



SAVONIA
AMMATTIKORKEAKOULU

Tekniikka

Palopäällystön koulutusohjelma

OPINNÄYTETYÖ

PELASTUSYKSIKÖN ENSITOIMENPITEITÄ TÄYDENTÄVÄT
SAMMUTUSMENETELMÄT

Tuomas Kuikka AMKN13

SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU - TEKNIikka, KUOPIO

Koulutusohjelma

Palopäälylystön koulutusohjelma

Tekijä

Tuomas Kuikka

Työn nimi

Pelastusyksikön ensitoimenpiteitä täydentävät sammutusmenetelmät

Työn laji

Päiväys

Sivumäärä

Opinnäytetyö

23.10.2018

77

Työn valvoja

Yrityksen yhdysenkilö

yliopettaja Ismo Huttu

tutkija Marko Hassinen

Yritys

Pelastusopisto

Tiivistelmä

Pelastusyksikön ensitoimenpiteitä täydentävät sammutusmenetelmät -opinnäytetyö on sekä tarkoitettu perinteisten sammutusmenetelmien tueksi tilanteisiin, joissa pelastusryhmän tehokasta pelastustoimintaa ei voida aloittaa kohteessa välittömästi. Osalla sammutusmenetelmistä tulipaloa voidaan rajoittaa tehokkaasti siihen saakka, kunnes pelastusryhmä täydentyy minimivahvuiseksi yksiköksi ja pelastustoiminnan suunnitteluohjeessa määritelty tehokas pelastustoiminta alkaa.

Opinnäytetyön tavoitteena oli siis tutkia eri sammutusmenetelmiä ja niiden käyttökelpoisuutta, luoda toiminta- ja selvitysmallit sekä ohjeet sammutusmenetelmien käyttöön. Opinnäytetyö rajattiin täydentävien menetelmien osalta sisältämään sammutusmenetelmistä jauheet, aerosolit ja korkeapainelaitteet ja painevaahdotteet. Pelastusyksikön ensitoimenpiteitä täydentävät sammutusmenetelmät on toiminnallinen opinnäytetyö, joka käsittelee eri sammutusmenetelmiä, tekniikoita sekä taktiikoita, joita voidaan käyttää erityyppisten tulipalojen tehokkaaseen rajoittamiseen ja sammuttamiseen.

Opinnäytetyössä käydään läpi nykyisin yleisesti käytössä olevat sammutustekniikat ja -taktiikat sekä menetelmät huoneistopalojen osalta sekä esitellään täydentävät menetelmät ja niiden käytön perusteet myös tekniikan ja taktiikan osalta. Opinnäytetyössä keskitytään täydentävien menetelmien käyttöön ja soveltamiseen huoneistopaloissa sekä sammutusmenetelmien sammutusmekaniikkaan ja -tekniikkaan sekä -taktiikkaan huoneistopaloissa. Pelastusyksikön ensitoimenpiteitä täydentävät sammutusmenetelmillä on tarkoitus parantaa sammutus- ja pelastustyön suorituskykyä sekä toimia työkaluna sammutustaktiikan ja tekniikan valitsemiseen.

Opinnäytetyö perustui suurelta osin Pelastusopistolla tehtyihin koepolttoihin ja selvitysmallitesteihin, joita tehtiin pelastusyksikön ensitoimenpiteitä täydentävät sammutusmenetelmät (PETS), Kodinkonepalot ja pelastusryhmän ensitoimenpiteisiin kuuluvat selvitykset sammutustehtävissä (PEKSS)-hankkeissa. Opinnäytetyö perustuu myös PETS-hankkeen koulutuskierroilla tehtyihin koepolttoihin ja demonstraatioihin sekä saatuihin palautteisiin koulutuskierroilta.

Avainsanat

aerosoli, CAFS, COBRA, HPS jauhe, korkeapainejärjestelmät, painevaahdotteet, PETS, täydentävät sammutusmenetelmät, UHPS

Luottamuksellisuus

julkinen

SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree Programme

Fire Officer (Engineer)

Author

Tuomas Kuikka

Title of Project

Fast and Agile Extinguishing Methods for Fire & Rescue First Response

Type of Project

Final Project

Date

23 Oct, 2018

Pages

77

Academic Supervisor

Mr Ismo Huttu, Senior Lecturer

Company Supervisor

Mr. Marko Hassinen, Research Scientist, Ph. D.

