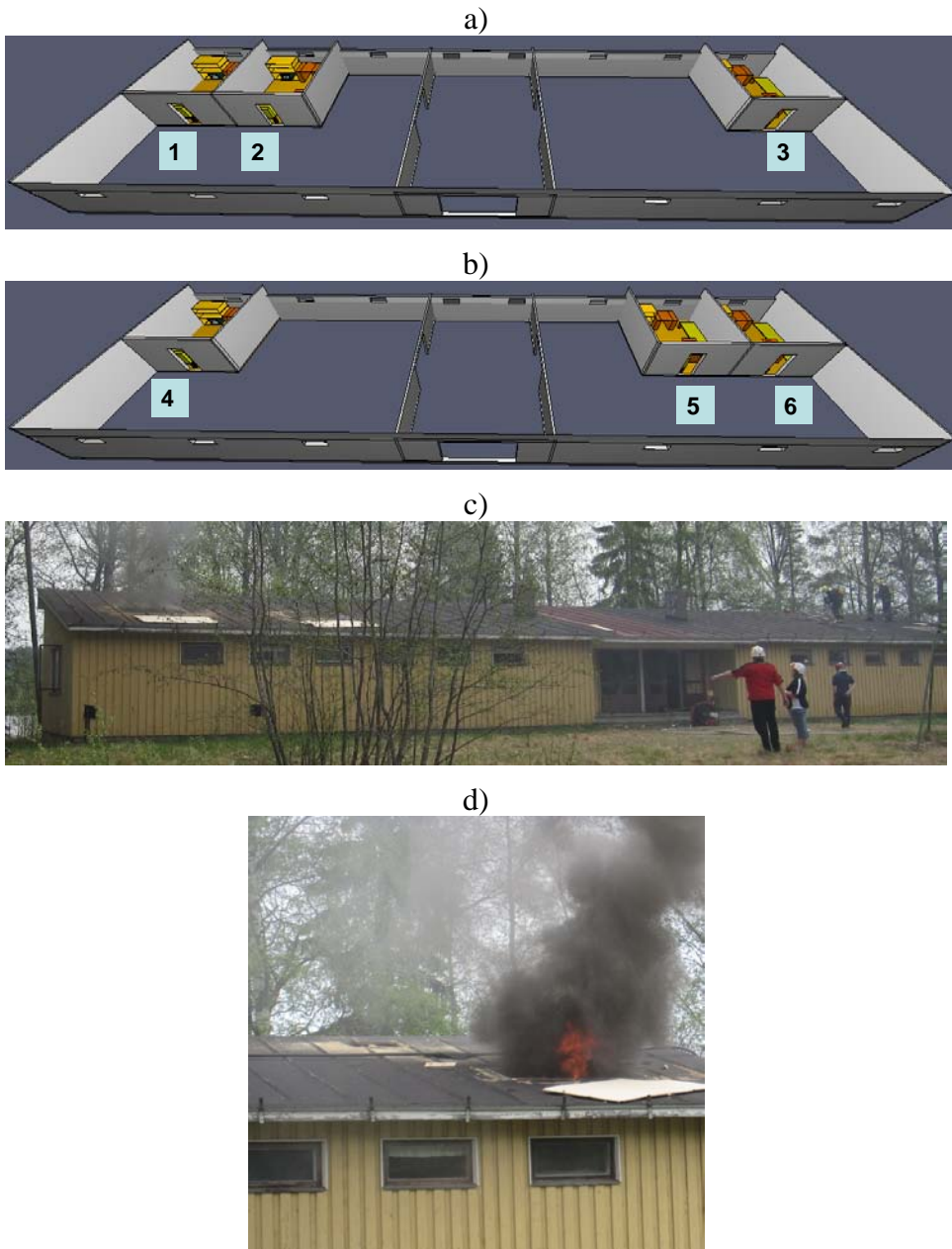
3. Koejärjestelyt

3.1 Koegeometria

Polttokokeissa käytettiin kuvan 3 mukaista koejärjestelyä. Huoneen pituus ja leveys oli 2,8 m × 4,5 m ja huonekorkeus ikkunanpuoleisella seinällä 2,3 m ja ovenpuoleisella seinällä 2,9 m. Huoneen sisäpinnat oli levytetty kipsilevyllä (KN 13) ja kipsilevyn takana seinissä oli 50 mm:n vuorivillaeristys. Kahden rinnakkaisen huonetilan välinen seinä eristettiin 100 mm:n vuorivillalla. Tällä järjestelyllä estettiin palon leviäminen polttokoetilasta toiseen liian aikaisin. Katto levytettiin kaksinkertaisella kipsilevyllä. Huoneen lattia oli puuta.

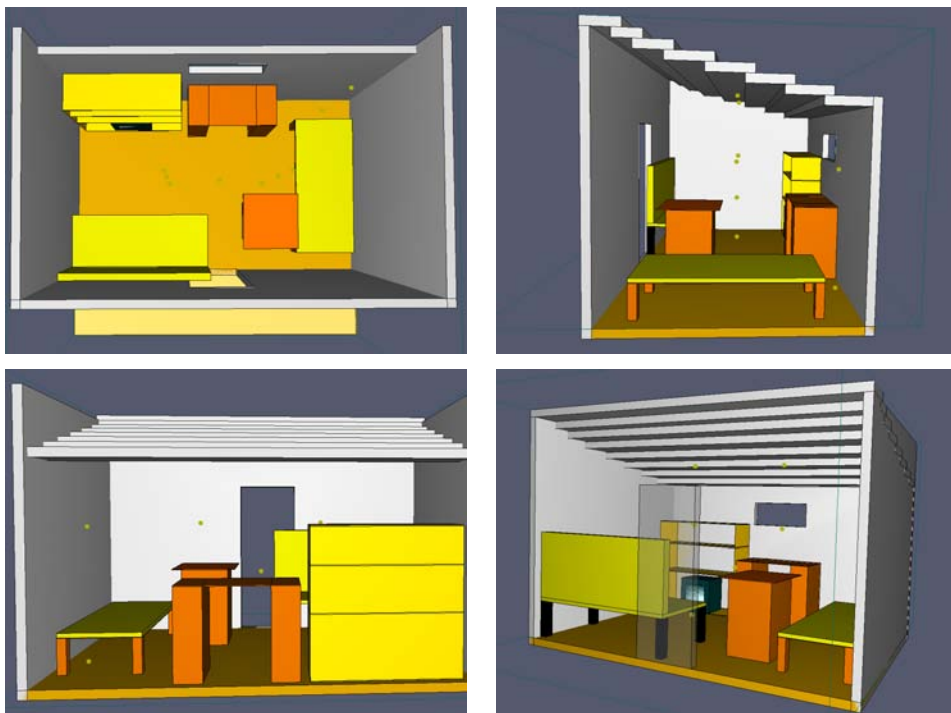
Kuvassa 3 esitetään kahden samanlaisen rakennuksen sisällä olleet huoneet, joissa polttokokeet 1–6 suoritettiin, sekä valokuvat rakennusten ulkopuolelta. Koska huoneiden oviaukot olivat käytännössä auki kaikkien kokeiden aikana, kuumien palokaasujen poistamiseksi tehtiin n. 1 × 1 m:n kokoinen savunpoistoaukko (kuva 3d) rakennuksen katon läpi kunkin huoneiston oviaukon yläpuolelle käytävälle. Vesikattorakenteen ja savunpoistoaukon reunojen väliin jäävä tila levytettiin kipsilevyllä. Tällä varotoimenpiteellä estettiin mm. kuumien savukaasujen ja palon leviäminen rakennuksen sisäpuolella kokeiden aikana.

3. Koejärjestelyt



Kuva 3. Polttokokeiden a) 1–3 ja b) 4–6 järjestys kahdessa samanlaisessa c) rakennuksessa. Esimerkki d) savunpoistoluukun toiminnasta polttokokeen aikana. Rakennuksen mitat olivat n. 36 m (pituus) × 6 m (leveys) × 3 m (harjan sisäkorkeus).

Huoneet (4,5 × 2,8 m) kalustettiin kuvan 4 mukaisesti pääasiassa lastulevystä rakennetuilla huonekaluilla (pl. laveri ja metallinen sohvakehikko). Huoneessa oli kirjahylly, laverisänky, kirjoituspöytä, pöytä ja sohva. Kirjahyllyssä oli lisäksi kuvaputkitelevisio ja vähäinen määrä sanomalehtiä.



Kuva 4. Visuaalinen malli koehuoneistosta huonekaluineen.

3.2 Huoneiden palokuorma

Huoneiden palokuormana käytettiin kiinteistössä valmiina olleita kalusteita niiltä osin kun ne soveltuivat polttokoeikäyttöön. Huoneissa olleet laverit sekä niiden ja rautarunkoisen sohvan pehmusteena olleet patjat otettiin pois poltettavasta rakennuksesta. Pöydän sekä kirjoituspöydän ”runkona” oli kiinteistön seinällä olleita puisia kaappeja, jotka kokeen ajaksi kiinnitettiin ruuvaamalla kiinni toisiinsa sekä pöydän kansilevyyn kiinni. Pöydän kantena käytettiin 12 mm:n lastulevyä.

Kirjoituspöydän laatikostona (jalkoina) käytettiin jo edellä mainittuja valmiita kaappeja. Kirjoituspöydän kansi sahattiin sopivan kokoiseksi 18 mm:n la-

3. Koejärjestelyt

minoidusta lastulevystä. Kansi kiinnitettiin jalkaosiin ruuvaamalla.

Kirjahylly rakennettiin kokonaisuudessaan 12 mm:n lastulevystä. Hylly koottiin polttokoepaikalla ja hyllyn osat kiinnitettiin toisiinsa ruuvaamalla. Kirjahyllyn alimmalle hyllylle asetettiin kuvaputkitelevisio, jonka paino vaihteli 33,6 ja 51,8 kg:n välillä. Palokuormaksi laskettiin vain televisioiden palava osuus, jonka arveltiin olevan noin 5 kg vastaanottimen kokonaismassasta. Kirjahyllyn alin hyllytaso tuettiin kahdella 300 mm pitkällä mitallistetulla 98 × 48 mm:n puutuelalla, jotta hyllytaso kesti television painon.

Kirjahyllyihin asetettiin lisäksi kaksi arkistokansiota syttymisen varmistamiseksi. Kummassakin kansiossa oli sisällä ”riisi” (500 arkkia) valkoista 80 g/m² kopio- ja tulostinpaperia. Hyllyyn asetettiin lisäksi muutama kappale sanomalehtiä, mikä myös auttoi palon leviämistä ja kehittymistä. Huonetilan palo sytytettiin LIAV-polttonesteeseen kastetulla sanomalehtipaperilla, joka asetettiin television sisään tätä varten tehdystä aukosta.

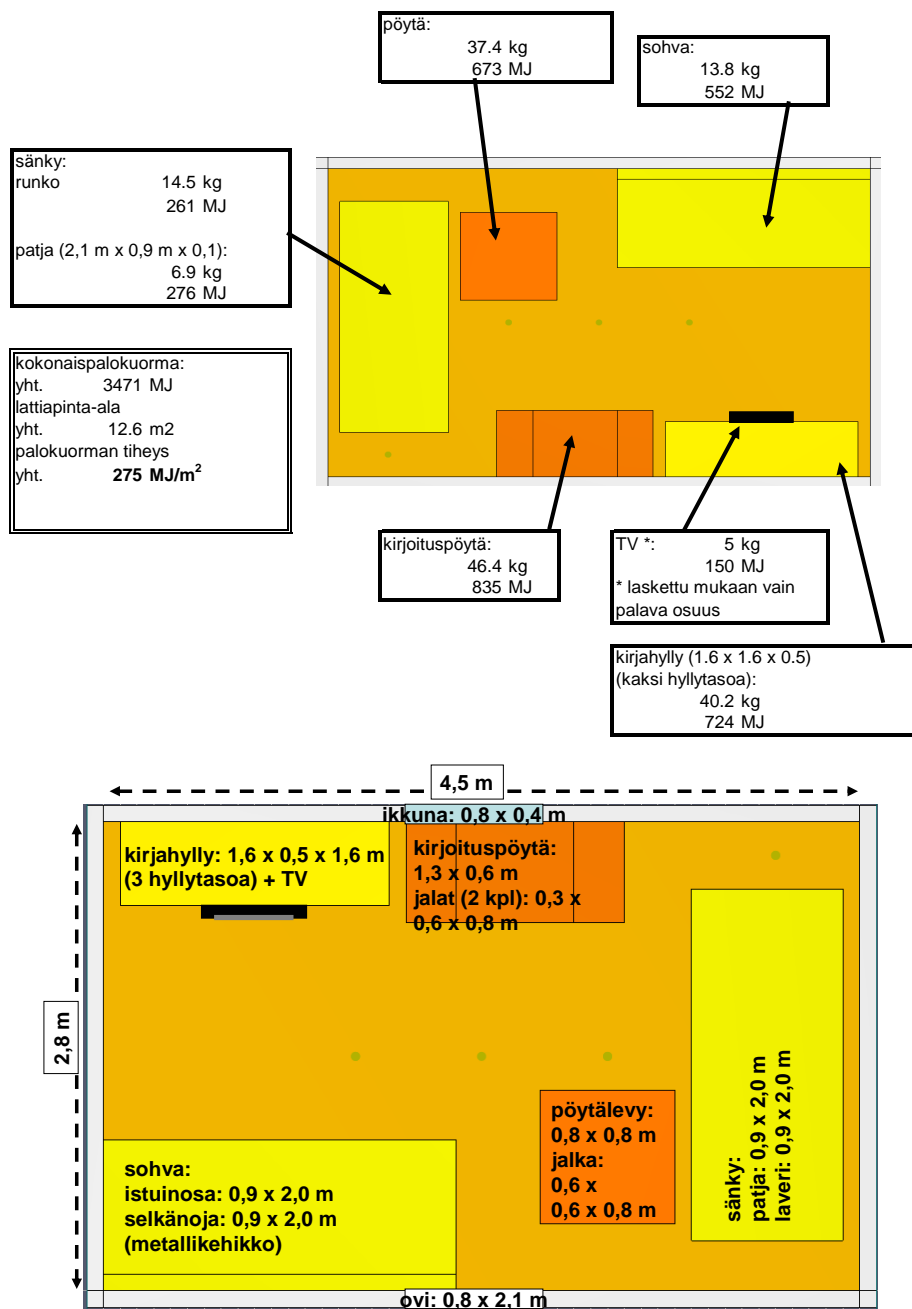
Kuvassa 5 esitetään valokuvia huonetilasta ja palokuormasta ja taulukossa 1 esitetään kalusteiden (palokuorman) massat eriteltyinä.



Kuva 5. Huonetila, jossa pääosin lastulevystä koostunut palokuorma.

Taulukko 1. Yhden polttokokeen palokuorma huoneessa.

Huonekalu	Massa (kg)	Rakenne
Kirjahylly	40,2	12 mm lastulevy, 2 puutukea (ks. teksti)
Pöytä	37,4	12 mm lastulevy, 12 mm viilulevy
Kirjoituspöytä	46,4	18 mm laminoitu lastulevy, 12 mm viilulevy
Sänky	14,5	6 mm vanerilevy, maalattu puu
Patjat	6,9	100 mm vaahтомуovi
Televisio	5,0	PVC-muovi



Kuva 6. Polttokokeissa käytettyjen huoneiden palokuorma. Huone kuvattu ylhäältä päin.

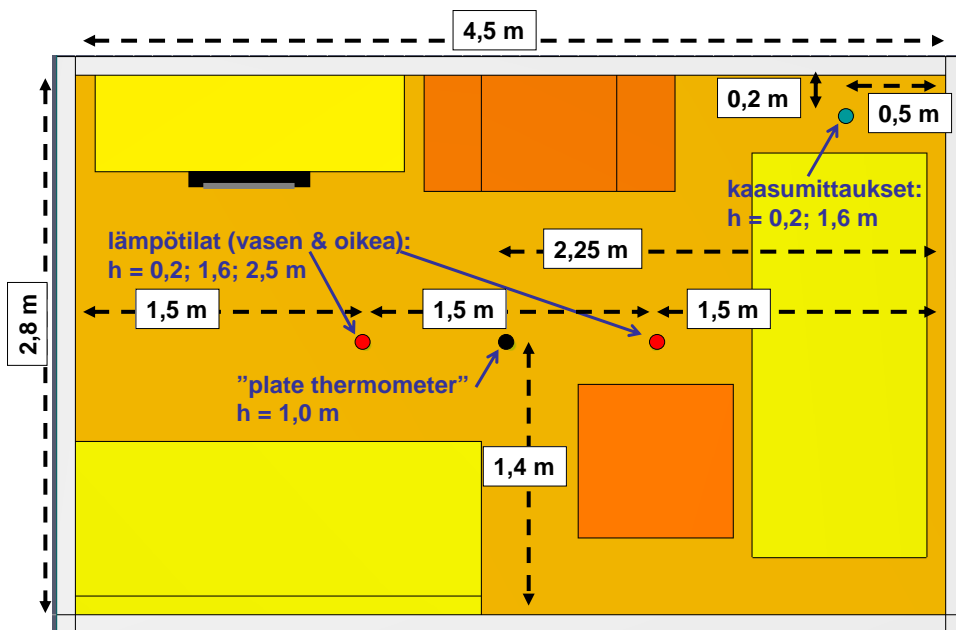
3.3 Palotekniset mittaukset

Ennen kokeita kuhunkin huoneeseen asennettiin paloteknisiä mittauksia varten lämpötila-anturipuut (2 kpl), lämpösäteilyä mittaava ”plate thermometer” lämpötila-anturi (PT-anturi)¹ ja jatkuvatoimiset kaasumittauspisteet seuraaville yhdisteille: HCN (syaanivety), CO (hiilimonoksidi), CO₂ (hiilidioksidi) ja O₂ (happi). Kuvassa 7 esitetään em. paloteknisten mittausten paikat. Lämpötila-anturipuut sijaitsivat huoneen keskilinjalla n. 1,5 m:n päässä huoneen seinistä pituussuunnassa. Lämpötila-antureina käytettiin 0,5 mm:n vahvuista K-tyypin termoparilankaa. Lämpötila-anturit oli sijoitettu kolmelle eri korkeudelle 0,2 m, 1,6 m ja 2,5 m (ylin n. 10 cm:n etäisyydellä kaltevasta katosta) ja PT-anturi puolestaan huoneen keskelle n. 1 m:n korkeudelle suunnattuna kohti kattoa, josta kuuma savupatja säteilee anturiin.

Kaasumittausten osalta huoneiden takaseinään tehtiin läpiviennit 6 mm sisä- ja 8 mm ulkohalkaisijaltaan oleville 1 m:n pituisille teräsputkille. Teräsputkista kaasunäytteet johdettiin silikoniletkuilla erilliseen lumella jäähdytettyyn kuivauskierukkaan, jossa vesihöyry poistettiin kaasunäytteestä. Tämän jälkeen kuivattu kaasunäyte johdettiin suodattimen läpi silikoniletkuilla pumpuille ja edelleen kannettaville Dräger-kaasuanalysaattoreille. Kaasuanalysaattoreissa tiedonkeruutaajuutena käytettiin 1 krt/s, kun taas lämpötilan ja PT-anturin tiedonkeruutaajuus oli 10 krt/s.

Ennen kunkin kokeen alkua kaasunäytteenottolinjasto puhdistettiin paineilmalla ja silikoniletkut vaihdettiin tarpeen tullen uusiin. Kaasunäytteenottolinjaston pituus oli noin 15–20 m ja näytteenoton tilavuusvirta noin 0,6 litraa/min.