Company

Emergency Service College

Abstract

The thesis is intended to complement traditional extinguishing methods and support situations in which the rescue team's effective rescue operations can't be started immediately. In some extinguishing methods, the fire can be effectively limited until the rescue team is completed the minimum strength unit and the so-called effective rescue operation can be started. (Fast and Agile Extinguishing Methods for Fire & Rescue First Response means later in this thesis complementary extinguishing methods).

The aim of the thesis was to investigate the various extinguishing methods and their usefulness and create operation procedures to use of these complementary extinguishing methods. The thesis was limited to complementary methods to include extinguishing methods of powders, aerosols and high-pressure equipment and compressed air foam systems. This thesis handles the extinguishing methods that complements, the rescue unit's first measures dealing with various extinguishing methods, techniques and tactics that can be used to effectively limit and extinguish different types of fire.

The thesis presents the extinguishing techniques and tactics currently in use and the methods for dwellings fires. Also, this thesis introducing complementary methods and the basics of their use, including techniques and tactics in dwellings fires. Thus, the thesis focuses more on the use and application of complementary methods in apartment fires, as well as the extinguishing mechanics and techniques of extinguishing methods and the tactics used in apartment fires. Also, the thesis is meant to work as a tool to select extinguishing tactics and techniques.

The thesis is based mostly on the extinguishing experiments and tests, which were carried out in the Emergency Service Collage. The experiments and tests were carried out in Fast and Agile Extinguishing Methods for Fire & Rescue First Response (PETS), Household Appliances Fires and Fire & Rescue Team's First Measurements in Extinguishing Tasks (PEKSS) projects, and on the burn test and demonstration of the PETS project training tour and feedback received from the training tour.

Keywords

aerosols, compressed air foam systems (CAFS), high-pressure systems with cutting feature (COBRA), high-pressure systems, (HPS) (UHPS), PETS, powder, extinguishing methods,

Confidentiality

public

ALKUSANAT

Suuren kiitoksen haluan osoittaa kaikille pelastusyksikön ensitoimenpiteitä täydentävät sammutusmenetelmät (PETS) - hankkeen työryhmän jäsenille ja yhteistyökumppaneille sekä muuten mukana oleille henkilöille. Hanke ja syntynyt opinnäytetyö eivät olisi olleet mahdollista ilman Palosuojelurahaston taloudellista tukea eikä ilman yhteistyökumppaneiden tukea, joka mahdollisti erilaisiin menetelmiin ja laitteisiin tutustumisen sekä testaamisen.

Ennen kaikkea haluan kiittää Pelastusopiston tutkimus, - kehittämis ja innovaatiopalveluja mahdollisuudesta osallistua erittäin mielenkiintoisen ja pelastusalaa paljon eteenpäin vievään tutkimushankkeeseen. Lisäksi haluan kiittää Pelastusopiston harjoitusalueen ammattitaitoista väkeä, joka mahdollisti mahtavat puitteet hankkeelle sekä opinnäytetyön tekemiselle. Palopäällystöliittoa haluan kiittää hyvin organisoidusta ja opettavaisesta koulutuskiertueesta, jossa tulevaa opinnäytetyötä koeponnistettiin oikein urakalla. Tätä opinnäytetyötä on työstetty saadun palautteen perusteella.

Laitetoimittajia ja palokalustoliikkeitä haluan myös kiittää avokätisyydestä testattavien ja välineiden suhteen. Suuri kiitos kuuluu myös kaikille koulutuskiertueelle osallistuneille sekä erityisesti kaikille palautteen antajille. Materiaalia on viety eteenpäin saatujen palautteiden perusteella.

Erityisen suuri kiitos kuuluu opinnäytetyön ohjaajalle, yliopettaja Ismo Hutulle sekä hankkeessa mukana olleelle (emeritus) palomestari Arto Latvalalle, joiden näkemykset antoivat varmuutta opinnäytetyön tekemiseen, lisäksi haluan kiittää hankkeen projekti-päällikköä tutkija Marko Hassista. Ilman teitä opinnäytetyö ja oppimateriaali olisi jäänyt tekemättä! Mahtavaa oli työskennellä teidän kanssanne tässä hankkeessa, mutta kaikki kiva loppuu aikanaan!