¹ Standardin SFS-EN 1363-1:1999 mukainen anturi koostuu 0,7 mm paksusta metallikuoresta (Inconel 600 seos, tiheys 8470 kg/m³), jonka takaosa on peitetty eristelevyllä (Kaowool, tiheys n. 280 kg/m³). Metallikuoren ja eristelevyn välissä, levyn keskipisteessä, on K-tyypin termoparilanka, joka ilmoittaa levyn lämpötilan. Lämmönsiirtoyhtälöiden avulla anturilla mitatusta lämpötilasta voidaan johtaa anturiin kohdistuva lämpösäteily (Ingason & Wickström 2007, Häggkvist 2009).



Kuva 7. Polttokokeissa käytettyjen huoneiden paloteknisten mittausten paikat. Huone kuvattu ylhäältä päin.

3.4 Sammutusmenetelmiin liittyvät mittaukset

3.4.1 Perinteinen sammutusmenetelmä

Perinteiseen sammutusmenetelmään liittyvillä mittauksilla pyrittiin saamaan selville kussakin kokeessa käytetyn sammutusveden määrä ajan suhteen sekä kokeessa käytetty kokonaissammutusvesimäärä.

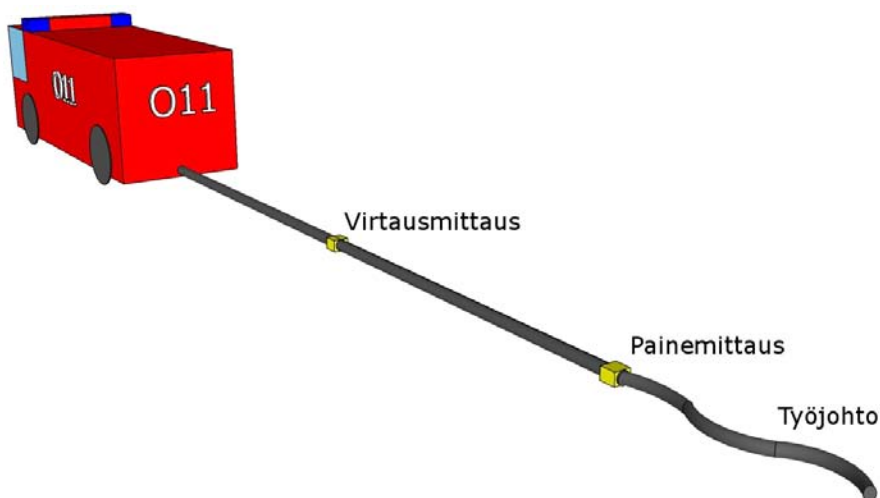
Sammutusveden paine mitattiin vuorjakoliittimeltä pääjohdon ja työjohdon väliltä, jolloin saatiin tietoa suihkuputken käyttöhetkistä sekä vesilinjan paineen käyttäytymisestä. Perinteiseen sammutusmenetelmään liittyvät mittaukset suoritettiin kaikissa kuudessa kokeessa. Mittauksilla pyrittiin selvittämään ja todentamaan tarvittava vesimäärä muiden sammutusmenetelmien käytön jälkeen mikäli paloa ei saatu täysin sammumaan varsinaisen kokeen aikana.

Sammutusveden virtaama mitattiin halkaisijaltaan kolmen tuuman pääjohdosta. Paineen mittaus tapahtui vuorjakoliittimen kahden tuuman lähtöön rakennetulla mittausputkella maan tasolta. Vuorjakoliittimen kahden tuuman lähtöön oli kytketty yksi työjohto kerrallaan. Sammutusvesilinjan letkuselvityksen jäl-

3. Koejärjestelyt

keen linja ilmattiin suihkuputkelta ja virtausmittari nollattiin, jotta vesilinjan paineistus ja ilmaus eivät näkyisi mittaustuloksissa. Toisen sammutusparin turvasuihku selvitettiin toisesta ajoneuvosta, ettei turvasuihkuun käyttö sotkisi sammuttamiseen käytettävän vesimäärän mittausta. Turvasuihkua ei kuitenkaan kokeissa tarvinnut käyttää.

Vesilinjan paine ja virtaus mitattiin käyttäen kapasitiivista paineanturia ja magneettista virtausmittaria, jotka asennettiin sammutusvesilinjaan kuvan 8 mukaisesti.



Kuva 8. Sammutusveden paineen ja virtaaman mittaamiseen käytetty letkuselvyitys.

Painehäviötä anturin ja suihkuputken välillä ei ole määritelty. Painehäviötä esiintyy anturin ja suihkuputken välillä, työjohdon pituuden vuoksi. Kirjallisuudessa (Alho 1988) esitettyjen kitkakerroin arvojen perusteella kokeissa käytetyn työjohdon painehäviön voidaan arvioida olevan n. 0,3 bar. Korkeuseron vaikutusta painehäviöön mittarin ja suihkuputken välillä voidaan pitää merkityksettömänä, koska suihkuputkea operoitiin kaikissa kokeissa niin että sammuttajan jalat olivat huoneiston lattian tasalla. Painemittarin asentamista sammuttamiseen käytettävään suihkuputkeen ei voitu toteuttaa käytännön syistä.

Painemittari reagoi suihkuputken avaamiseen paineen alenemisena ja äkilliseen sulkemiseen paineiskuna, jotka nähdään tuloksia käsittelevässä luvussa 4. Lähes kaikissa mittauksissa havaittiin, että vesilinjan kokonaispaine laski hiljalleen kokeen kestäessä, kun suihkuputki oli suljettuna. Paineen lasku johtuu

pumpun pesässä olevasta ”säiliökierrosta”. Pumpun käydessä suljettua venttiiliä vasten pumpun pesässä oleva vesi kuumenee ja saattaa aiheuttaa jopa veden voimakkaan lämpenemisen takia kiehumista pumpun sisällä. Pumput on suojattu ns. ”säiliökierrolla”, jolloin pumpussa olevaa vettä päästetään takaisin säiliöön magneettiventtiilin avautuessa automaattisesti, kun siihen aseteltu lämpötilaraja saavutetaan ja pumppuun tuleva säiliövesi jäädyttää pumpun pesää.

3.4.2 DSPA

DSPA-kokeiden aikana käytetyn sammutusveden määrä ja paine mitattiin samalla tavoin kuin edellä.

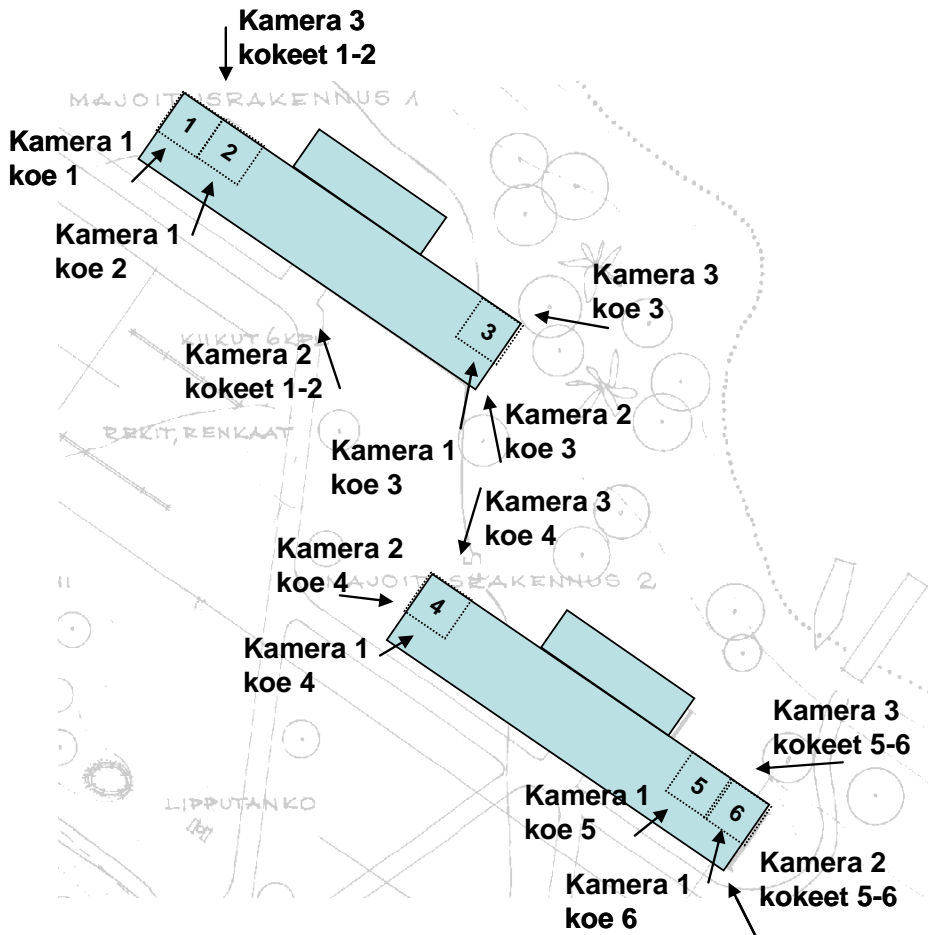
3.4.3 Cobra

Cobran käyttämä vesimäärä mitattiin seuraavasti. Cobran sammutusvesisäiliö täytettiin ennen testien aloittamista säiliön ylärajaan ja täyttökohta (veden pinnan taso) merkattiin muovisen läpinäkyvän säiliön pintaan. Ennen testien aloittamista Cobra-auto pysäköitiin poltettavan rakennuksen läheisyyteen mahdollisimman tasaiselle alustalle. Cobran käytön jälkeen veden pinnan taso merkattiin säiliöön aina testin loputtua ennen kuin uusi koe aloitettiin. Testien jälkeen Cobran vesisäiliö täytettiin Pelastusopistossa. Säiliö täytettiin mittaamalla aina merkkien välinen vesimäärä. Näin saatiin Cobran käyttämä vesimäärä jokaista koetta kohden. Vesimäärä mitattiin yhden litran tarkkuudella.

3.5 Muut mittaukset

Koejärjestelyt kuvattiin kameralla. Lisäksi poltettavasta kohteesta otettiin kuvia ennen ja jälkeen polttokokeen. Kokeen aikana kohdetta seurattiin kolmella videokameralla. Kaksi kameraa kuvasi rakennusta edestä ja takaa. Yksi kameroista kuvasi poltettavan huoneen oviaukkoa ja käytävää ulkoseinän lattiarajaan tehdyn n. 0,5 × 0,5 m:n aukon läpi. Kameroiden sijainnit kokeissa käyvät ilmi kuvasta 9.

3. Koejärjestelyt



Kuva 9. Videokameroiden sijainnit polttokokeissa 1–6. Koetta videoitiin kolmella kameralla, kamerat 1–3.

Ajanhetkien tarkkailussa ja havaintojen teon referenssinä käytettiin sekuntikelloja (kolme kelloa, yksi kullakin havainnoijalla), joiden nollakohta oli sama kuin tiedonkeruun käynnistyshetki. Synkronointi tehtiin manuaalisesti. Videokameroiden käynnistysajat suhteessa tiedonkeruun käynnistysaikaan kirjattiin ylös videoilta myöhemmin tehtävien havaintojen suhteuttamiseksi muihin tehtyihin havaintoihin.

Koejärjestelyt (huoneen mitat, huonekalujen ja instrumentoinnin paikat) mitattiin käyttämällä rullamittaa ja laseretäisyysmittaa. Kokeiden jälkeen mitattiin

myös huoneeseen heitetyn DSPA-heittosammutteen paikka ja Cobran sammutusveden sisääntuloaukko.

Tärkeimmät ajanhetkeen kiinnitetyt havainnot, joita kokeiden aikana tehtiin, olivat sytytyshetki, sohvan syttyminen, ikkunoiden rikkoutuminen sekä arvio lieskahtamisen ajankohdasta ja sammutustoimintaan liittyvät tapahtumat.

Viestiliikenne sammuttajien ja kokeenjohdon välillä oli toteutettu käsiradioilla. Sammuttajien radioitse ilmoittamat havainnot ja toimet kirjattiin myös.

3.6 Kokeiden kulku

Kun koejärjestelyt oli saatu valmiiksi, pidettiin lyhyt käskynjakotilaisuus, missä kaikkien osapuolten tehtävät / tehtävien jako ja kokeen suunniteltu kulku käytiin läpi. Tämän jälkeen sammuttajat ja muut kokeeseen osallistuvat kävivät asemiinsa. Mittaustenkeräysjärjestelmä käynnistettiin ja järjestelmän kello ja muut kokeessa käytetyt kellot synkronoitiin. Tämän jälkeen kaasujen mittauslaitteisto ja videokamerat käynnistettiin.

Sytytyksen jälkeen palon kehitystä seurattiin havaintoja tehden sekä rakennuksen sisällä käytävällä (sammuttajat) että ulkopuolelta. Sammuttajat (yksikön johtaja) tekivät arvion yleissyttymisen (lieskahtamisen) ajankohdasta ja ilmoittivat tästä radioitse kokeenjohdolle. Yleissyttymisen ilmoituksesta huoneen annettiin palaa kolme minuuttia, minkä jälkeen radioitse annetun käskyn mukaan sammuttajat aloittivat sammutustoiminnan. Tästä poikkeuksena oli koe 5, jossa tilan ei annettu yleissyttyä, vaan sammuttaminen aloitettiin kun huoneen lämpötila oli saavuttanut 400 °C.

Kokeissa ensisijaisena sammutustapana oli määritelty joko perinteinen sammutus yhdellä suihkuputkella kohteeseen tunkeutumalla, Cobralla ulkopuolelta, palavan tilan ulkovaipan läpi tapahtuva sammutus tai heittosammuttimen käyttö palotilassa. Toissijaisena ja varmistavana menetelmänä Cobran ja heittosammuttimen tapauksessa oli suihkuputki.

Kokeissa sytytystapa oli kaikissa sama eli alkusyttymiskohtana toimi televisio, joka sijaitsi huoneen kirjahyllyssä. Huoneiden palokuormat ja järjestys olivat kaikissa kokeissa samat. Myös huoneen koko ja aukot olivat samanlaiset. Huoneiden oviaukko oli auki kaikissa kokeissa alkupalon ja sammutustoimien ajan, lukuun ottamatta kokeita 1 ja 6, joissa sammutusvaikutusta tehostettiin ovea sulkemalla. Oven käyttö on tarkemmin kuvailtu kyseisten kokeiden havaintojen kohdalla tässä raportissa.

4. Tulokset

Tässä luvussa esitetään polttokokeiden palotekniset ja sammutukseen liittyvät mittaustulokset sekä muut havainnot. Tulokset esitetään järjestyksessä alkaen kokeesta 1 jne. Kunkin kokeen osalta esitetään ensin yleiset tapahtumat sytytysajankohdasta eteenpäin. Seuraavana käsitellään yksityiskohtaisemmin sammutuksen eri vaiheita, minkä jälkeen esitetään lämpötila, kaasupitoisuus- ja lämpösäteilymittaustulokset.

4.1 Koe 1 – perinteinen sammutusmenetelmä

4.1.1 Tapahtumat

Kokeessa 1 sammutusmenetelmänä oli perinteinen sammutushyökkäys suihkuputkea käyttäen. Ikkunan rikkoutuminen ajoittuu tässä kokeessa todennäköisesti sammutuksen aloittamiseen. Sammutus aloitettiin tilasta, jonka ovi oli auki. Suihkuputki oli sammuttajalla oviaukossa suunnattuna palotilan yläosaa kohti. Ensimmäisen suihkutuksen jälkeen ovi suljettiin ja hetken odotuksen jälkeen ovea raottamalla huoneen yläosaan suunnattiin jaksottaista sumua, kunnes vesihöyry alkoi virrata oviaukosta käytävälle. Tällöin ovi suljettiin taas tilan olosuhteiden tasaantumisen ajaksi.

Taulukossa 2 on kokeen aikana tehdyt havainnot ajanhetkineen. Ajan nollakohta on sytytys hetki.

Taulukko 2. Havainnot kokeen 1 aikana.

Tapahtuma	Aika (min)
Sytytys: TV (kirjahyllyssä)	0:00
Sohva syttyy palamaan	03:00
Ilmoitus: yleissyttyminen tapahtunut	03:10
Ikkuna halki: savua	05:35
Ikkuna rikki	06:09
Sammutus: jaksottaista sumua kohti palotilan kattoa huoneen oviaukosta	06:10
Suihkuputki kiinni. "Tilapäinen" ovi suljetaan	06:33
Ovea raotetaan ja palotilaa jäähdytetään katkonaisella sumulla	06:55
Höyryä palotilasta käytävään. Ovi kiinni	07:01
Ovea raotetaan ja palotilaa jäähdytetään katkonaisella sumulla	07:12
Höyryä palotilasta käytävään. Ovi kiinni	07:18
Ovea raotetaan ja palotilaa jäähdytetään katkonaisella sumulla	07:31
Ovi kiinni	07:35
Ovi pois	07:42
Sammutuspari sisälle huoneeseen	07:45
Letkurikko	08:19
Sammutuspari ulos huoneesta	08:43

Kuvassa 10 esitetään kokeen 1 aikana sekä sen jälkeen otettuja valokuvia.

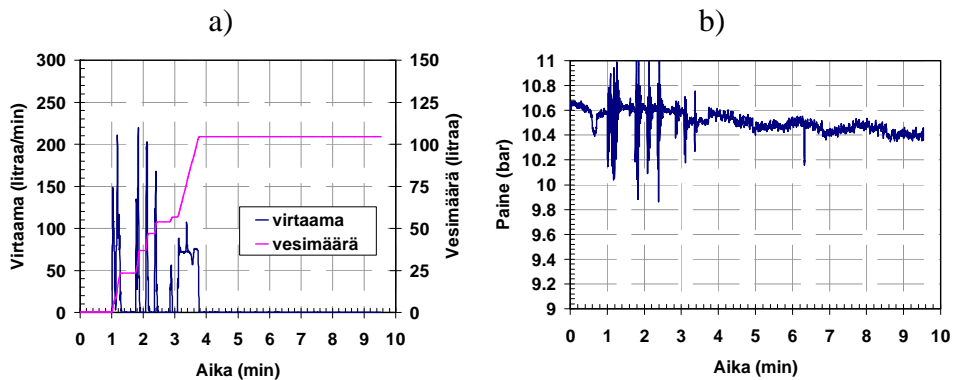
4. Tulokset



Kuva 10. Valokuvia sytytyshetkestä huonetilan lieskahdukseen (yllä) ja kuvia huoneen sisältä palon sammuttamisen jälkeen (alla).

4.1.2 Sammutusvesimäärä

Suihkuputken kautta kulutettu sammutusvesimäärä tallentui tiedonkeruujärjestelmään. Sammutusveden virtaama, vesimäärä ja paine ajan funktiona esitetään kuvassa 11. Sammutuksen yksityiskohtaisempi selitys esitetään taulukossa 3.



Kuva 11. Työjohdolla sammuttamiseen käytetty a) vesimäärä ja virtaama sekä b) paine. Sammutus aloitettu hetkellä 1 min.

Koe 1 voidaan sammutuksen ja sammutusveden käytön perusteella jakaa kolmeen eri tapahtumaan.

Ensimmäisellä sammutuskerralla tilanne huoneistossa saatiin hallintaan 24 litralla vettä. Tällöin isoimmat liekit oli saatu taltutettua. Kun tilanne huoneiston sisällä oli vakiintunut, ”tilapäisen” oven raosta tehtiin sarja sammutuksia. Tilaa sammutettiin pienpisarasammutuksella kolmella eri kerralla ”tilapäisen” oven raosta. Yhteensä 28 litraa vettä kului näihin sammutuskertoihin.

Sammutuspari kasteli pintoja tilan sisällä 3 litralla vettä ennen työjohdon letkurikkoa. Sammutuksesta otetulta videolta voidaan havaita, että sammuttaja lopettaa pintojen kastelun huomattuaan letkurikon. Taulukon 3 viimeiseen sammutuskertaan on ilmoitettu letkurikon aiheuttama veden kulutus ja varsinaiseen pintojen kasteluun yhteensä kulunut vesimäärä.