Kuopiossa 23.10.2018 Tuomas Kuikka

SISÄLTÖ

MÄÄRITELMÄT JA KÄSITTEET	7
MERKINNÄT	8
1 JOHDANTO	9
2 PALAMISEN EDELLYTYKSET JA SAMMUTTAMISEN PERUSTEET	11
2.1 Palamisen edellytykset ja palaminen	11
2.2 Syttymisrajat ja palokaasujen syttyminen	14
2.3 Sammuttamisen perusteet	15
3 HUONEISTOPALOJEN DYNAMIIKKA	18
3.1 Huoneistopalojen vaiheet	18
3.2 Polttoainerajoitteinen huoneistopalo	20
3.3 Pinta-alarajoitteinen huoneistopalo	21
3.4 Happirajoitteinen huoneistopalo	22
3.4 Huoneistopalon paloteho	25
4 HUONEISTOPALOJEN TAVANOMAISET SAMMUTUSMENETELMÄT, SAMMUTUSTAKTIIKAT JA TEKNIIKAT	27
4.1 Suora sammutustekniikka	31
4.2 Epäsuora sammutustekniikka	31
4.3 Tavanomainen sammutustekniikka	34
4.4 Pienpisarasammutustekniikka	37

4.5 Ylipainesammutushyökkäys.....	39
4.6 Alipainesammutushyökkäys tekniikka.....	41
5 TÄYDENTÄVÄT SAMMUTUSMENETELMÄT	44
5.1 Aerosolisammutteet.....	44
5.2 Sammutusjauheet (jauheisku).....	51
5.3 Korkeapainesammutuslaitteet	56
5.3.1 Cobra - sammutinleikkuri	61
5.3.2 UHPS	63
6 RAKENNUSPALOJEN TAKTIikka.....	70
6.1 Rajoittava taktiikka.....	70
6.2 Hyökkäävä taktiikka.....	70
6.3 Rakennus ja huoneistopalojen taktiset yleisperiaatteet	71
7 TÄYDENTÄVIEN SAMMUTUSMENETELMIEN KÄYTETTÄVYYS.....	73
8 POHDINTA	75
LÄHTEET	76

MÄÄRITELMÄT JA KÄSITTEET

Aerosolisammute (Heittosammutin)

Kertakäyttöinen sammutin, jonka toiminta perustuu hienojakoisten alkali- ja alkalimetallihiukkasten muodostumiseen aerosolin muodostavan aineen palamisen yhteydessä. Aerosoli sisältää 70 % kaasua ja 30 % kiinteitä kaliumhiukkasia. Sammutusvaikutus on inhibiitio

Alipainesammutushyökkäys

Alipainesammutushyökkäys tekniikalla tarkoitetaan tässä opinnäytetyössä sammutustekniikkaa ja taktiikkaa, missä rajatun tilan palo, tuuletetaan miehittämättömän suihkuputken ja alipaineesta syntyvän virtauksen avulla

CAFS (Compressed Air Foam System)

Painevahtosammutuslaitteisto, jossa ilma sekoitetaan sammutuslaitteessa tai auton pumpussa valmiiksi vaahtoliuokseen (vesi + vaahtote + paineilma = CAF), CAF-sammute tunkeutuu palavaan aineeseen ja muodostaa sen pinnalle kuumuutta kestävän pysyvän eristävän ja jäähdyttävän vaahtotteen estäen pyrolyysin.

Jauheisku

Jauheiskulla tarkoitetaan tässä opinnäytetyössä joko jauhesammuttimella tai jauhepis-tosuihkuputken avulla tehtävää sammutusta

Korkeapainesammutuslaitteisto

On korkeapainesammutuslaitteisto, jonka tuottama paine on suurempi kuin 20 baaria ja syntyvä pisarakoko on pieni, luokkaa 0,08 mm. Korkeapainesammutuslaitteistojen letkustot ovat yleensä kelalla ja niiden toimintaetäisyys rajoittuu kelalla olevan työvaran mukaan. Korkeapainelaitteistoihin on mahdollista lisätä erilaisia työkaluja.

UHPS (Ultra-High Pressure Systems) tai HPS (High Pressure Systems)

Korkeapainesammutuslaitteisto, jossa suihkupaine 100 bar. Veden sekaan voidaan lisätä vaahtotetta.