Kokeessa 1 sammutusvettä kului yhteensä 103 litraa letkurikkoineen.

Taulukko 3. Sammutustapahtumat kokeessa 1. Sammutuksen aloitus on asetettu ajanhetkeen 1 min.

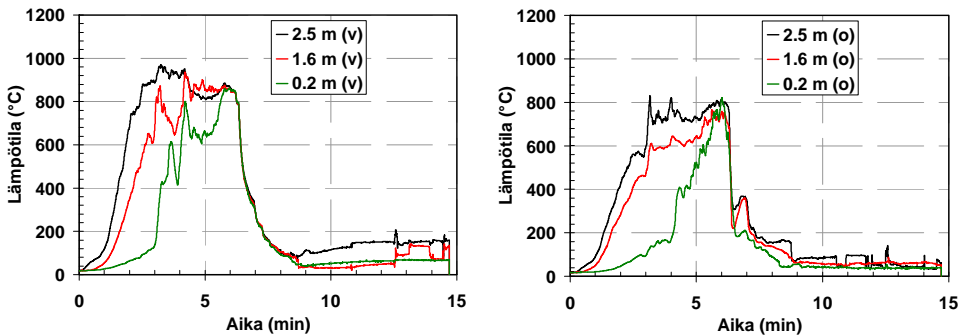
Tapahtuma	Aika (min)	Vesimäärä (l)
Sammutus: jaksottaista sumua kohti palotilan kattoa huoneen oviaukosta	01:00 – 01:18	24
Sammutus: jaksottaista sumua kohti palotilan kattoa huoneen oviaukosta, ”tilapäisen” oven raosta. Suihkuputki avattiin ja suljettiin 4 kertaa	01:45 – 01:51	13
Sammutus: jaksottaista sumua kohti palotilan kattoa huoneen oviaukosta. ”tilapäisen” oven raosta. Suihkuputki avattiin ja suljettiin 2 kertaa	02:02 – 02:08	9
Sammutus: jaksottaista sumua kohti palotilan kattoa huoneen oviaukosta, ”tilapäisen” oven raosta. Suihkuputki avattiin ja suljettiin 2 kertaa	02:21 – 02:24	6
Sammutuspari kastelee pintoja sisällä huoneessa	02:52 – 02:55	3
Letkurikko ja pintojen kastelua huoneessa	03:05 – 03:47	48
		yht. 103

4. Tulokset

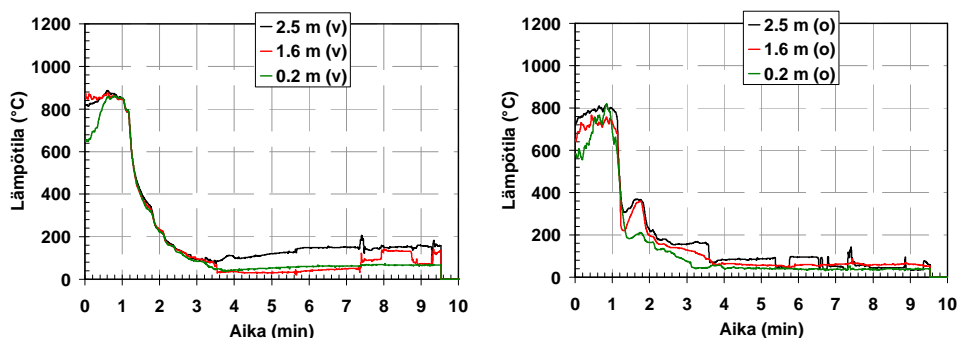
4.1.3 Kaasun lämpötila

Kuvissa 12 ja 13 esitetään kokeen 1 aikana mitatut kaasun lämpötilat huoneen sisältä 0,2, 1,6 ja 2,5 m:n korkeuksilta. Termoelementtipuista vasemmanpuoleiset (merkintä "(v)") ovat lähinnä sytytyslähteenä toiminutta televisiota. Kuvassa 12 lämpötilat on piirretty sytytyshetkestä eteenpäin ja kuvassa 13 nolakohtana on ajanhetki 1 min ennen varsinaista sammutusta (ajanhetkellä 1 min aloitetaan sammuttaminen suihkuputkella).

Kuvan 12 lämpötiläkäyristä havaitaan tilan lieskahtaminen 0,2 m:n korkeudelle sijoitettujen lämpötila-anturien äkillisenä nousuna. Lämpötilat asettuvat huonetilassa 800–1 000 °C:n välille, kunnes sammutus aloitetaan. Aiemmin esitetty taulukko 3 ja kuva 11 vesimäärästä osoittivat, että ensimmäisen kahden minuutin aikana sammutusvettä käytettiin 55 litraa. Kyseisellä ajanhetkellä (3 min) lämpötilat ovat alle 200 °C (kuva 13).



Kuva 12. Lämpötilat sytytyshetkestä eteenpäin. Vasemmalla ovesta sisäänpäin katsoen vasemmanpuoleiset (paloa lähinnä) ja oikealla oikeanpuoleiset lämpötila-anturit.

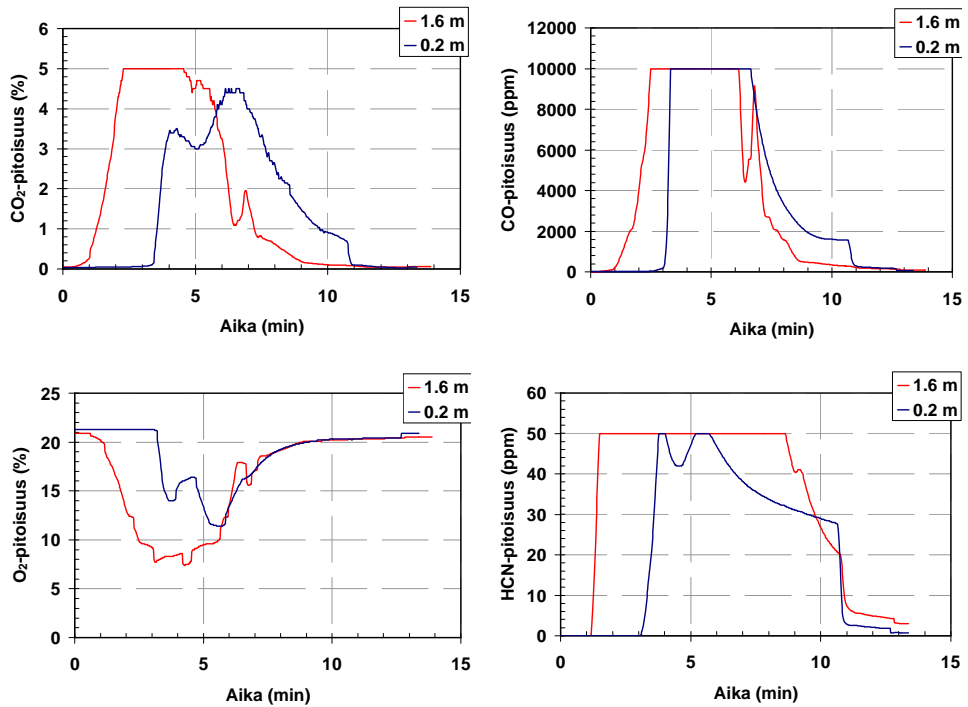


Kuva 13. Lämpötilat sammutushetkestä (1 min kohdalla) eteenpäin. Vasemmalla ovesta sisäänpäin katsoen vasemmanpuoleiset (paloa lähinnä) ja oikealla oikeanpuoleiset lämpötila-anturit.

4.1.4 Kaasupitoisuudet

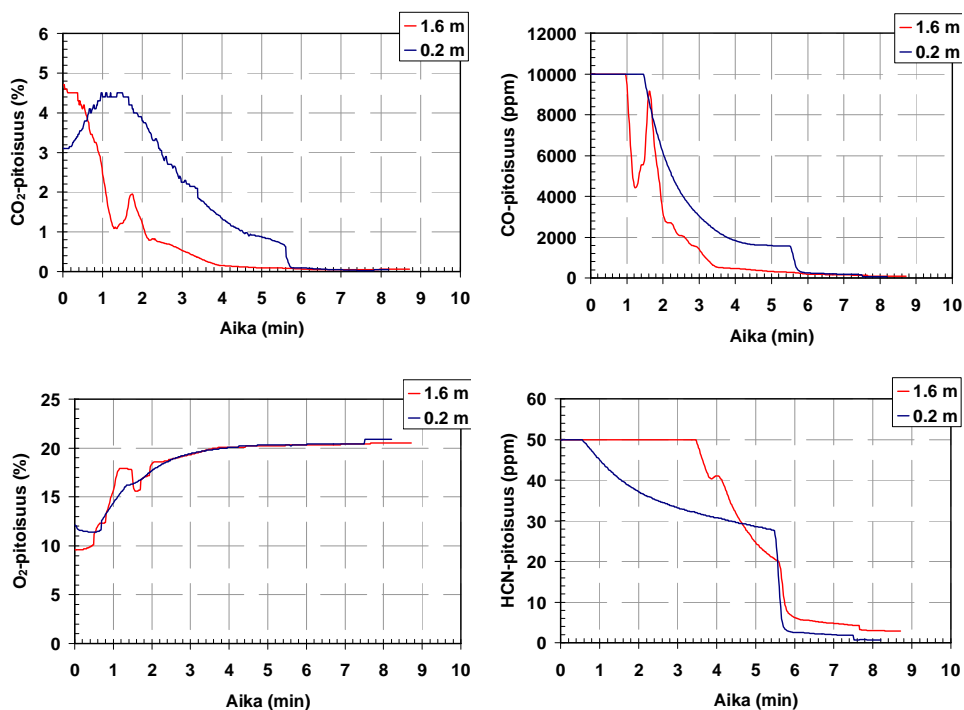
Kaasupitoisuudet sytytysajankohdasta eteenpäin esitetään kuvassa 14. Sammutuksen jälkeisiä kaasupitoisuusarvoja voidaan seurata kuvasta 15, jossa sammutus aloitetaan ajanhetkellä 1 min. Kannettavan kaasuanalysointilaitteiden mittausalueen takia eri kaasukomponenttien kuvaajat leikkautuvat tiettyjen raja-arvojen kohdalla (näin myös muiden kokeiden osalla). Esimerkiksi hiilidioksidianturin mittausalue ylittää 5 %:iin, jonka ylittävät arvot on piirretty vakiopitoisuudella 5 %, vaikka todellisuudessa hiilidioksidipitoisuus mittauskohdassa on ollut tätä suurempi. Vastaavat raja-arvot CO- ja HCN-antureille ovat 10 000 ppm ja 50 ppm.

4. Tulokset



Kuva 14. Kaasupitoisuudet sytytysketkestä eteenpäin.

Sammutuksen osuus nähdään kuvassa 15, kun eri komponenttien pitoisuudet alkavat laskea. Varsinkin CO₂- ja CO-pitoisuuksissa havaitaan vaihtelua, kun huoneen ikkunan rikkoutuu (ennen sammutusta) ja kun sammuttamisen yhteydessä avataan ja suljetaan tilapäisovea.

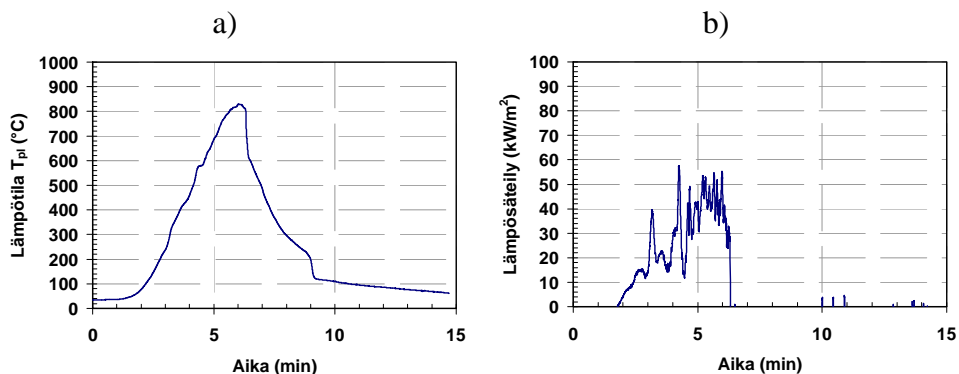


Kuva 15. Kaasupitoisuudet sammutushetkestä (1 min kohdalla) eteenpäin.

4.1.5 Lämpösäteily

Kuvassa 16 esitetään lämpösäteilyarvot kokeessa 1 huoneen keskeltä n. 1 m:n korkeudelta mitattuna. Suurimmillaan lämpösäteilyarvot ovat olleet noin 50 kW/m²:n luokkaa.

4. Tulokset



Kuva 16. Plate thermometer -anturilla mitattu a) lämpötila ja b) laskennallinen anturiin kohdistunut lämpösäteily.

4.2 Koe 2 – DSPA

4.2.1 Tapahtumat

Kokeessa 2 käytettiin ensisijaisena sammutusmenetelmänä heittosammutinta. Sammuttaja ”heitti” sammuttimen mahdollisimman keskelle palotilan lattiaa käskyn saatuaan. Ovi palotilaan oli koko ajan auki. Heittosammuttimen varsin vähäisen vaikutuksen seurauksena sammutuspari aloitti sammutuksen suihku-putkella sammuttimen toiminnan lakattua, kun palo ei laantunut.

Taulukossa 4 on kokeen aikana tehdyt havainnot ajanhetkineen. Ajan nollakohta on sytytyshetki.

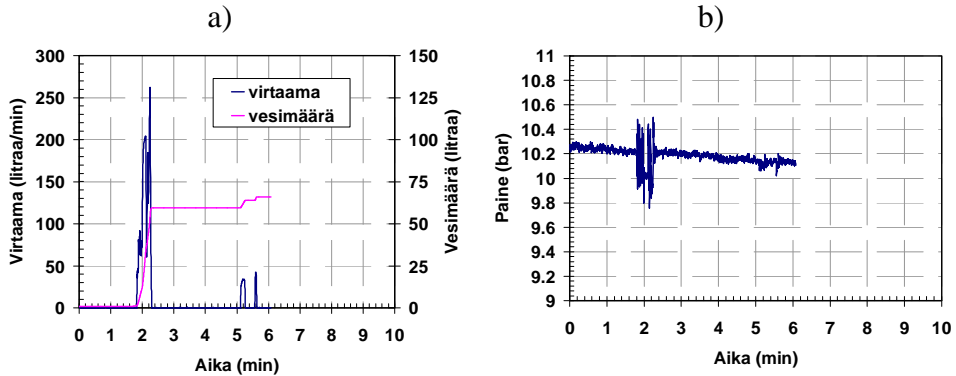
Taulukko 4. Havainnot kokeen 2 aikana.

Tapahtuma	Aika (min)
Sytytys: TV (kirjahyllyssä)	0:00
Ikkuna halki: savua	03:00
Sohva syttyy	03:21
Ilmoitus: Yleissyttyminen tapahtunut	03:25
Ikkuna rikki: liekkejä	04:54
Heittosammutin palotilaan	06:27
Sammutin alkaa toimia	06:37
Sammuttimen toiminta lakkaa	07:06
Sammutuspari avaa suihkuputken ovelta palotilaan	07:14
Suihkuputki suljetaan.	07:41
Yks.johtaja lämpökameran kanssa sisälle huoneeseen	08:56
Sammutuspari sisälle huoneeseen	09:40
Sammuttajat pois huoneesta	09:53
Sammutuspari huoneeseen	10:28
Pintojen kastelua suihkuputkella	10:32
Sammutuspari ulos huoneesta	11:04

4.2.2 Sammutusvesimäärä

Sammutusveden virtaama, vesimäärä ja paine ajan funktiona esitetään kuvassa 17. Sammutuksen yksityiskohtaisempi selitys esitetään taulukossa 5.

4. Tulokset



Kuva 17. Työjohdolla sammuttamiseen käytetty a) vesimäärä ja virtaama sekä b) paine. Sammutus DSPA:lla aloitettu hetkellä 1 min.

Heittosammuttimen toiminnan takia tila jouduttiin sammuttamaan suihkuputkella ovelta käsin. Palava tila saatiin hallintaan ja pääosin sammutettua 60 litralla sammutusvettä. Jälkisammutukseen ja pintojen kasteluun tilan sisällä kului 6 litraa sammutusvettä.

Taulukko 5. Sammutustapahtumat kokeessa 2. Sammutuksen aloitus asetettu ajanhetkeen 1 min.

Tapahtuma	Aika (min)	Vesimäärä (l)
<i>Heittosammutin palotilaan</i>	01:00 – 01:37	-
Sammutus: Koko tilaan oviaukolta suunnattu sammutus suihkuputken suihkukulmaa vaihdellen	01:37 – 02:04	60
Sammuttaja kastelee pintoja tilan sisällä	04:54 – 05:24	6
		Yht. 66

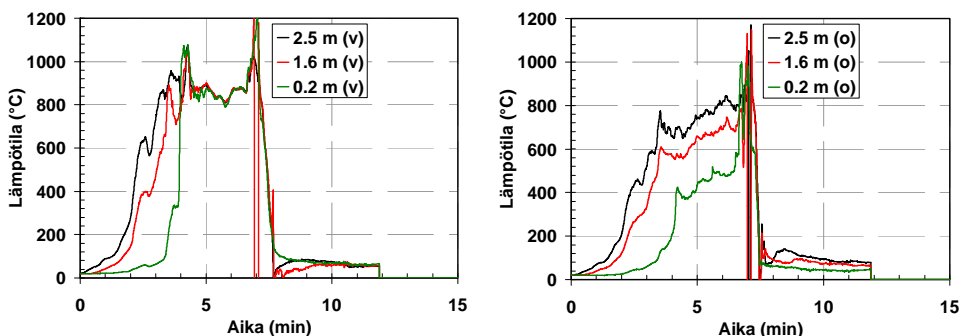
4.2.3 Kaasun lämpötila

Kuten kokeessa 1, myös kokeen 2 lämpötilatulokset esitetään sytytysajankohdasta (kuva 18) ja ajankohdasta 1 min ennen sammutusta eteenpäin (kuva 19).

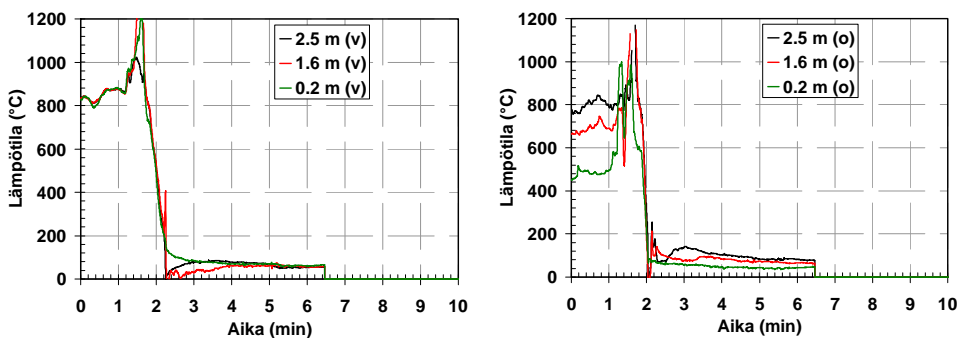
Lämpötilakuvaajat ovat hyvin samankaltaisia verrattuna kokeen 1 lämpötiloihin. Heittosammuttimen vaikutus nähdään hetkellisesti kaikkien lämpötilanturien kohdalla lämpötiloja nostavana tapahtumana (kuva 19). Tämä luultavasti selittyy sammutteen purkautuessaan synnyttämästä ilmvirtauksesta (lisää

happea huonetilaan). Lisäksi sammuttimen lähellä lattiatasolla havaittiin voimakas eksoterminen reaktio, jossa sammute purkautui kipinöiden saattelemana kuoren sisältä.

Lämpötilat laskivat suihkuputkella suoritettun sammutuksen jälkeen (37 s sen jälkeen kun heittosammutin oli heitetty huoneeseen), jolloin tilanne muistutti koetta 1.



Kuva 18. Lämpötilat sytytyshetkestä eteenpäin.



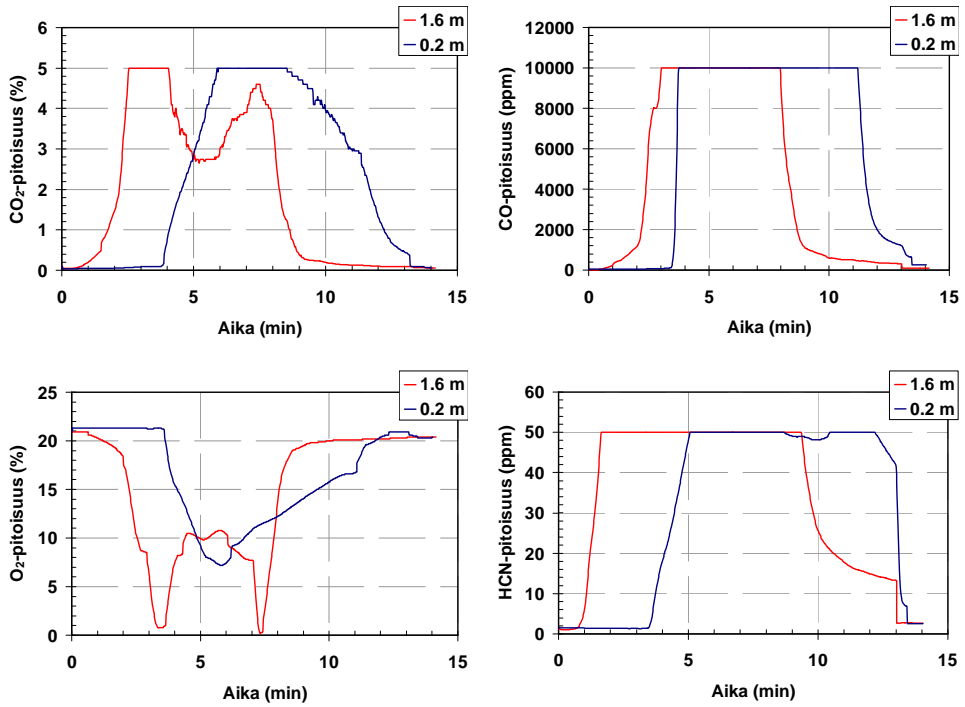
Kuva 19. Lämpötilat sammutushetkestä (1 min kohdalla) eteenpäin.

4.2.4 Kaasupitoisuudet

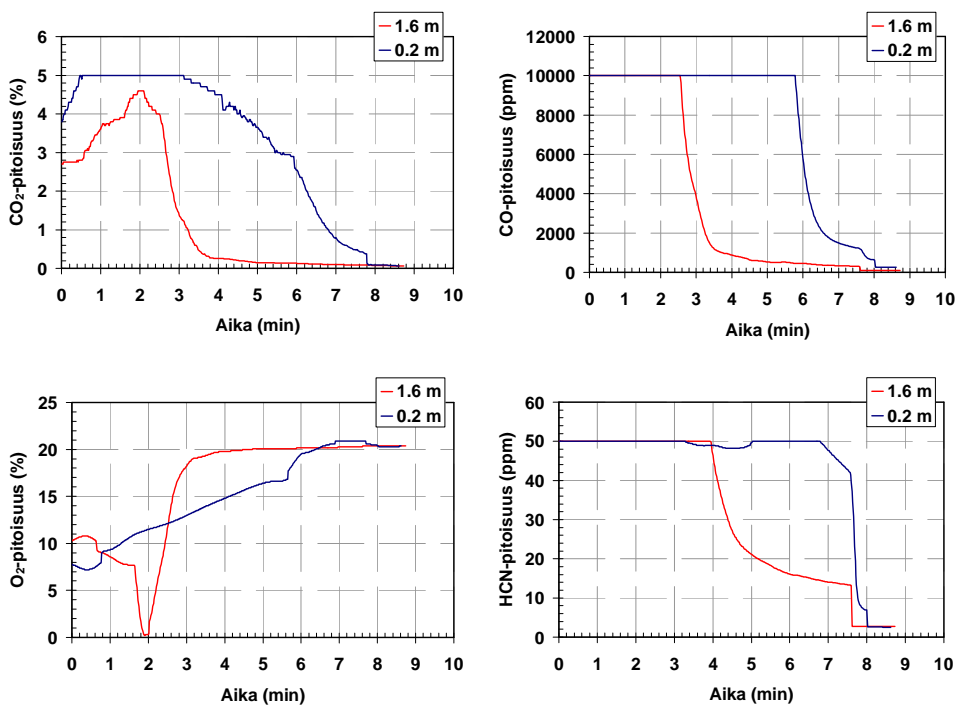
Kaasupitoisuudet esitetään sytytysajankohdasta (kuva 20) ja 1 min ennen heittosammuttimen laukeamisajankohtaa (kuva 21). Kuvan 21 nousevista kaasupitoisuuksista hetkellä 1–2 min havaitaan, ettei heittosammuttimella saavutettu toivottua tulosta ja sammutus onnistuu vasta suihkuputkella. Tilan tuulettumista

4. Tulokset

ei nopeutettu erillisellä savutuuleksella ja huonetilan kaasupitoisuudet alemmassa mittauspisteessä lähestyvät normaalia tasoa vasta noin 7–8 min sammuttamisen jälkeen.



Kuva 20. Kaasupitoisuudet sytytys hetkestä eteenpäin.



Kuva 21. Kaasupitoisuudet sammutushetkestä (1 min kohdalla) eteenpäin.

4.2.5 Lämpösäteily

Lämpösäteilytuloksia ei saatu mitattua kokeesta 2.

4.2.6 Muut huomiot

Täyden palamisen vaiheessa olevan huonetilan sammuttaminen DSPA-heittosammuttimella on mahdotonta, mikäli sammute pääsee purkautumaan ulos huoneen avonaisesta ovesta tai oviaukosta kuuman virtauksen kuljettamana.

4. Tulokset

4.3 Koe 3 – Cobra

4.3.1 Tapahtumat

Kokeessa 3 sammutus aloitettiin rakennuksen ulkopuolelta Cobralla palotilan ulkovaipan läpi. Laitteen kärki painettiin ikkunan alapuitteen ja kehyksen väliin. Sammutusta jatkettiin näin kolme minuuttia. Tämän jälkeen sammutuspari meni sisään palotilaan ja kastelemalla jäähdytti pintoja ja sammutti yksittäiset pienet palopesäkkeet.

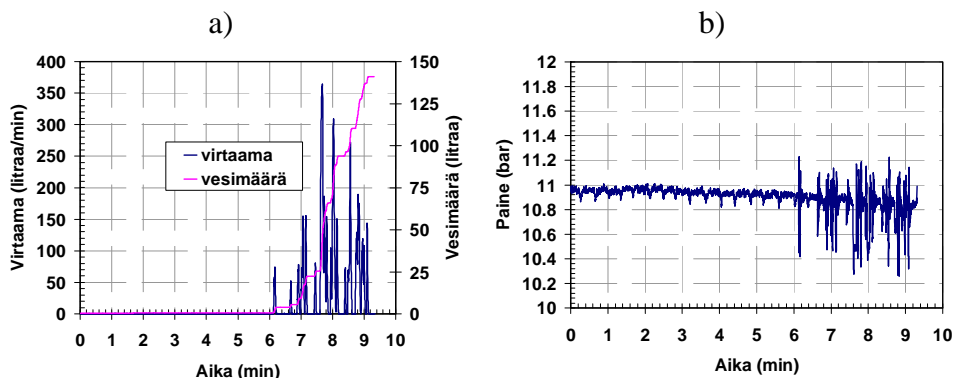
Taulukossa 6 on kokeen aikana tehdyt havainnot ajanhetkineen. Ajan nollakohta on sytytys hetki.

Taulukko 6. Havainnot kokeen 3 aikana.

Tapahtuma	Aika (min)
Sytytys: TV (kirjahyllyssä)	00:00
Sohva syttyy	03:03
Ikkuna halki: savua	03:04
Ilmoitus: yleissyttyminen tapahtui	03:08
Ikkunasta liekkejä	04:04
Ikkuna rikki	04:32
Tuli leviää käytävään	05:04
Käytävällä seinän rangat palaa	05:49
Sammutus Cobralla alkaa	06:06
Cobra pois	09:07
Sammutuspari sisälle huoneeseen	11:11
Kastelua suihkutupkella	11:14
Tuuletus: käytävän ikkuna lyödään rikki	11:36
Sammutuspari ulos huoneesta	14:13

4.3.2 Sammutusvesimäärä

Sammutusveden virtaama, vesimäärä ja paine ajan funktiona esitetään kuvassa 22 . Sammutuksen yksityiskohtaisempi kuvaus esitetään taulukossa 7.



Kuva 22. Työjohdolla sammuttamiseen käytetty a) vesimäärä ja virtaama sekä b) paine. Sammutus Cobralla aloitettu hetkellä 1 min.

Cobran käytön jälkeen sammutuspari meni tilan sisään sammuttamaan sytytyskohdan alueella havaitun pienen palon alun, joka saatiin tukahdutettua 4 litralla vettä. Tämän jälkeen sammutuspari käytti sammutusvettä tilan pintojen kasteiluun sekä jälkisammutukseen 122 litraa.

Kuuman, teräsrunkoisen testisohvan jäähdytys tehtiin sen vuoksi, että sohva saadaan siirrettyä seuraavaan kokeeseen. Tämä tapahtuma ei ole varsinaista jälkisammutusta, mutta tallentui tiedonkeruujärjestelmään.

Kokeessa 3 sammutusvettä kului yhteensä 137 litraa, josta varsinaiseen sammutukseen ja jälkisammutukseen 126 litraa.

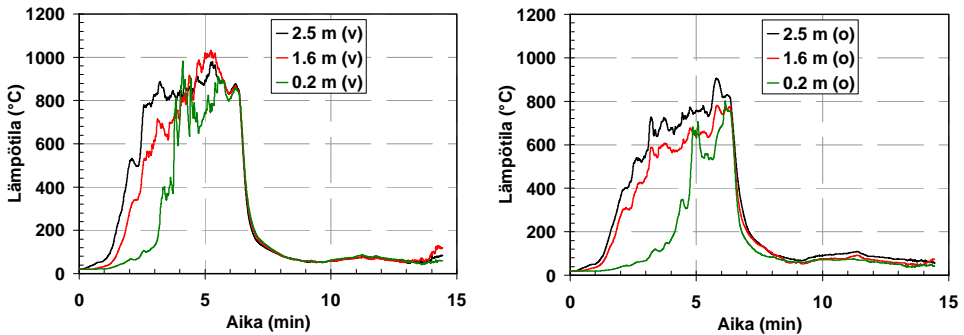
Taulukko 7. Sammutustapahtumat kokeessa 3. Sammutuksen aloitus asetettu ajanhetkeen 1 min.

Tapahtuma	Aika (min)	Vesimäärä (l)
<i>Sammutus Cobralla alkaa</i>	01:00 – 04:01	160
Sytytyskohdan alueella liekkejä. Sammutuspari sammuttaa tilan sisällä	06:11 – 06:12	4
Jälkisammutus ja pintojen kastelua tilan sisällä	06:42 – 08:34	95
Kuuman testisohvan jäähdytys tilan sisällä	08:43 – 08:51	11
Jälkisammutus tilan sisällä	08:53 – 09:05	27
		yht. 137

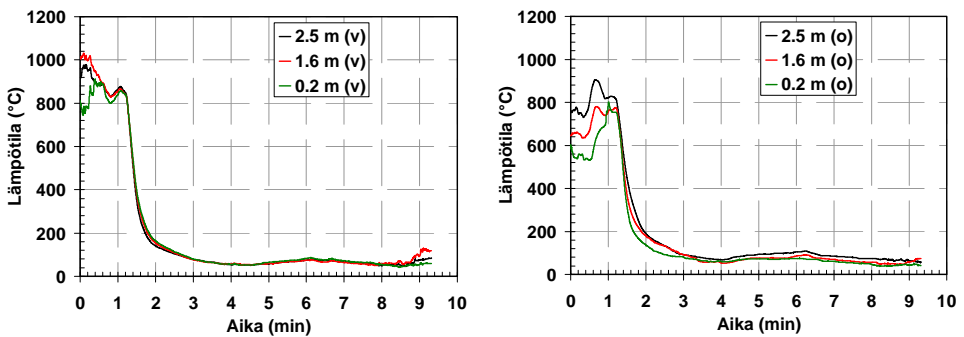
4. Tulokset

4.3.3 Kaasun lämpötila

Aiempien kokeiden tavoin kaasukokeiden tulokset esitetään sytytysajanhetkestä eteenpäin kuvassa 23 ja 1 min ennen sammuttamista Cobralla kuvassa 24. Sammutuksen alettua lämpötiloissa ei esiinny kovin suurta vaihtelua verrattuna edellisiin kokeisiin. Todennäköisesti runsas vesihöyryn muodostuminen Cobra-sammutusvaiheessa ja suuret ilmavirtaukset sekoittavat huoneen ilmaa ja kahden lämpötilapuun anturit mittaavat samansuuruisia lämpötiloja keskenään. Kuvan 24 mukaisesti noin 6 minuutin kohdalla aloitettiin sammutus suihkuputkella, mutta aiemmin mitattujen lämpötilojen mukaisesti tulipalo oli saatu sammumaan jo 3 min kestäneen Cobra-sammutusvaiheen aikana.



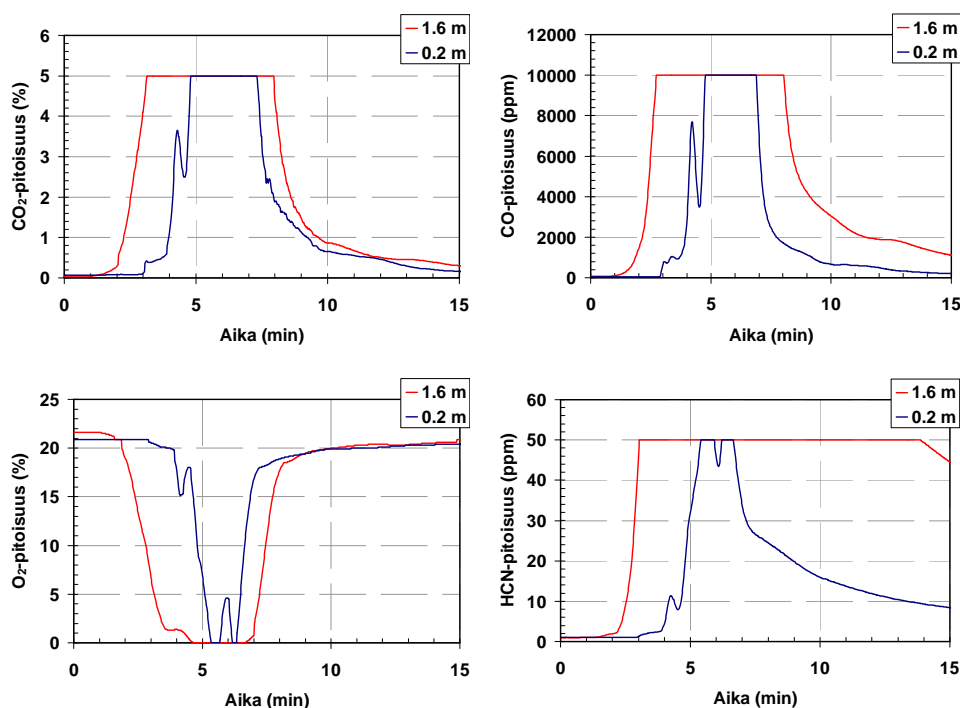
Kuva 23. Lämpötilat sytytyshetkestä eteenpäin.



Kuva 24. Lämpötilat sammutushetkestä (1 min kohdalla) eteenpäin.

4.3.4 Kaasupitoisuudet

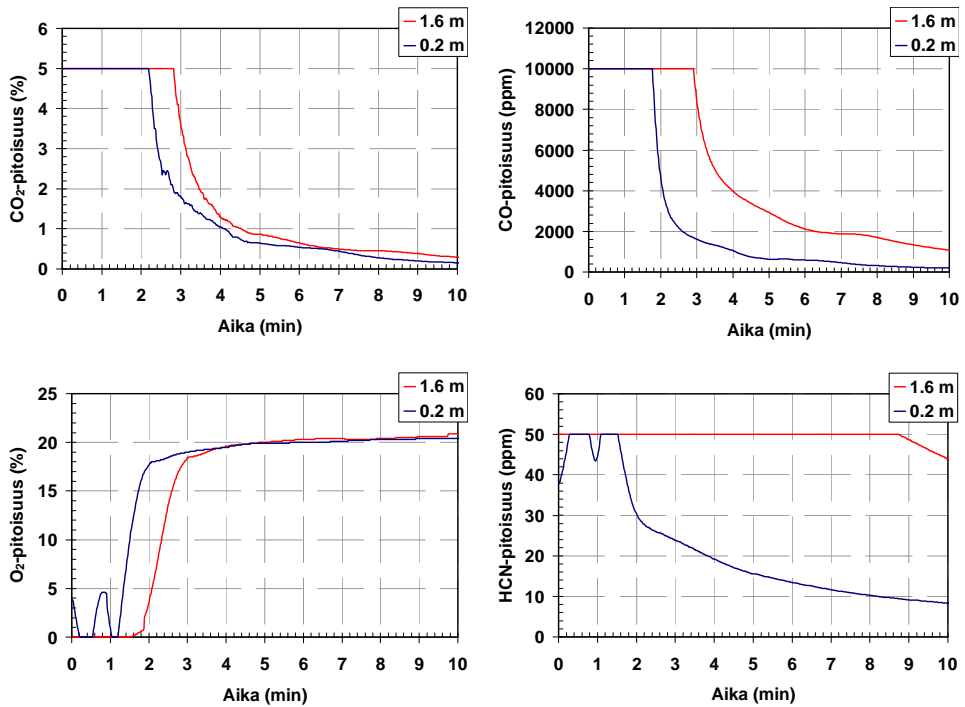
Kaasupitoisuudet sytytyshetkestä eteenpäin ovat jälleen varsin suuria ja CO₂-, CO- ja HCN-pitoisuudet käyvät yli anturien mitta-alueiden. Huomattavaa on, että happipitoisuus pysyttelee lähellä tilavuusprosenttia 0 ajanhetkillä 5–8 min sytytyksestä (kuva 25). Näin ollen huoneistopalo on ollut happirajoitteinen. Palon voimakkuutta pystytään tässä tapauksessa approksimoimaan huonetilan aukkotekijöillä². Cobra-sammutuksen jälkeen tila tuulettuu ja kaasupitoisuudet palaavat lähelle normaalitasoja (kuva 26).



Kuva 25. Kaasupitoisuudet sytytyshetkestä eteenpäin.

² Olettamalla, että kaikki huonetilassa oleva happi kuluu palamiseen, voidaan maksimipalotehoa arvioida tekijällä $1,5 \times A \times h^{0,5}$, missä A [m²] on aukkojen (esim. ovet ja ikkunat) pinta-ala ja h [m] aukkojen korkeus (Karlsson & Quintiere 2000). Kokeissa käytetyn huonegeometrian tapauksessa maksimipaloteho oli noin 4 MW.