Sammutinleikkuri

Korkeapainesammutuslaitteisto, jolla voidaan myös leikata ja läpäistä materiaalia, esimerkiksi COBRA, jossa suihkupaine on 300 bar ja veden sekaan lisätään abrasiivia (metallijauhetta) leikkaustehon lisäämiseksi.

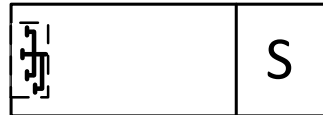
Ylipainesammutushyökkäys

Tässä opinnäytetyössä ylipainesammutushyökkäyksellä tarkoitetaan palotuuletusta

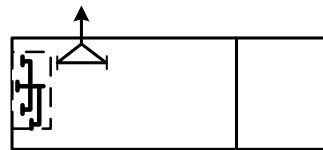
MERKINNÄT



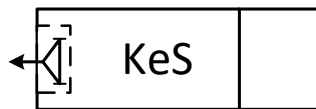
Sammutusauto



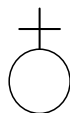
Säiliöauto



Sammutusauto letkukelalaitteella



Kevytsammutusauto letkukelalaitteella



Pelastusryhmän johtaja



Konemies tai kuljettaja



Ykkönen



Kakkonen



Paloalue

Paloalue ja palon
leviäminen

Kolmonen



Nelonen



Letkujohto ja suihkuputki



Kuiva letkujohto

Yhdistelmävaahdotputki/
(Vaahtosinko)

Välisekoitin



Savutuuletin



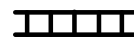
Vuorojakoliitin



Y-Liitin /haara/vuoroliitin



Oksaliitin



Tikkaat



Heittosammute

1 JOHDANTO

Pelastusyksikön ensitoimenpiteitä täydentävät sammutusmenetelmät-opinnäytetyö on tarkoitettu sekä perinteisten sammutusmenetelmien tueksi että tilanteisiin, joissa pelastusryhmän tehokasta pelastustoimintaa ei voida aloittaa kohteessa välittömästi. Osalla sammutusmenetelmistä tulipaloa voidaan rajoittaa tehokkaasti siihen saakka, kunnes pelastusryhmä täydentyy minimivahvuiseksi yksiköksi ja pelastustoiminnan suunnitteluohjeissa määritelty tehokas pelastustoiminta alkaa.

Pelastusyksikön ensitoimenpiteitä täydentävät sammutusmenetelmät on toiminnallinen opinnäytetyö. Työ käsittelee eri sammutusmenetelmiä, tekniikoita sekä taktiikoita, joita voidaan käyttää erityyppisten tulipalojen tehokkaaseen rajoittamiseen ja sammuttamiseen.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia eri sammutusmenetelmiä ja niiden käyttökelpoisuutta, luoda toiminta- ja selvitysmallit sekä ohjeet sammutusmenetelmien käyttöön. Opinnäytetyö on rajattu sisältämään täydentävistä sammutusmenetelmistä: jauheet, aerosolit ja korkeapainelaitteet ja painevaahdotteet.

Opinnäytetyössä käydään läpi yleisesti nykyisin käytössä olevat sammutustekniikat ja taktiikat sekä menetelmät huoneistopalojen osalta sekä esitellään täydentävät menetelmät ja niiden käytön perusteet myös tekniikan ja taktiikan osalta. Opinnäytetyössä keskitytään täydentävien menetelmien käyttöön ja soveltamiseen huoneistopaloissa. Lisäksi opinnäytetyössä perehdytään sammutusmenetelmiin, sammutusmekaniikkaan ja tekniikkaan sekä taktiikkaan huoneistopaloissa.

Opinnäytetyössä käydään ensin läpi palamisen ja sammuttamisen teoreettinen viitekehys, minkä jälkeen 3. luvussa käsitellään huoneistopalojen erilaisia ilmiötä. 4. luku käsittelee ja esittelee sammutusmenetelmät ja sen mihin käytössä olevat menetelmät perustuvat, lisäksi kolmas luku käsittelee huoneistopalojen tavanomaiset sammutustaktiikat ja tekniikat. Luku 4. käsittelee täydentäviä sammutusmenetelmiä ja niiden käyttöä huoneistopalojen sammutustehtävissä. 5. luku käsittelee rakennuspaloissa käytettävää taktiikka ja käytettävän taktiikan valintaan liittyviä asioita. Opinnäytetyön toiseksi viimeinen osa eli 7. luku vetää yhteen eri sammutusmenetelmien käytettävyyttä. 8. luku on pohdintaosuus,

jossa tarkastellaan opinnäytetyön tekemistä ja opinnäytetyön tavoitteiden saavuttamista sekä mahdollisia jatkokehitysideoita sekä reflektoidaan omaa oppimista.