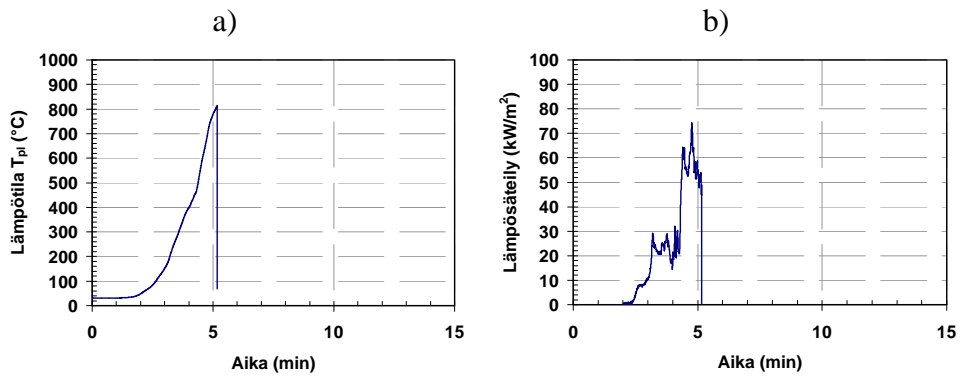
4. Tulokset



Kuva 26. Kaasupitoisuudet sammutushetkestä (1 min kohdalla) eteenpäin.

4.3.5 Lämpösäteily

Kuvassa 27 esitetään kokeen 3 lämpösäteilyarvot huonetilan keskellä 1 m:n korkeudella lattiapinnasta. Lämpösäteilyarvot ovat keskimäärin välillä 50 kW/m^2 – 60 kW/m^2 ja hetkelliset arvot yli 60 kW/m^2 .



Kuva 27. Plate thermometer -anturilla mitattu a) lämpötila ja b) laskennallinen anturiin kohdistunut lämpösäteily.

4.4 Koe 4 – Cobra

4.4.1 Tapahtumat

Kokeessa 4 pyrittiin toistamaan edellisen kokeen kulku siten, että kolmen minuutin sijasta Cobralla sammutettiin yhden minuutin ajan.

Taulukossa 8 on kokeen aikana tehdyt havainnot ajanhetkineen. Ajan nolli-kohta on sytytyshetki.

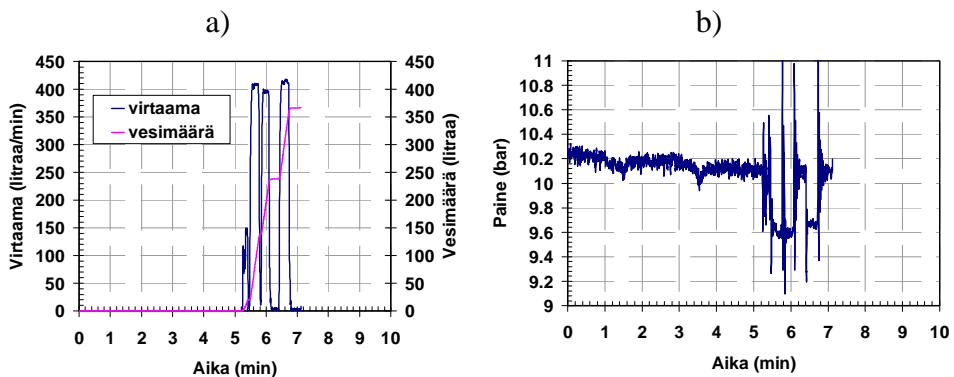
4. Tulokset

Taulukko 8. Havainnot kokeen 4 aikana.

Tapahtuma	Aika (min)
Sytytys: TV (kirjahyllyssä)	00:00
Ikkuna aukeaa ylipaineesta	00:59
Ikkuna suljetaan ulkoapäin	01:54
Ikkuna halki: savua	02:55
Ilmoitus: yleissyttyminen tapahtunut	03:01
Sohva sytty palamaan	03:05
Ikkuna rikki: liekkejä	03:48
Sammutus Cobralla alkaa	06:01
Cobra pois	07:01
Palotilaa jäähdytetään katkonaisella sumulla	10:15
Jäähdytys lopetetaan	10:26
Suihkuputkella kastellaan palotilan pintoja	10:29
Kastelu lopetetaan	10:47
Suihkuputkella kastellaan palotilan pintoja	10:51
Kastelu lopetetaan	11:06
Suihkuputkella kastellaan palotilan pintoja	11:26
Kastelu lopetetaan	11:44

4.4.2 Sammutusvesimäärä

Sammutusveden virtaama, vesimäärä ja paine ajan funktiona esitetään kuvassa 28. Sammutuksen yksityiskohtaisempi kuvaus esitetään taulukossa 9.



Kuva 28. Työjohtolla sammuttamiseen käytetty a) vesimäärä ja virtaama sekä b) paine. Sammutus Cobralla aloitettu hetkellä 1 min.

Kokonaisuudessaan sammutus ja pintojen kastelu toteutettiin ovelta käsin suihkuputkella. Sammutusparilla oli käytössään lämpökamera, jolla eri sammutuskertojen välissä pyrittiin havainnoimaan kuumat pinnat ja suuntaamaan suihkuputken käyttöä. Kokeessa 4 vettä kului yhteensä 368 litraa.

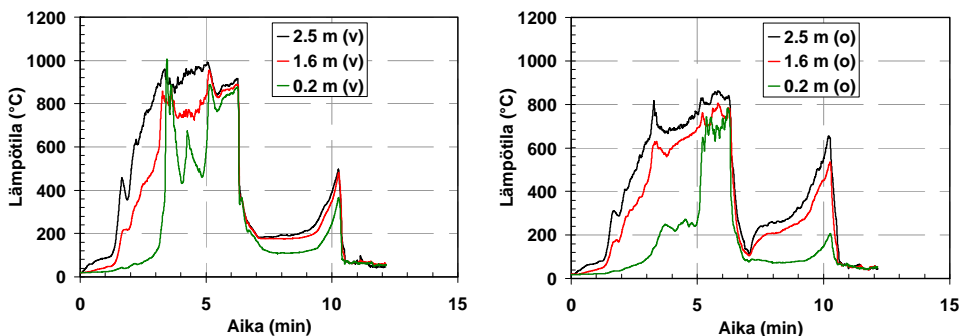
Taulukko 9. Sammutustapahtumat kokeessa 4. Sammutuksen aloitus asetettu ajanhetkeen 1 min.

Tapahtuma	Aika (min)	Vesimäärä (l)
<i>Cobralla sammuttaminen alkaa</i>	01:00 – 02:00	55
Palotilaa jäähdytetään katkonaisella sumulla	05:14 – 05:25	21
Suihkuputkella kastellaan palotilan pintoja oviaukon luota tilan ulkopuolelta	05:28 – 05:46	119
Suihkuputkella kastellaan palotilan pintoja oviaukon luota tilan ulkopuolelta	05:50 – 06:05	100
Suihkuputkella kastellaan palotilan pintoja oviaukon luota tilan ulkopuolelta	06:25 – 06:43	128
		yht. 368

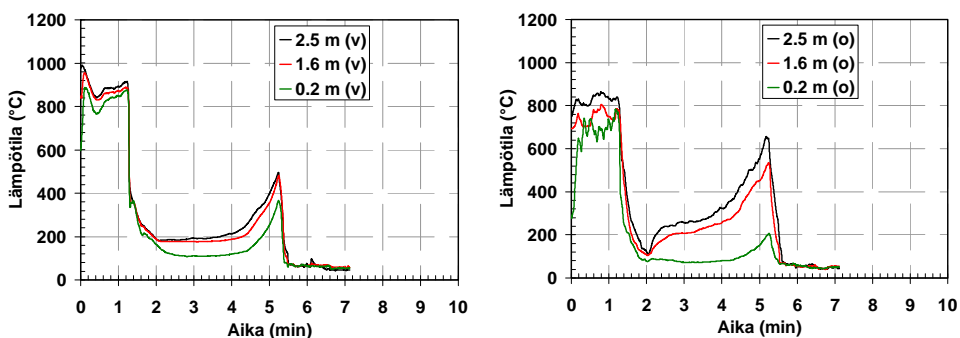
4.4.3 Kaasun lämpötila

Kokeessa 4 mitatut lämpötilat sytytysajanhetkestä eteenpäin esitetään kuvassa 29. Kuvassa 30 lämpötilat esitetään 1 min ennen Cobra-sammutuksen aloittamista. Edelliseen kokeeseen nro 3 verrattuna 1 minuutin Cobra-sammutusjaksolla ei kyetä sammuttamaan paloa, vaan 3 minuutin odottelujakson jälkeen lämpötiloista voidaan nähdä (kuva 30), että palo olisi voimistunut ja johtanut uudelleen huonetilan lieskahtamiseen. Palo voimistuu enemmän oviaukosta sisään katsottuna huoneen oikealta puolelta. Cobralla sammuttaminen suoritettiin huoneen vasemmalta seinältä (rakennuksen päädystä) huoneeseen päin.

4. Tulokset



Kuva 29. Lämpötilat sytytyshetkestä eteenpäin.

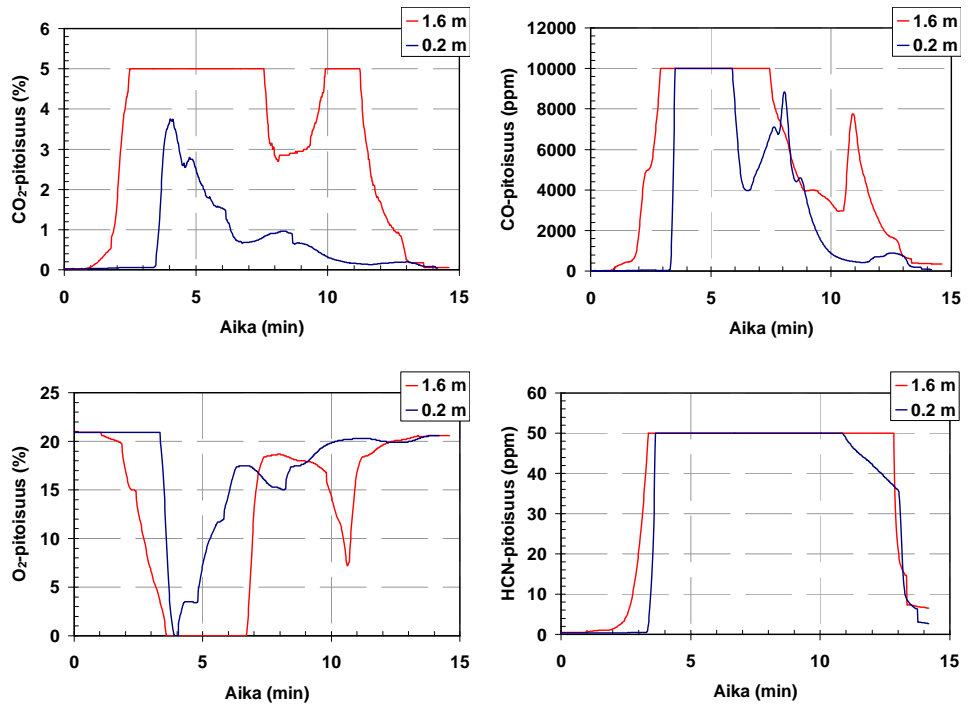


Kuva 30. Lämpötilat sammutushetkestä (1 min kohdalla) eteenpäin.

4.4.4 Kaasupitoisuudet

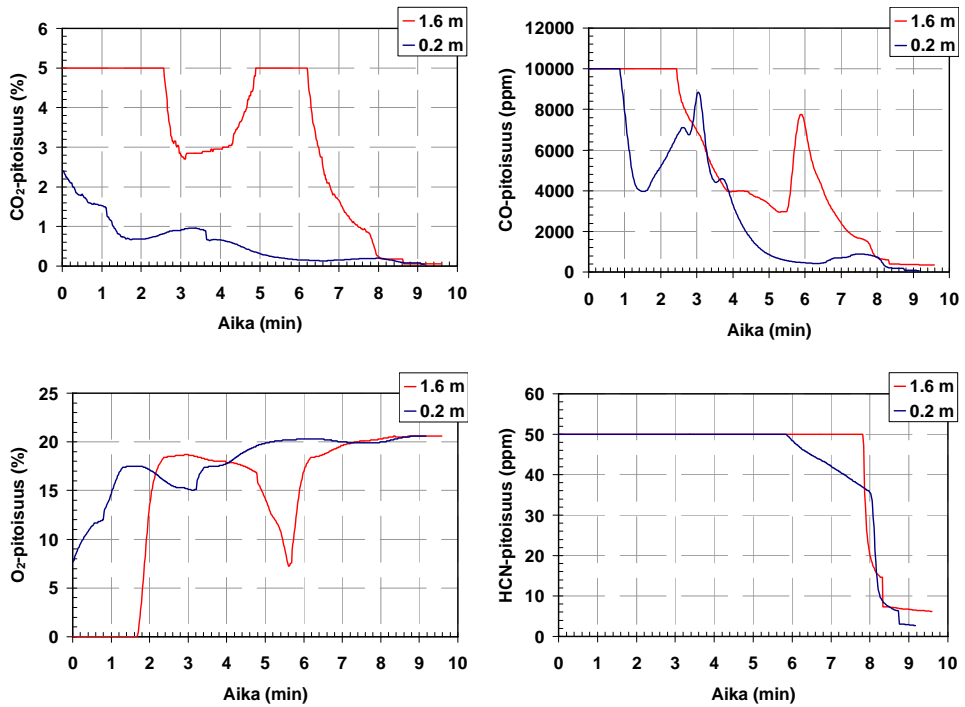
Kaasupitoisuusmittauksissa nähdään myös sama kuin lämpötilamittauksillakin havaittiin: huonetila ei sammu 1 minuutin Cobra-sammutuksen aikana vaan kaasupitoisuudet CO_2 ja CO nousevat välittömästi 1 minuutin sammutusjakson jälkeen (kuvat 31 ja 32).

4. Tulokset



Kuva 31. Kaasupitoisuudet sytytyshetkestä eteenpäin.

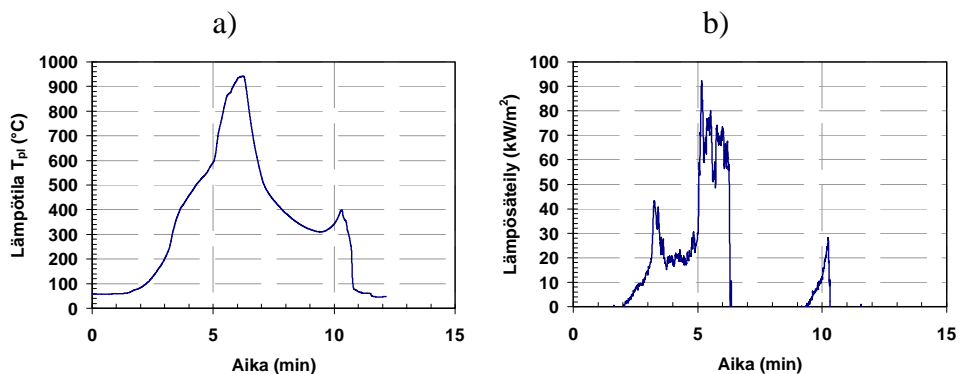
4. Tulokset



Kuva 32. Kaasupitoisuudet sammutushetkestä (1 min kohdalla) eteenpäin.

4.4.5 Lämpösäteily

Kokeessa 4 palo oli voimakkaampi kuin aiemmissa kokeissa, mikä voidaan nähdä lämpösäteilyarvoista, jotka ovat n. 70 kW/m^2 :n tasolla.



Kuva 33. Plate thermometer -anturilla mitattu a) lämpötila ja b) laskennallinen anturiin kohdistunut lämpösaateily.

4.4.6 Muut huomiot

Cobraa jaksottaisesti käytettäessä on syytä tarkkailla tapahtumia sammutettavassa huonetilassa, mikäli se on mahdollista. Uusi sammutusjakso on aloitettava muutamien minuuttien kuluttua edellisestä, ettei palo pääse kehittymään uudelleen. Sammutusvesimäärä jälkisammutuksen osalta oli varsin suuri. Tämän olisi kyseisen kokeen aikana pystynyt välttämään hyvin jaksottaisella sammutuksella ja suihkuputken säädöillä, kuten aiemmissa kokeissa. Cobra-sammutinleikkurin tuottama vesisuihku läpäisi vastakkaisen, 4,5 m:n etäisyydellä olleen väliseinän (kuva 34), joten turvaetäisyydet on luonnollisesti otettava huomioon sammutus- ja pelastustyöskentelyssä.



Kuva 34. Cobra-sammutinleikkurin vesisuihkun läpäisemä väliseinä, jossa nähtävillä myös vesisuihkun tuottama kuvio (halkaisija n. 2 m).

4.5 Koe 5 – DSPA

4.5.1 Tapahtumat

Kokeessa 5 käytettiin DSPA-heittosammutinta. Tässä kokeessa sammutin heitettiin palotilan lattialle keskivaiheille ennen yleissyttymistä (ks. kuva 35) vaiheessa, jossa palotilan lämpötila oli saavuttanut 400 °C. Kokeessa ovi oli auki koko ajan. Sammuttimen toimittua jäätiin seuraamaan olosuhteiden kehittymistä palotilassa. Palon kiihtyessä (sohva syttyi ja palotilan ikkuna rikkoutui) palo sammutettiin suihkuputkella.

Taulukossa 10 on kokeen aikana tehdyt havainnot ajanhetkineen. Ajan nollakohta on sytytys hetki.

Taulukko 10. Havainnot kokeen 5 aikana.

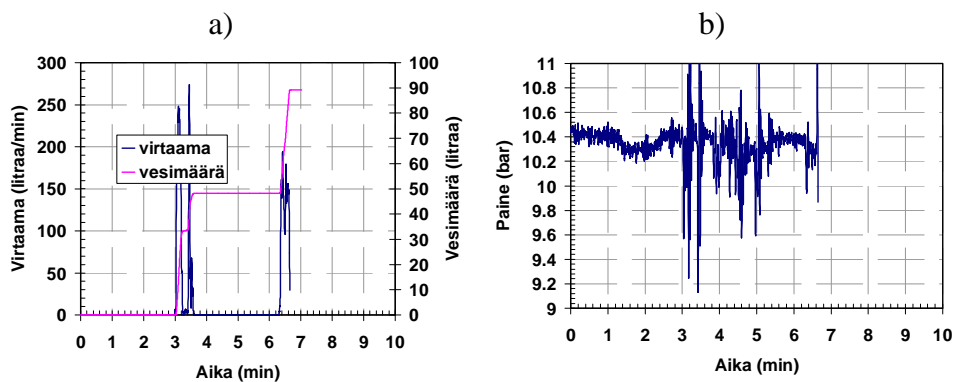
Tapahtuma	Aika (min)
Sytytys: TV (kirjahyllyssä)	00:00
Heittosammutin sisään palotilaan	03:40
Sammutin alkaa toimia	03:48
Sammuttimen toiminta lakkaa	04:17
Sohva syttyy palamaan	05:31
Ikkuna halkeaa	05:42
Sammutus suihkuputkella	05:51
Ikkuna rikki	05:58
Suihkuputki kiinni	06:05
Sammutusta suihkuputkella	06:15
Suihkuputki kiinni	06:19
Sammutuspari sisälle huoneeseen. Pintojen kastelua suihkuputkella	09:06
Sammutuspari pois huoneesta	09:27



Kuva 35. Kuvasarja heittosammuttimen asentamisesta palavaan huonetilaan (tapahtumien ajallinen kesto yhteensä n. 1 min).

4.5.2 Sammutusvesimäärä

Sammutusveden virtaama, vesimäärä ja paine ajan funktiona esitetään kuvassa 36. Sammutuksen yksityiskohtaisempi kuvaus esitetään taulukossa 11.



Kuva 36. Työjohdolla sammuttamiseen käytetty a) vesimäärä ja virtaama sekä b) paine. Sammutus DSPA:lla aloitettu hetkellä 1 min.