Pelastusyksikön ensitoimenpiteitä täydentävien sammutusmenetelmien käyttö edellyttää käyttäjältään palamisen perusteiden ja palamismekaniikan tuntemista, sammuttamisen perusteiden tuntemista ja huoneistopalossa tapahtuvien ilmiöiden ymmärtämistä sekä eri sammutteiden ja sammutusmenetelmien toimintaperiaatteiden ymmärtämistä, aina suoritusasolta muodostelman johtajaan asti. Pelastusyksikön ensitoimenpiteitä täydentävillä sammutusmenetelmillä on tarkoitus lisätä pelastusyksikön suorituskykyä sekä toimia työkaluna sammutustaktiikan ja tekniikan valitsemiseen.

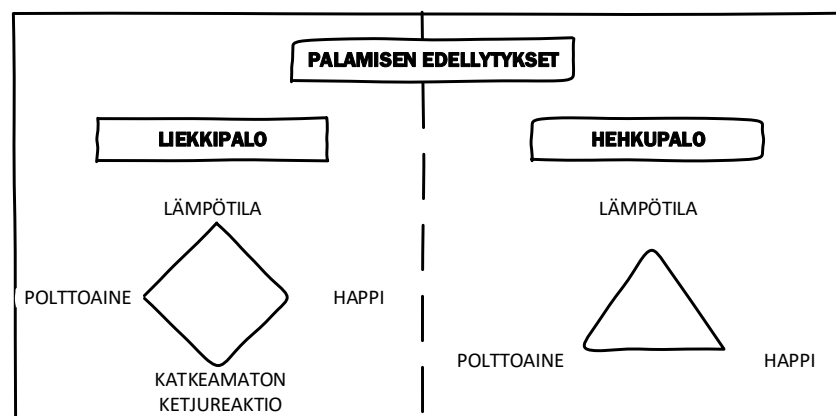
Opinnäytetyö perustuu suurelta osin Pelastusopistolla tehtyihin koepolttoihin ja selvitysmallitesteihin, joita tehtiin pelastusyksikön ensitoimenpiteitä täydentävät sammutusmenetelmät (PETS)-hankkeessa, Kodinkonepalot hankkeessa ja pelastusryhmän ensitoimenpiteisiin kuuluvat selvitykset sammutustehtävissä (PEKSS)-hankkeessa sekä PETS-hankkeen koulutuskierroilla tehtyihin koepolttoihin ja demonstraatioihin sekä saatuihin palautteisiin koulutuskierroilta.

2 PALAMISEN EDELLYTYKSET JA SAMMUTTAMISEN PERUSTEET

Tässä luvussa käydään läpi lyhyesti palamisen ja sammuttamisen perusteet. Luvun tarkoituksen on palauttaa mieleen palamiseen liittyvät erilaiset ilmiöt ja edellytykset. Lukuun on tiivistetty oleellinen tieto täydentävien sammutusmenetelmien käytön kannalta.

2.1 Palamisen edellytykset ja palaminen

Palaminen voidaan määritellä seuraavasti: Palaminen on ilmiö, jossa aine yhtyy happeen, siten että siitä syntyy korkea lämpötila ja valoilmiö. (Sanastokeskus TSK ry, 2006). Palaminen voidaan jakaa karkeasti kahteen perusilmiöön, liekehtivään paloon ja hehkupaloon. Kuvassa 1 on esitetty palamisen edellytykset liekki ja hehkupalossa.



Kuva 1 Palamisen perusedellytykset liekki- ja hehkupalossa mukailtu (Alho 1988, 27 - 29; Bengtsson 2001, ; Hyttinen, Tolonen;& Väisänen 2008, 17-18; Vaari 2004, 32)

Liekehtivän palamisen perusedellytyksiin kuuluu riittävä lämpötila, hapen saanti, palava aine ja katkeamaton ketjureaktio. Liekehtivässä palossa palaminen tapahtuu reaktiovyöhykkeellä, eli kaasuuntumiskohdassa ja kaasufaasissa. Aineen yhtyminen happeen eli palaminen tapahtuu samassa faasissa (kaasu - kaasu). (Quintiere 2017, 34-36; Vaari 2004, 32.)