4. Tulokset

DSPA-heittosammuttimen toiminnan seurauksena tila jouduttiin sammuttamaan suihkuputkella ovelta käsin. Palava tila saatiin hallintaan 34 litralla vettä, jolloin oviaukolta ei ollut nähtävillä liekkejä. Sammutuspari viimeisteli sammutusta tilan ulkopuolelta käyttämällä 15 l vettä.

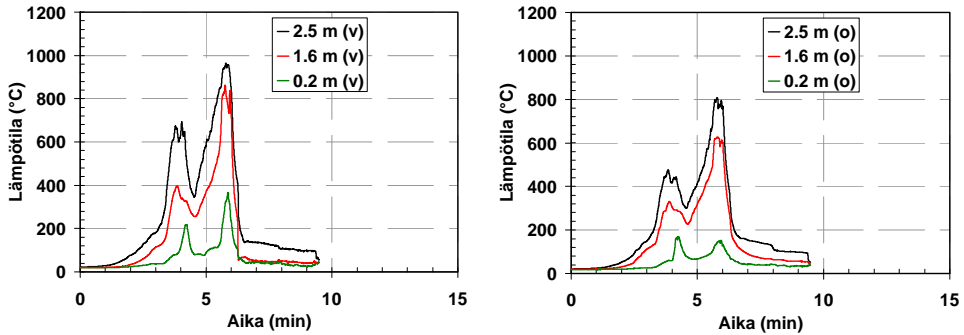
Jälkisammutukseen ja pintojen kasteluun kului 41 l sammutusvettä. Kokonaisuudessaan kokeessa 5 käytettiin 90 l sammutusvettä.

Taulukko 11. Sammutustapahtumat kokeessa 5. Sammutuksen aloitus asetettu ajanhetkeen 1 min.

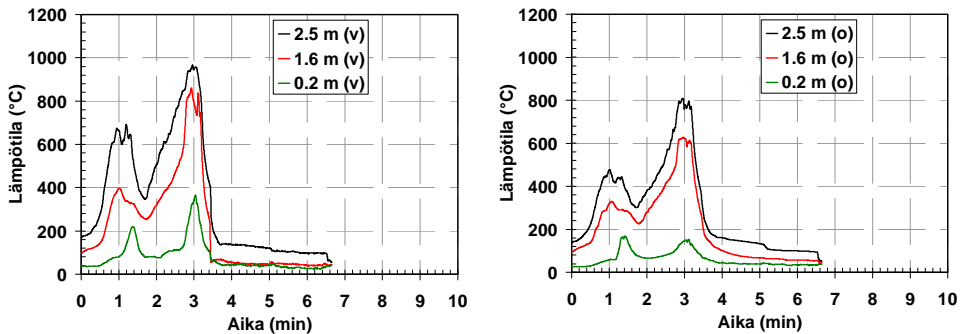
Tapahtuma	Aika (min)			Vesimäärä (l)
<i>Sammutteen toiminta alkaa</i>	01:00	–	01:29	-
Sammutus suihkuputkella tilan ulkopuolelta	03:03	–	03:17	34
Sammutusta suihkuputkella oviaukon luota	03:27	–	03:31	15
Sammutuspari sisälle huoneeseen. Pintojen kastelua suihkuputkella	06:18	–	06:37	41
				yht. 90

4.5.3 Kaasun lämpötila

Heittosammutin heitettiin huonetilaan hetkellä, jolloin tila ei vielä ollut lieskahdannut silmämääräisten havaintojen ja reaaliaikaisten lämpötilamittausten perusteella. Katon rajassa lämpötilat olivat suurimmillaan noin 600 °C, joten yleissyttyminen oli varsin lähellä tilassa ennen kuin heittosammutin alkoi toimia (kuva 37). Kuvassa 38 havaitaan, että heittosammutin laskee lämpötiloja vajaan minuutin aikana (pl. alimmat mittauspisteet), kunnes sammutteen toiminnan lakattua, lämpötilat lähtevät uudelleen nousuun. Tilanne olisi johtanut tilan lieskahdukseen ellei sammutusta suihkuputkella olisi suoritettu. Tässä yhteydessä sammutusvettä kului n. 49 litraa.



Kuva 37. Lämpötilat sytytyshetkestä eteenpäin.

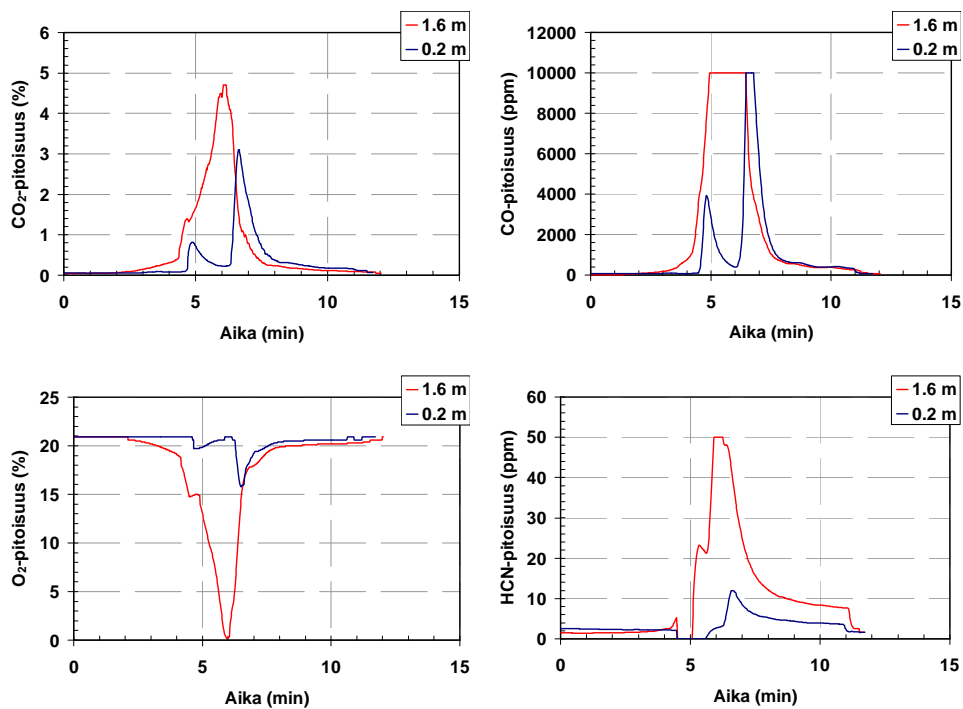


Kuva 38. Lämpötilat sammutushetkestä (1 min kohdalla) eteenpäin.

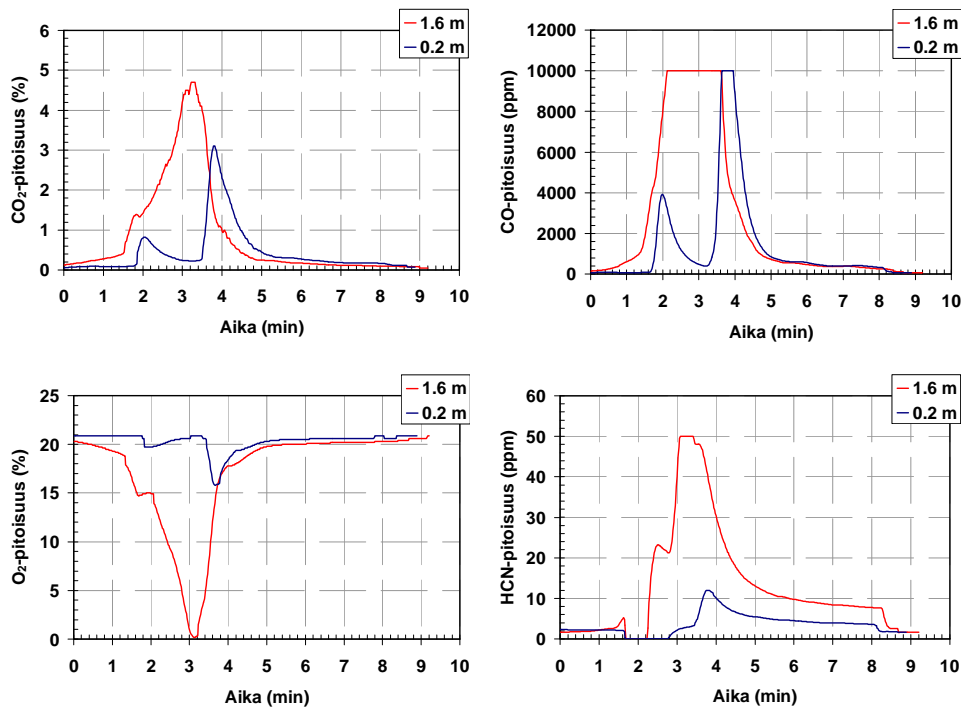
4.5.4 Kaasupitoisuudet

Aiemmistä kokeista poiketen kokeen 5 kaasupitoisuudet eivät ole samansuuruisia, koska huonetilan ei annettu lieskahtaa (kuva 39). Ylempi kaasumittauspiste ei savupatjasta johtuen reagoi heittosammuttimen ja suihkuputkella sammuttamisen välillä kaasupitoisuuksien vaihteluun toisin kuin alempi mittauspiste lattian rajassa 0,2 m:n korkeudella (kuvassa 40). Vaikka huonetila ei lieskahtanut, niin kaasupitoisuudet huoneen yläosassa olivat varsin korkeat (hapella matala) ja lähellä kaasuanalysaattoreiden anturien raja-arvopitoisuuksia. Lähellä lattian rajaa ainoastaan häkäpitoisuus nousi merkittävän korkealle (n. 4 000 ppm) ennen DSPA-heittosammuttimen toimintaa ja sammutteen vaikutusta.

4. Tulokset



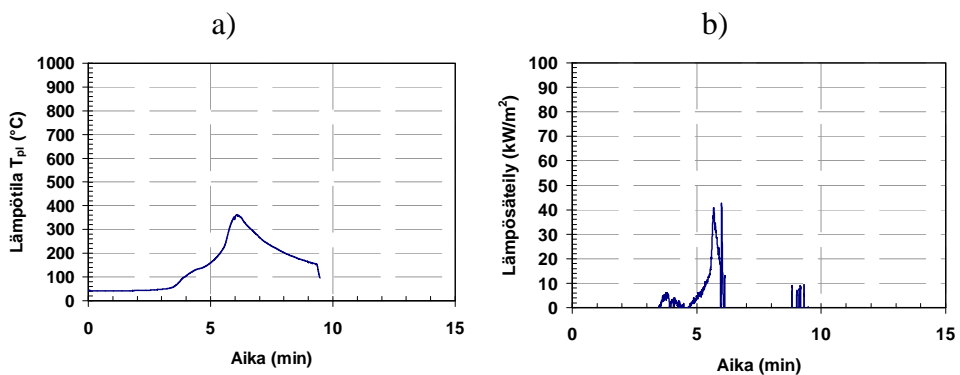
Kuva 39. Kaasupitoisuudet sytytyshetkestä eteenpäin.



Kuva 40. Kaasupitoisuudet sammutushetkestä (1 min kohdalla) eteenpäin.

4.5.5 Lämpösäteily

Kokeessa 5 lämpösäteilyarvot jäävät luonnollisesti pienemmiksi n. 30 kW/m² (kuva 41) kuin aiemmissa kokeissa 1-4, koska huonetila ei lieskahtanut.



Kuva 41. Plate thermometer -anturilla mitattu a) lämpötila ja b) laskennallinen anturiin kohdistunut lämpösäteily.

4. Tulokset

4.6 Koe 6 – Cobra

4.6.1 Tapahtumat

Kokeessa 6 toistettiin kokeen 4 kulku, mutta tässä tapauksessa Cobrasammutuksen alkaessa palotilan ovi suljettiin. Sammutusta jatkettiin yhden minuutin ajan (kuten kokeessa 4). Tämän jälkeen ovea pidettiin suljettuna vielä neljän minuutin ajan. Oven avaamisen jälkeen sammutuspari kasteli suihkuputkella lattialla olleet pienet palopesäkkeet (palavaa / kytevää sanomalehtipaperia).

Taulukossa 12 on kokeen aikana tehdyt havainnot ajanhetkineen. Ajan nollakohta on sytytyshetki.

Taulukko 12. Havainnot kokeen 6 aikana.

Tapahtuma	Aika (min)
Sytytys: TV (kirjahyllyssä). Tässä kokeessa huoneessa on ovi. Ovi on auki kokeen alkaessa	00:00
Savua ikkunasta (pielistä tai lasi halki)	02:42
Ilmoitus: yleissytytyminen tapahtunut	02:51
Sohva syttyy palamaan	03:32
Ikkuna rikkoutuu	03:45
Oven reuna syttyy palamaan	04:37
Ovi alkaa sulkeutua palon korvausilman virtauksen seurauksena	04:45
Ovi pysähtyy noin 45° kulmaan oviaukkoon nähden	04:52
Oven yläreuna palaa puhki	05:27
Ovi suljetaan kokonaan	05:51
Sammutus Cobralla aloitetaan	05:52
Ovea vasten nostetaan levyjä paikaksi puhkipalaneeseen yläosaan	05:54
Cobra pois	06:52
Ovi aukaistaan (levyt pois)	09:57
Palotilan kastelua suihkuputkella	11:09
Suihkuputki kiinni	11:25
Palotilan kastelua suihkuputkella	11:43
Suihkuputki kiinni	12:04

Noin 40 sekuntia sammutuksen alkamisesta Cobran vesisuihku puhkaisi reiän läpimenoseinän vastakkaiseen seinään (4,5 m:n päässä) ja tästä vesihöyry pääsi purkautumaan viereiseen huonetilaan.

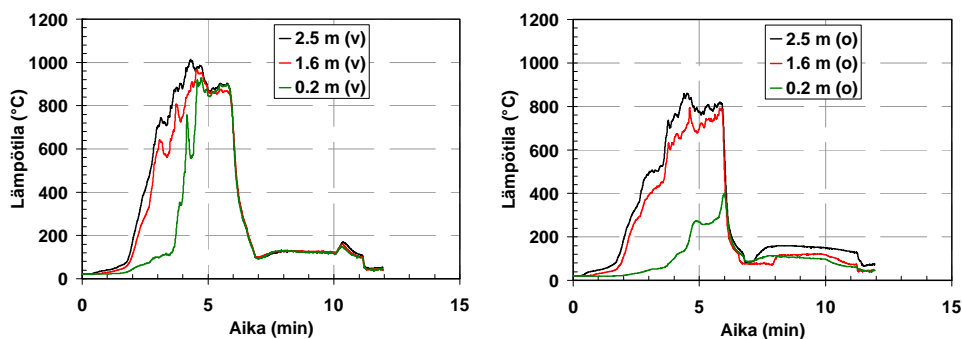
Cobran sammutuksen ajaksi ajoneuvosta selvitettiin seinän vierustalle työskentelyteline, jolla sammuttajan ja avustajan oli turvallista työskennellä. Ilman työskentelytelineettä Cobran sammutussuihku olisi mennyt liian jyrkässä kulmassa palavaan tilaan eikä sammutusvaikutus olisi ollut halutun kaltainen. Sammutussuihku oli mahdollisesti puhkaissut palavan huonetilan sisäkaton sammutuksen alkuvaiheessa.

4.6.2 Sammutusvesimäärä

Cobran sammutusvesimäärä 1 minuutin sammutusjakson aikana oli 50 litraa. Suihkuputken sammutusvesimäärän tiedonkeruussa ilmeni häiriöitä eikä kulutettua vesimäärää pystytty luotettavasti arvioimaan.

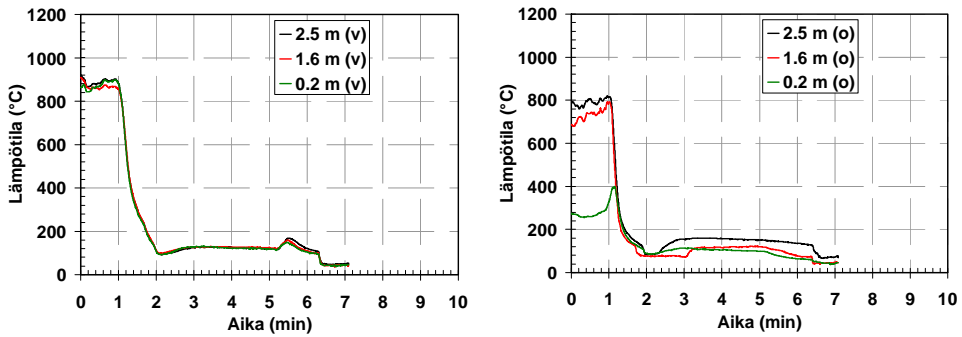
4.6.3 Kaasun lämpötila

Lämpötilakuvaajista (kuvat 42 ja 43) pystytään havaitsemaan, että oven sulkeminen 1 minuutin Cobra-sammutusjakson yhteydessä riittää huonepalon sammuttamiseen. (Vrt. kokeeseen 4, jossa paloa ei saatu sammutettua täysin, kun ovi oli auki.)



Kuva 42. Lämpötilat sytytyshetkestä eteenpäin.

4. Tulokset

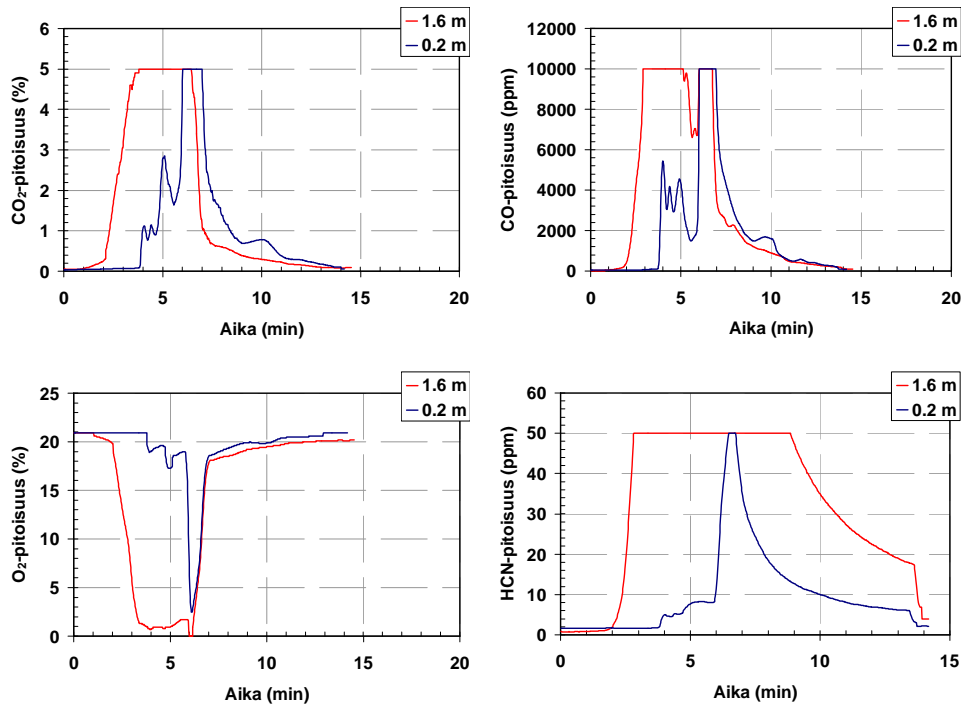


Kuva 43. Lämpötilat sammutushetkestä (1 min kohdalla) eteenpäin.

4.6.4 Kaasupitoisuudet

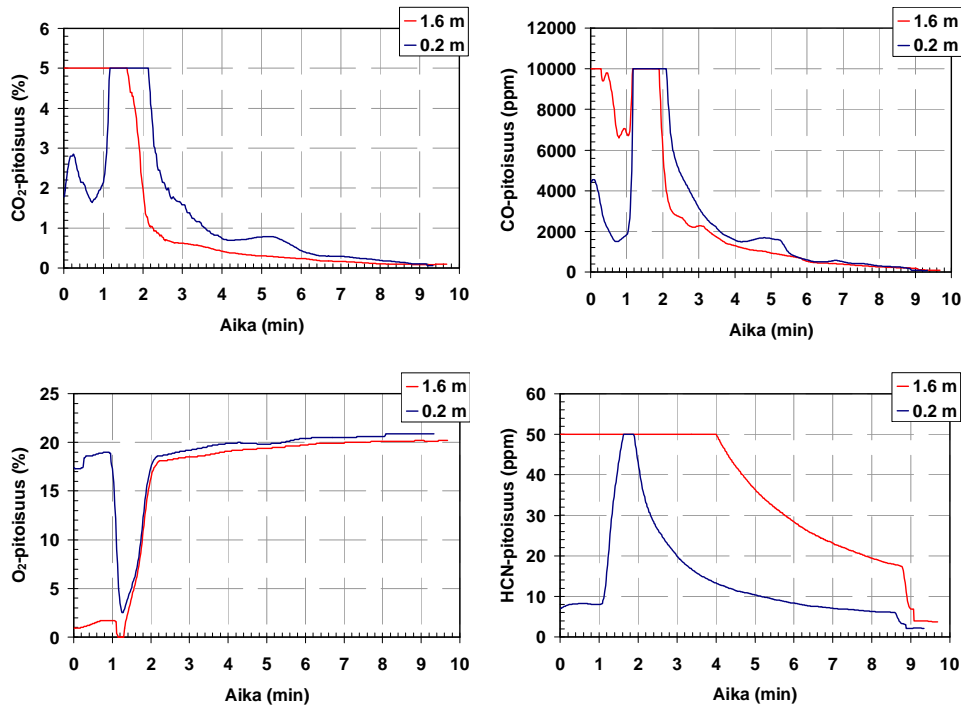
Kaasupitoisuudet nousevat muiden kokeiden tavoin suuriin pitoisuuksiin (kuva 44) ja vähähappisiin olosuhteisiin, kunnes sammutuksen jälkeen (kuva 45) kaasupitoisuudet alkavat lähestyä normaalipitoisuuksia vaikka huoneen oviaukko on suljettuna 3 minuutin ajan sammutuksen päätyttyä. Huonetilaan virtaa ulkoilmaa särkyneestä ikkunasta ja väliseinään syntyneestä reiästä, mikä nopeuttaa huonetilan tuulettumista.

4. Tulokset



Kuva 44. Kaasupitoisuudet sytytyshetkestä eteenpäin.

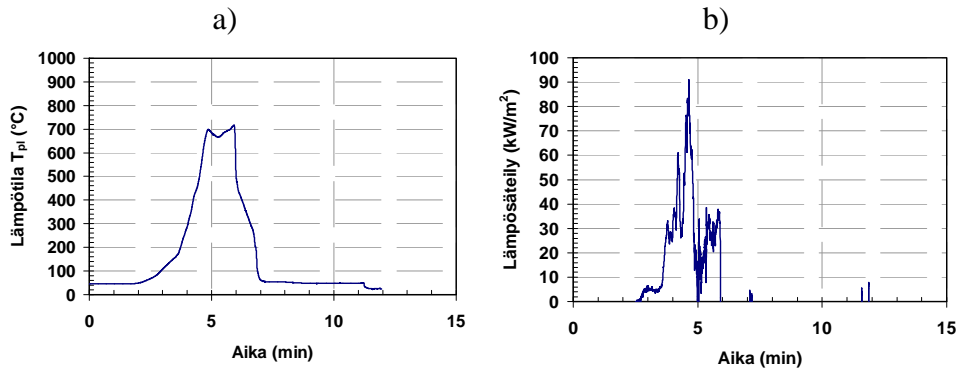
4. Tulokset



Kuva 45. Kaasupitoisuudet sammutushetkestä (1 min kohdalla) eteenpäin.

4.6.5 Lämpösäteily

Kokeen 6 lämpösäteilyarvot ovat keskimäärin 50 kW/m^2 – 60 kW/m^2 :n tasolla lukuun ottamatta hetkellistä piikkiä ennen sammutusta (kuva 46).



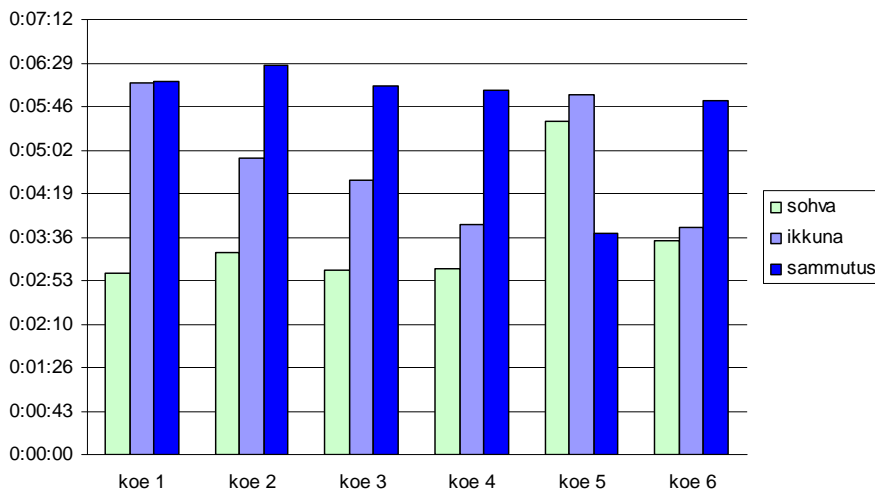
Kuva 46. Plate thermometer -anturilla mitattu a) lämpötila ja b) laskennallinen anturiin kohdistunut lämpösäteily.

5. Tulosten arviointi

5.1 Yleistä kokeiden kulusta

Palon syttyksen jälkeisen kehittymisen seuraamisen ja kokeiden toistettavuuden vertailun avuksi kirjattiin havainnoissa ajanhetket, jotka kuvaisivat palon alkuvaiheen leviämisenopeutta ja olosuhteiden kehittymistä palavassa huoneessa. Näitä voitiin käyttää yhdessä mitattujen lämpötilojen ja kaasupitoisuuksien kanssa arvioitaessa kokeen kulkua, sammutuksen tehokkuutta jne.

Kuvassa 47 on esitetty pylväin kokeiden välinen vertailu siitä, miten palon leviäminen (sohvan syttyminen) ja olosuhteiden kehitys (ikkunan rikkoutuminen) verrattuna sammutuksen alkuhetkeen ajallisesti sijoittui eri kokeissa.

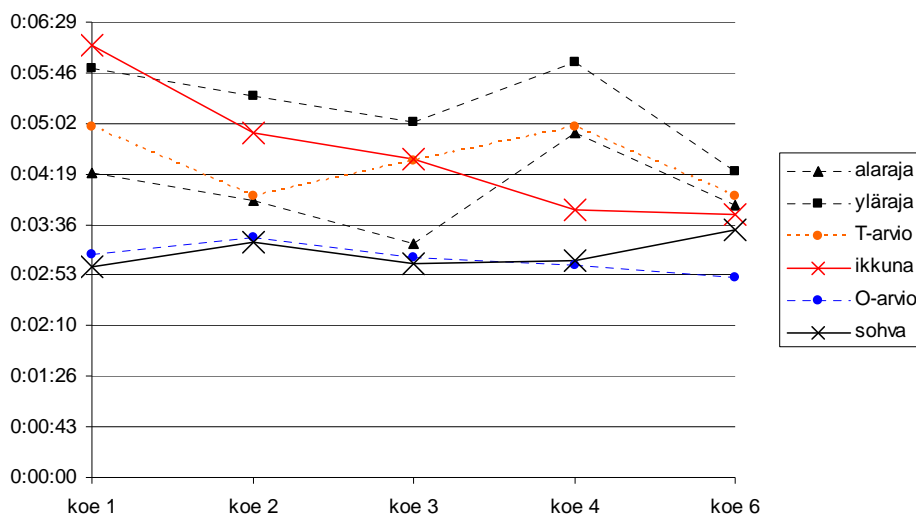


Kuva 47. Ajanhetket sohvan syttymiselle, ikkunan rikkoutumiselle ja sammutustoiminnan aloitukselle tehtyjen kokeiden osalta.

Sohvan syttyminen oli helppo havaita varsin luotettavasti ja oli ajallisesti selkeä hetki. Kuvasta voidaan havaita, että sohvan syttymisen hetki oli varsin samanlainen kaikissa kokeissa, lukuun ottamatta koetta 5, jossa kokeen kulku poikkesi muutenkin muista kokeista. Kokeessa 5 ei palavan tilan annettu lieskahtaa, vaan sammutustoimet aloitettiin aikaisemmin. Tässä kokeessa sohva syttyi vasta ensisijaisen (heittosammuttimen) sammutusyrityksen jälkeen.

Ikkunan rikkoutuminen, minkä voidaan olettaa vaikuttavan niin palon kehittymiseen kuin sammutustoimien tehoon, tapahtui varsin samanaikaisesti suhteessa sammutuksen aloitusajankohtaan. Tästä poikkeuksena on edellä mainittu koe 5 sekä ensimmäinen koe, jossa ikkuna rikkoutui todennäköisesti sammutuksen yhteydessä (suihkuputki).

Kuvassa 48 on aikapistein kuvattu kokeiden 1–4 ja 6 havainnot sohvan syttymisestä, ikkunan rikkoutumisesta sekä hetki, jolloin saatiin ilmoitus yleissyttymisen tapahtumisesta (O-arvio). Mustalla katkoviivalla on kuvattu ajallisia alaja yläraja-arvioita yleissyttymiselle videokuvan perusteella. Näiden katkoviivojen väliin jää aika, jolloin yleissytytymisen varmasti on tapahtunut. Kuvan T-arvio on lämpötilakäyrien avulla arvioitu yleissyttymisen ajankohta.



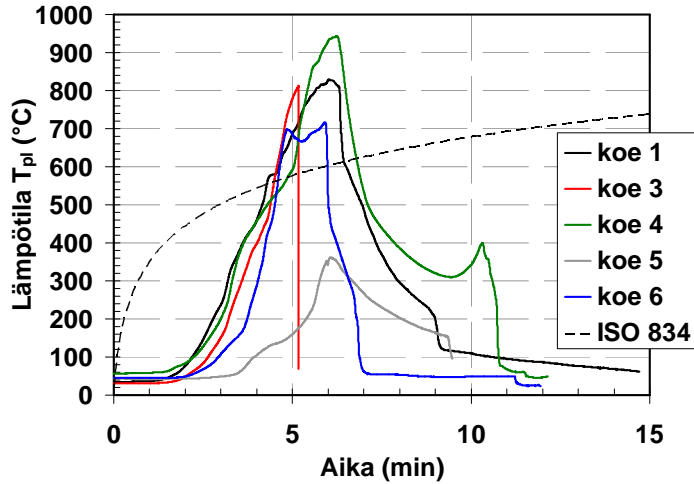
Kuva 48. Palotilan ajallisten havaintojen suhde yleissyttymisen arvioihin.

5.2 Kokeiden toistettavuus

Kaikkien kuuden polttokokeen huonetilan palokuorma oli samansuuruinen. Samoin sytytystapa ja syttymislähde (televisio) oli hyvällä tarkkuudella samanlainen. Koko huonetilan palon kannalta kasvuvaiheeseen vaikutti oleellisesti se, kuinka hyvin palava televisio levitti paloa kirjahyllyyn ja sitä kautta koko huone-tilaan. Kokeiden välillä syntyi luonnollisesti pieniä eroja, kun sanomalehtiä aseteltiin kirjahyllyyn ja television sisään (yksi kääre).

Kokeiden kasvuvaiheen samankaltaisuutta voidaan arvioida esimerkiksi PT-anturin näyttämän perusteella, joka ei ollut herkkä hetkellisille lämpötilamuutoksille suuremman massansa vuoksi. Kuvassa 49 esitetään PT-anturin lämpötilat kokeittain. Havaitaan, että ensimmäisen 5 minuutin aikana lämpötilan kasvu on ollut hyvin samanlaista kokeissa 1–4 ja 6. Kokeessa 5 kirjahyllyn syttyminen kesti kauemmin eikä ko. kokeessa huonetilaa tarkoituksellisesti saatettu lieskahdusvaiheeseen. Noin 5 minuutin kohdalla kuvaa 49 katsomalla voidaan karkeasti sanoa, että kaikki (pl. koe 5) lämpötilat leikkaavat n. 700 °C:n rajan. Vertailun vuoksi tämä lämpötila ko. ajanhetkellä on suurempi kuin esimerkiksi koemenetelmästandardin SFS-EN 1363-1:1999 (ISO 834) mukainen lämpötilaräskäykä. Kokeissa lämpötila ei alussa kuitenkaan nouse yhtä rajusti kuin lämpötilaräskäykä ISO 834.

Sammutusta varten kokeita seurattiin silmämääräisesti ja havainnoitiin huonetilan lieskahtamisvaihe. Tästä vaiheesta eteenpäin huonetilan annettiin vielä palaa 3 min, jonka jälkeen sammutus aloitettiin. Tällä 3 minuutin ajanjaksolla pyrittiin vähentämään silmämääräisen havainnoinnin tuomaa epävarmuutta ja toisaalta varmistettiin, että huonetilassa palo on täysin kehittynyt ennen sammutusvaihetta. Kuvasta 49 nähdään, että PT-anturilla mitatut huippuarvot poikkeavat toisistaan n. 700 °C–900 °C:n väliltä, mikä nähtiin aiemmin koekohtaisissa mittaustuloksissakin. Eli varsinkin kokeessa 4 lämpöäteilyrasitus on ollut suurempi kuin toisissa.



Kuva 49. Plate thermometer -anturilla mitatut lämpötilat eri kokeissa. Vertailuna koemenetelmästandardin SFS-EN 1363-1 (ISO 834) mukainen lämpötilarasiuskäyrä.

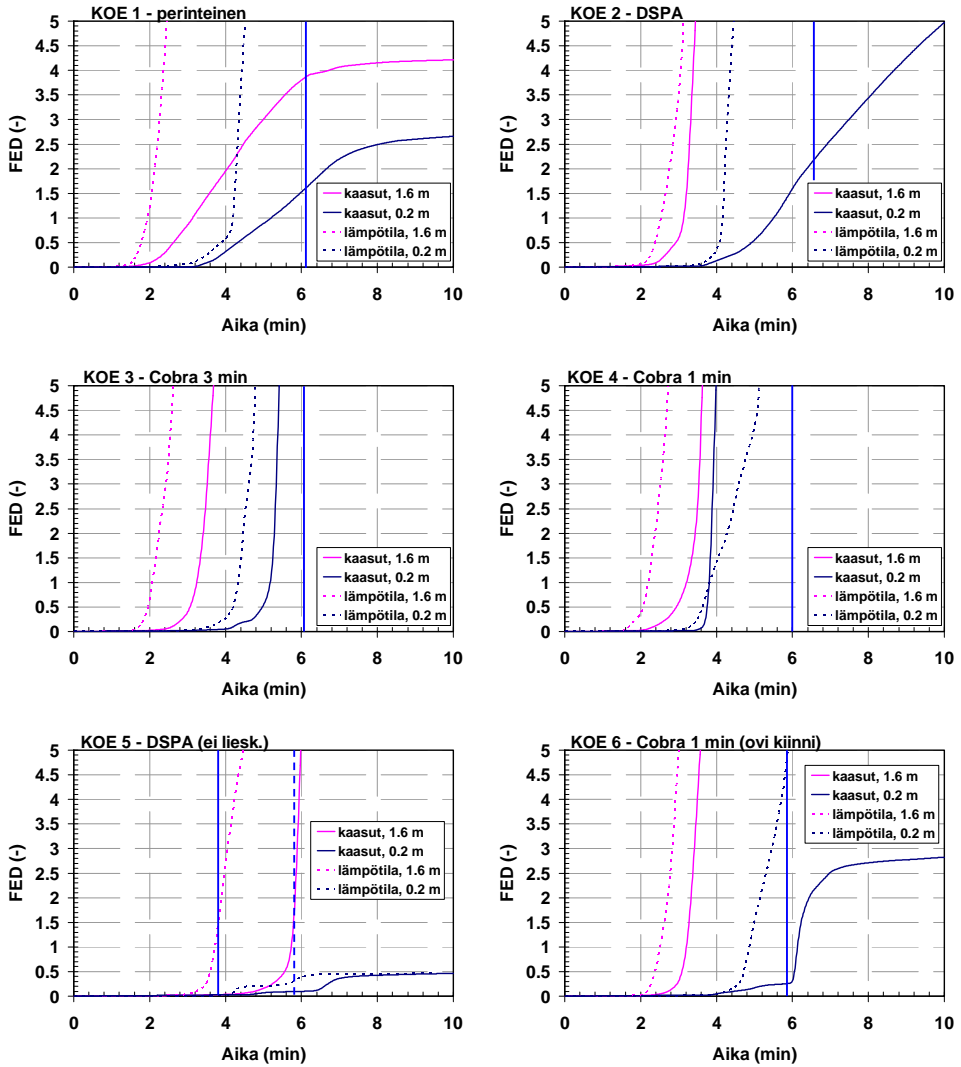
5.3 Kokeissa mitatut FED-arvot

Huonetilan olosuhteita pystyttiin kuvailemaan silmämääräisesti hyvin rajuiksi varsinkin 3 minuutin jakson aikana, jolloin huonetila oli täyden palamisen vaiheessa. Ainoastaan hapen saanti rajoitti paloa, jossa käytännössä kaikki pinnat, puulattia mukaan luettuna, paloivat.

Jos tarkastellaan tilannetta, jossa televisiosta alkunsa saanut palo olisi kokeiden kaltainen ja ihminen olisi samassa tilanteessa huoneen sisällä, voidaan Fractional Effective Dose (FED) (ISO 13571:2007) vasteen avulla arvioida ihmisen lamaanumista joko myrkyllisten tukahduttavien kaasujen tai lämpötilan (ja lämpösäteilyn) seurauksena. Poistumisen kannalta olosuhteet ovat haitalliset, kun $FED = 0.3$ ja arvolla $FED = 1$ oletetaan, että puolet altistuneista lamaanuu.

Kuvassa 50 esitetään kokeittain kaasupitoisuuksista (CO , CO_2 , HCN ja O_2) ja lämpötiloista (lämpösäteilyä ei mukana) lasketut FED-arvot korkeuksilla 1,6 m (seisova ihminen) ja 0,2 m (lattian rajassa oleva ihminen). Kuvaan 50 on piirretty lisäksi sinisillä pystyviivoilla sammutuksen ajankohdat (nollahetki on sytytys).

5. Tulosten arviointi



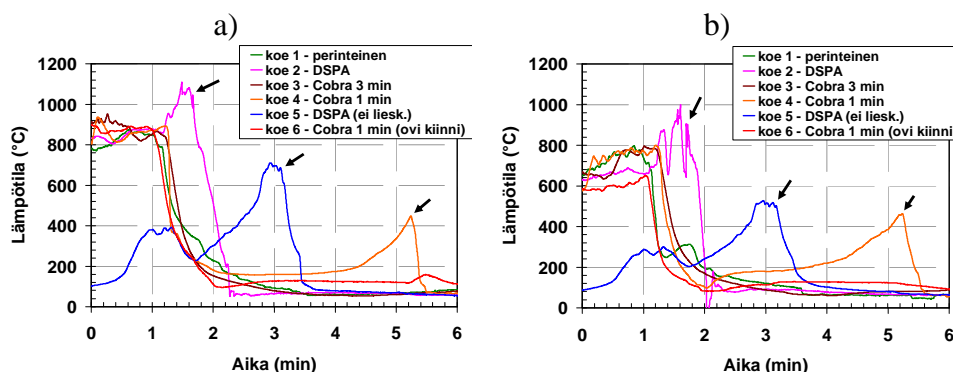
Kuva 50. Kokeissa 1–6 mitattujen kaasupitoisuuksien ja lämpötila-arvojen perusteella lasketut tajunnantason menettämiseen liittyvät FED-arvot (kaasupitoisuuksien aiheuttama tukahtuminen ja konvektiivinen lämpö) ajan funktiona. Sininen pystyviiva kuvaa sammutuksen ajanhetkeä (kokeessa 5 näkyvillä katkoviivalla myös suihkuputkella sammuttamisen).