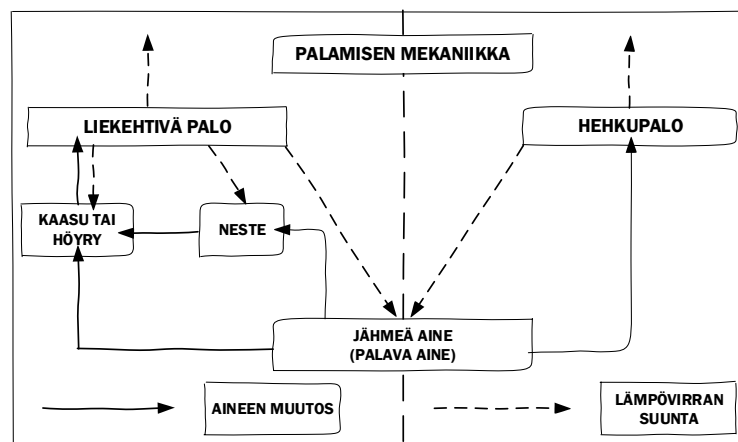
Hehkupalossa vastaavasti nämä edellytykset ovat riittävä lämpötila, polttoaine ja happi. Hehkupalossa palaminen tapahtuu suoraan palavan aineen pinnalla. Aineen yhtyminen

happeen eli palaminen tapahtuu eri faaseissa (kiinteä - kaasu). Jotta palaminen on ylipääntään mahdollista, on palamisen perusedellytysten oltava voimassa yhtä aikaa. (Quintiere 2017 34-36; Vaari 2004, 49.)

Riittävän korkea lämpötila on yksi palamisen perusedellytyksistä. Riittävän korkean lämpötilan vaikutuksesta syttyvästä jähmeästä aineesta pyrolysoituu (eli aineesta hajoaa kemiallisesti palavia höyryjä ja kaasuja lämmön vaikutuksella) syttyviä ja palavia kaasuja ja höyryjä. (Alho 1988, 33; Quintiere 2017 110-112; Vaari 2004, 32)

Toinen palamisen perusedellytyksistä on riittävä paloilmansaanti eli hapettuminen. Hapen osamäärän ollessa suuri palaminen tapahtuu nopeasti ja suurempi osamäärä happea nopeuttaa palamista sekä palaminen tapahtuu puhtaammin. Hapen osamäärän vastaavasti pienentyessä palaminen hidastuu ja epäpuhdasta palamista tapahtuu enemmän. Palamista liekillä tapahtuu happipitoisuuden ollessa yli 12 tilavuusprosenttia. Täydenpalon vaiheessa olevassa huoneistopalossa palamista tapahtuu myös viiden tilavuusprosentin pitoisuudessa. Tämä johtuu korkeasta lämpötilasta ja osittain hapettuneesta palamistuotteesta hiilimonoksidista CO (häkä), jota syntyy epätäydellisen palamisen välituotteena. (Hyttinen ym. 2008, 47; Quintiere 2017, & Vaari 2004)

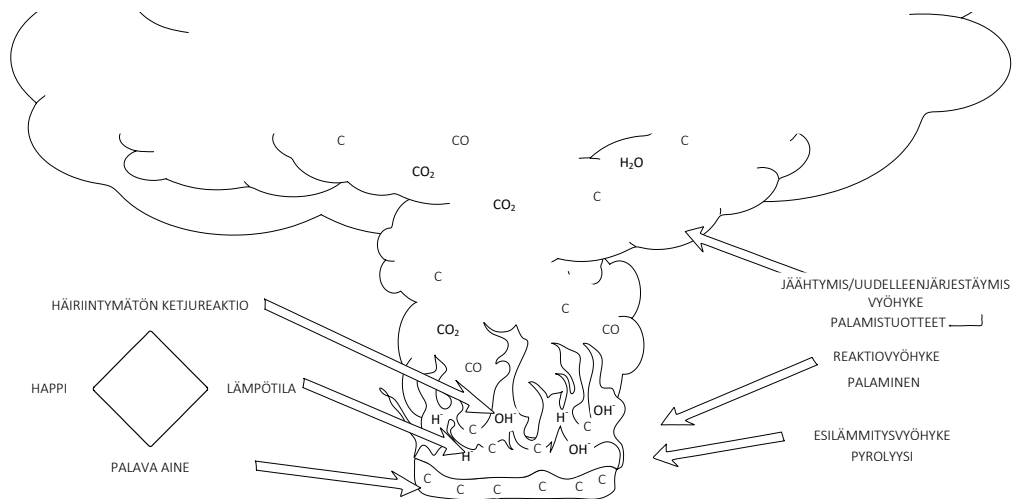
Palamisreaktio tarvitsee myös palavaa ainetta polttoaineeksi palamisreaktiolle. Polttoaine voi olla mikä tahansa palava aine, joka tuottaa palaessaan enemmän lämpöä kuin sen palamisreaktioon kuluu. Kuvassa 2 on esitetty palamisen mekaniikka ja se, miten aine muuttaa olomuotoaan lämpövirran vaikutuksesta.