Kuvasta 50 havaitaan, että olosuhteet huonetilan sisällä ovat n. 2–3 minuutin kuluessa sytytyksestä lamaanuttavat korkeammalta mitatussa lämpötilapisteessä. Tästä noin 1 min ja myös kaasupitoisuudet aiheuttavat lamaanutumisen (tukahtumisen) ylemmässä mittauspisteessä. Kun on kulunut n. 4–5 min, myös

alemman mittauspisteen lämpötilat ja kaasupitoisuudet ylittävät lomaantumisrajan $FED = 1$. Nämä kaikki tapahtumat ajoittuvat ennen varsinaista sammuttamista (n. 6 minuutin kohdalla ja sen jälkeen).

5.4 Arvio sammutusmenetelmien tehokkuudesta

Kuvassa 51 esitetään vasemman ja oikeanpuoleisten lämpötila-antureiden (korkeudet lattiasta 2,5 m, 1,6 m ja 0,2 m) keskiarvot ajan funktiona. Sammutus tapahtuu hetkellä 1 min kussakin kokeessa. Kaasun lämpötilojen osalta voidaan todeta, että sammutushetkellä lämpötilarasitus on ollut samankaltaista eri kokeiden välillä varsinkin huonetilan vasemmalla puolella (sytytyspäässä). Oikealla puolella esiintyy jonkin verran vaihtelua mittausarvoissa. Kuvista nähdään selkeästi, että kokeissa 2, 4 ja 5 tarvittiin myös suihkuputkella sammutusta varsinaisen primäärin sammutustavan jälkeen, muussa tapauksessa tila olisi jatkanut täyden palon vaihetta tai lieskahtanut uudestaan.



Kuva 51. Lämpötilojen keskiarvoaikasarjat kokeittain huonetilan a) vasemmassa ja b) oikeassa lämpötila-anturipuussa. Hetkellä 1 min aloitettu sammutus eri sammutusmenetelmillä ja kokeissa 2, 4 ja 6 nuolilla esitetty ajankohdat, jolloin sammutus suoritettu myös suihkuputkella.

5.4.1 Perinteinen sammutusmenetelmä

Pelkästään perinteisellä sammutusmenetelmällä eli suihkuputkella sammutettiin kokeessa 1. Muissa kokeissa suihkuputkea käytettiin myös varsinaisen primäärin sammutustavan jälkeen joko sammutettaessa näkyviä liekkejä tai jälkisammutuksessa. Huonegeometrian ja -koon pysyessä vakiona myös sammutusvesimää-

5. Tulosten arviointi

rät varsinaisen sammutusvaiheen osalta pysyivät suhteellisen muuttumattomina. Lattiapinta-alaltaan $12,6 \text{ m}^2$ ($2,8 \times 4,5 \text{ m}$) kokoisen huoneen sammutukseen käytettiin vettä kokeesta riippuen n. 50–60 litraa. Kokeissa 1 ja 5 jälkisammutukseen käytettiin vettä saman verran, kokeessa 3 n. 140 l ja kokeessa 4 lähes 350 l käyttäjistä riippuen. Huomattakoon, että kutakin sammutusparia ei ollut erikseen käsketty esim. käyttämään vettä säästeliäästi, vaan pari toimi tilanteessa niin kuin parhaaksi näki.

Sammutusmenetelmänä suihkuputki toimi oletettavan tehokkaasti, koska huonegeometria ei ollut erityisen suuri. Suihkuputkella voitiin myös varmistaa ja tukea tehokkaasti Cobran ja DSPA-heittosammutteen toimintaa.

5.4.2 DSPA-heittosammutin

Heittosammuttimen osalta havaittiin selvästi, ettei kokeissa käytetty sammutin sovellu koeasetelmaan, jossa huoneen ovi on auki ja voimakas palokaasujen ulosvirtaus oli läsnä eli palo oli täyden palamisen vaiheessa. Sammutin kykenee hidastamaan esim. lämpötilojen nousua sen ajan kuin sammutteen purkaus kestää, jos palo on alkuvaiheessa. Välittömästi purkauksen jälkeen tila on kyettävä sammuttamaan muulla tavalla.

DSPA-heittosammuttimesta voimakkaasti purkautuva aerosoli aiheuttaa virtauksia, joiden havaittiin paikallisesti nostavan lämpötiloja luultavasti sen vuoksi, koska tilaan (oven lähellä) virtasi hapekasta ilmaa.

5.4.3 Cobra

Cobra-kokeissa 3 minuutin sammutusajanjakso kykeni sammuttamaan huonetilan. Oven ollessa auki vesihöyryn määrä oli silmännähdn suuri ja ulottui kokonaan kokeenpuoleisen rakennuksen siipeen. Vesihöyry heikentää näkyvyyttä ja haittaa myös muiden pelastushenkilöiden työtä. Lyhentämällä sammutusaikaa 1 minuuttiin havaittiin, että palo olisi kehittynyt uudestaan ja johtanut tilan lieskahtamiseen. Lopulta sulkemalla oviaukko kokeessa 6 saavutettiin 1 minuutin sammutusajalla haluttu lopputulos eli tilan sammuminen, joka ei johtunut esim. hapenpuutteesta.

Cobran vesimäärät olivat luokkaa 50 litraa per minuutti, joten palon sammumisen kannalta vesimäärät olivat kutakuinkin samaa tasoa kuin perinteisessä sammutustavassa. Mikäli sammutetaan kokeiden mukaista huonetilaa oven ollessa suljettu, palo saadaan haltuun n. 50 litralla sammutusvettä, mutta oven ollessa auki vettä kuluu n. 2–3 kertaa enemmän.

6. Yhteenveto

Tässä raportissa esitetään tutkimustuloksia yksittäisen palavan huonetilan sammutuksesta eri menetelmin. Kokeita suoritettiin kaikkiaan 6 kpl. Sammutustapoina käytettiin perinteistä sammutusmenetelmää yhdellä 2 tuuman työjohdolla, DSPA-heittosammutinta ja Cobra-sammutinleikkuria. Yksittäiset huoneet sisustettiin käyttämällä pääosin puupohjaisia huonekaluja, joissa syttymislähteenä käytettiin televisiota. Polttokokeiden paloteknisissä mittauksissa huoneiden sisälle asennettiin lämpötila- ja lämpösäteilyantureita. Tämän lisäksi huonetilasta imettiin kokeiden aikana kaasunäytteitä, joista voitiin analysoida tyypilliset kaasukomponentit (CO, CO₂, O₂ ja HCN). Sammutusmenetelmiin liittyvät mittaukset olivat mm. sammutusveden määrä, virtaama ja paine. Loppuosassa on tulosten pohjalta analysoitu sammutuksen onnistumista eri sammutusmenetelmillä.

Kokeet toistuivat hyvin ja kaikissa kokeissa tila saatiin lieskahtamaan noin 3 minuutin kuluessa sytytyksestä. Yhdessä kokeessa sammutus aloitettiin ennen yleissyttymistä. Kaasupitoisuuksista lasketut FED-arvot osoittivat, että lamaan-tumisen aiheuttavat olosuhteet (myrkylliset kaasut ja lämpötila) tilassa olivat läsnä 2–3 min sytytyksen jälkeen.

Sammutuskokeiden perusteella näyttää siltä, että koetilan mukaisen palon sammumiseen tarvittava vesimäärä suihkuputkella ja Cobra-sammutinleikkurilla on alaraja-arviona n. 50 litraa (käytetylle lattiapinta-alalle n. 4 mm). Cobran sammutustavassa oletetaan huoneen oven olevan kiinni. DSPA-heittosammuttimella kokeiltiin ainoastaan tilanteita, joissa huonetilan ovi oli auki. Näissä kokeissa DSPA-sammuttimella ei kyetty sammuttamaan paloa. Ovi auki -tilanteessa myös Cobralla sammuttamiseen tarvitaan 2–3 kertainen vesimäärä. Huonetilan palokuorma oli n. 275 MJ/m² ja laskennallinen maksimipaloteho aukkotekijät huomioon ottaen oli n. 4 MW.

Cobran ja perinteisen sammutustavan välillä koetulosten valossa ei suurta eroa havaittu. Cobran kannalta keskeistä on mahdolliset aukot, joita pitkin vesisumu

6. Yhteenveto

karkaa ja sammutusvaikutus heikkenee. Työturvallisuuteen vaikuttavat oleellisesti vesihöyryn aiheuttama näkyvyyden heikkeneminen hyvin suuressa osassa rakennusta ja suojaetäisyydet rakenteita läpäisevän vesisuihkun edessä ja sivuilla.

Perinteisessä sammutustavassa sammutuksen ensivaikute näkyvien liekkien ja pintojen kastelun osalta oli veden kulutuksen kannalta samaa suuruusluokkaa kuin Cobrassa. Jälkisammutuksessa voidaan kuluttaa nopeastikin samainen vesimäärä kuin varsinaisessa sammutusvaiheessa.

Lähdeluettelo

- Aalto, E. 2007. Palava tila jäähtyy nopeasti ulkoapäin. Pelastustieto, 9/2007. s. 22–25.
- Alho, R. 1988. Sammutustekniikka. 5. painos. Helsinki: Suomen Palontorjuntaliitto. 197 s.
- Anon. 2010. Pelastustoimen taskutilasto 2005–2009. Pelastusopiston julkaisu D-sarja: Muut 2/2010. Saatavilla osoitteesta:
[http://www.intermin.fi/pelastus/images.nsf/files/496A8AE7FD8A32FBC225774600377262/\\$file/Pelastustoimen%20taskutilasto2005-2009.pdf](http://www.intermin.fi/pelastus/images.nsf/files/496A8AE7FD8A32FBC225774600377262/$file/Pelastustoimen%20taskutilasto2005-2009.pdf)
- DSPA-5 käyttöohje. 2007. Kääntänyt T. Rimpiläinen. Pelastusopisto. Kuopio. 2009.
- Holmsted 1999. An assessment of the cutting extinguisher advantages and limitations. BR99036/GH. http://www.ccs-cobra.com/pdf/COBRARAPPORT_LUND.PDF
- Howard, P. & Osborn, J. 2009. Bespoke Fire Testing of Dry Sprinkler Powder Aerosol hand held fire fighting system. Chiltern International Fire Ltd. Report FEW/F09005 (Confidential). 11 s.
- Hyttinen, V., Tolonen, P. & Väisänen, T. 2008. Palofysiikka. 3.painos. Suomen Pelastusalan keskusjärjestö. 290 s.
- Häggkvist, A. 2009. The Plate Thermometer as a Mean of Calculating Incident Heat Radiation – A practical and theoretical study. Luleå University of Technology. 96 s.
- Ingason, H. & Wickström, U. 2007. Measuring incident radiant heat flux using plate thermometer. Fire Safety Journal, Vol. 42, s. 161–166.
- ISO 13571:2007. Life-threatening components of fire – Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data.
- Jäntti, J., Loponen, T. & Miettinen, P. 2009. Selvitys vaihtoehtoisten sammutusmenetelmien COBRA ja DSPA soveltuvuudesta huoneistopalon sammuttamiseen. Sammutuskokeiden tulokset Pelastusopiston testausympäristössä 2009. Pelastusopiston julkaisu, B-sarja: Tutkimusraportit 4/2009.
- Karlsson, B. & Quintiere, J. 2000. Enclosure Fire Dynamics. Boca Raton: CRC Press LLC. 315 s.
- SFS-EN 1363-1:1999. Palonkestävyydestit. Osa 1: Yleiset vaatimukset.
- Tilastokeskus. 2010. http://www.stat.fi/til/rakke/2009/rakke_2009_2010-05-28_tau_001_fi.html

Tekijä(t) Tuomo Rinne, Peter Grönberg, Ville Heikura & Timo Lopenen		
Nimeke Huoneistopalon sammutus vaihtoehtoisilla sammutusmenetelmillä		
Tiivistelmä <p>Reportissa esitetään tuloksia yhden huonetilan sammutuskokeista käyttämällä operatiivisen palon- torjunnan perinteistä ja vaihtoehtoisia sammutusmenetelmiä. Sammutusmenetelminä käytettiin suihkuputkea (perinteinen), Cobra-sammutinleikkuria ja DSPA-heittosammutinta. Kokeita tehtiin kuusi, joista viidessä huonetila oli yleissyttynyt. Palokuormana käytettiin pääasiassa lastulevyistä valmistettuja huonekaluja. Huonetila oli instrumentoitu kaasun lämpötila- ja lämpösäteilyantureilla sekä jatkuvatoimisella kaasumittauslinjastolla. Sammutustapahtumia monitoroitiin videokuvien li- säksi sammutusvesilinjastoon liitettyjen paine- ja virtaamamittareiden avulla.</p> <p>Sammutuksen onnistuminen ja käytetyn veden määrä käytetyllä koegeometrialla riippuivat vah- vasti siitä, oliko huonetila suljettu vai avonainen (ts. oliko ovi auki vai kiinni). Suihkuputkella ja Cob- ra-sammutinleikkurilla huonetila (n. 12 m²) kyettiin sammuttamaan varsinaisessa sammutusvai- heessa n. 50 litralla vettä. Tähän verrattuna jälkisammutukseen käytetty vesimäärä oli moninkertai- nen. DSPA-heittosammutin ei kyennyt sammuttamaan palon kehitysvaiheessa olevaa ja yleissyt- tynyttä avonaista huonetilaa. Henkilöturvallisuuden kannalta huonetilassa vallitsivat lamaannuttavat olosuhteet n. 2–3 minuutin kohdalla sytytyksestä.</p>		
ISBN 978-951-38-7688-3 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Projektinnumero
Julkaisu-aika Helmikuu 2011	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivu- ja 80 s.
Projektin nimi		Toimeksiantaja(t)
Avainsanat Dry Sprinkler Powder Aerosol, CCS Cobra, fire fighting, enclosure fire, flash over, toxic gases, emissions, fire load		Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4520 Faksi 020 722 4374

Author(s) Tuomo Rinne, Peter Grönberg, Ville Heikura & Timo Loponen		
Title Apartment fire fighting using alternative extinguishing methods		
Abstract <p>The report presents results of extinguishing tests of single room enclosure fires with the goal of comparing the effectiveness of a traditional operative fire fighting method with alternative extinguishing methods. The methods included using a spray/fog nozzle attached to the attack hose (traditional fire fighting attack), Cobra cutting and extinguishing system and DSPA suppression device (Dry Sprinkler Powder Aerosol extinguishing system i.e. aerosol fire suppression "grenade"). Six fire tests were performed. In five of these the fire was fully developed (enclosure fire flash over). The fire load consisted mainly of furniture constructed of wood chipboard. The room enclosure had gas temperature and heat radiation sensors and a continuous gas sampling line. The fire extinguishing activities were monitored with video cameras and the extinguishing water supply line had transducers for water pressure and water flow measurements.</p> <p>The success/efficiency of the extinguishment and the amount of water needed in this test geometry depended strongly on whether the room enclosure was open or closed (e.g. whether the door opening of the room was open or closed). With a traditional spray nozzle and the Cobra cutting and extinguishing system the approx. 12 m² room enclosure fire could be extinguished by using roughly 50 litres of water. Compared to this primary fire control phase, the amount of water used in the later damping-down and clearance phase was multiple. The DSPA suppression device was not able to extinguish a growing or a fully developed open enclosure fire. The conditions within the room enclosure were incapacitating for humans within 2–3 minutes of the ignition of the fire.</p>		
ISBN 978-951-38-7688-3 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Series title and ISSN VTT Publications 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Project number
Date February 2011	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 80 p.
Name of project		Commissioned by
Keywords Dry Sprinkler Powder Aerosol, CCS Cobra, fire fighting, enclosure fire, flash over, toxic gases, emissions, fire load		Publisher VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4520 Fax +358 20 722 4374

VTT Tiedotteita – Research Notes

- 2554 Mikko Malmivuo & Juha Luoma. Talvirenkaiden kunnan kehittyminen 2001–2010. 2010. 41 s. + liitt. 11 s.
- 2555 Anu Tuominen, Heidi Auvinen, Heikki Kanner & Toni Ahlqvist. Liikennejärjestelmän visiot 2100. Esiselvitys. 2010. 41 s. + liitt. 11 s.
- 2556 Sebastian Teir, Jens Hetland, Erik Lindeberg, Asbjørn Torvanger, Katarina Buhr, Tiina Koljonen, Jenny Gode, Kristin Onarheim, Andreas Tjernshaugen, Antti Arasto, Marcus Liljeberg, Antti Lehtilä, Lauri Kujanpää & Matti Nieminen. Potential for carbon capture and storage (CCS) in the Nordic region. 2010. 188 p. + app. 28 p.
- 2557 Veli-Pekka Kallberg. Linja-autojen paloturvallisuus Suomessa 2000–2009. 2010. 34 s. + liitt. 9 s.
- 2558 Ali Harlin & Minna Vikman (eds.). Developments in advanced biocomposites. 2010. 94 p.
- 2559 Anna Leinonen & Sirkku Kivisaari. Nanotechnology perceptions. Literature review on media coverage, public opinion and NGO perspectives. 2010. 55 p. + app. 1 p.
- 2560 Hanna Pihkola, Minna Nors, Marjukka Kujanpää, Tuomas Helin, Merja Kariniemi, Tiina Pajula, Helena Dahlbo & Sirkka Koskela. Carbon footprint and environmental impacts of print products from cradle to grave. Results from the LEADER project (Part 1). 2010. 208 p. + app. 35 p.
- 2561 Hanna Pihkola, Maija Federley, Minna Nors, Helena Dahlbo, Sirkka Koskela & Timo Jouttijärvi. Communicating environmental impacts of print products. Results from the LEADER project (Part 2). 2010. 64 p. + app. 3 p.
- 2562 Tuomo Rinne, Kati Tillander & Peter Grönberg. Data collection and analysis of evacuation situations. 2010. 46 p. + app. 92 p.
- 2563 Marja-Leena Haavisto, Kaarin Ruuhilehto & Pia Oedewald. Rautateiden liikenteen-ohjaus ratatöiden aikana ja ratatöiden hallinta. 2010. 79 s. + liitt. 7 s.
- 2564 Juha Laitila, Arvo Leinonen, Martti Flyktman, Matti Virkkunen & Antti Asikainen. Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet. 2010. 144 s.
- 2565 Åsa Nystedt, Mari Sepponen, Seppo Teerimo, Johanna Nummelin, Mikko Virtanen & Pekka Lahti. EcoGrad. Ekotehokkaan kaupunkialueen toteuttaminen Pietarissa. 2010. 77 s. + liitt. 12 s.
- 2567 Tommi Kaartinen, Jutta Laine-Ylijoki, Auri Koivuhuhta, Tero Korhonen, Saija Luukkanen, Pekka Mörsky, Raisa Neitola, Henna Punkkinen & Margareta Wahlström. Pohjakuonan jalostus uusiomateriaaliksi. 2010. 98 s. + liitt. 8 s.
- 2569 Asko Talja. Ohjeita liikennetärinän arviointiin. 2011. 35 s. + liitt. 9 s.
- 2570 Tuomo Rinne, Peter Grönberg, Ville Heikura & Timo Lopenen. Huoneistopalon sammutus vaihtoehtoisilla sammutusmenetelmillä. 2011. 80 s.