Kuva 2 Kaaviossa on esitetty palamisen mekaniikka, kuvassa olevat nuolet kuvaavat lämpövirran suuntaa, mukailtu (Alho 1988, 33. Hyttinen ym. 2008, 20.)

Lämpövirran vaikutuksesta (lämpösäteilyn takaisinkytkennästä) palavasta jähmeästä aineesta hajooa kemiallisesti erilaisia syttymis- ja palamiskelpoisia kaasuja, höyryjä (pyrolyysituotteita) ja nesteitä. Nesteestä höyrystyy syttymis- ja palamiskelpoisia kaasuja ja höyryjä. Syntyvät kaasut ja höyryt palavat liekehtivänä palona. (Alho 1988; Hyttinen ym. 2008; Quintiere 2017, 110-112.)

Yksi liekehtivän palon perusedellytyksistä on häiriintymätön ketjureaktio. Ketjureaktiossa vapaat radikaalit, eli virittyneessä tilassa olevat atomit ja molekyylit yhtyvät reaktiovyöhykkeellä. Tämän ilmentymä on liekehtivä palaminen, jossa syntyy lämpöä. Kuvassa 3 on kuvattu liekehtivän palon prosessi ja mekaniikka sekä liekehtivän palon edellytykset.



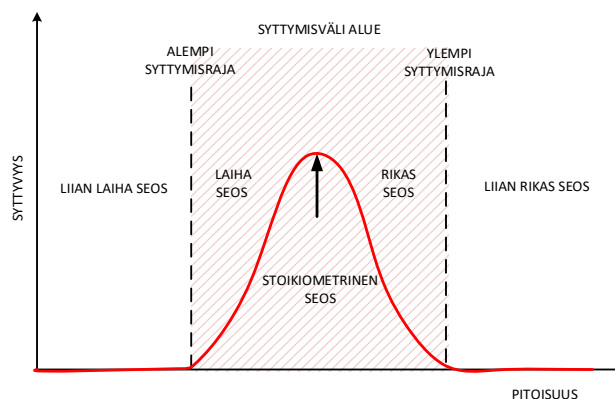
Kuva 3 Liekehtivän palon prosessi ja liekehtivän palon perusedellytykset mukailtu (Alho 1988, 35 -36; Hyttinen ym. 2008, 15-16.)

Liekehtivä palon prosessista voidaan havaita kolme päävyöhykettä: esilämmitysvyöhyke, reaktiovyöhyke sekä jäähtymis- ja uudelleen järjestäytymisvyöhyke. Esilämmitysvyöhykkeessä tapahtuvat pyrolyysi ja höyrystyminen, jonka seurauksena syntyy syttymiskelpoisia kaasuja ja höyryjä. Hapettumisreaktiot alkavat myös tässä vyöhykkeessä. Reaktiovyöhykkeessä lämpötila on riittävän korkea hapettumisreaktiolle eli palamistahtumalle. Tässä vyöhykkeessä on suurin määrä liekipalolle ominaisia vapaita radikaaleja. Jäähtymis- ja uudelleen järjestäytymisvyöhykkeessä kaasumaiset palamistuotteet jäähtyvät ympäristön lämpötilaan muodostaen näkyvän savun. (Alho 1988, 35- 36 & Hyttinen ym. 2008 15 - 16)

Savu on aerosolimuotoinen palamistuote, joka koostuu palokaasuista, hiukkasmaisista palamistuotteista ja pienistä pisaroista. Savu pitää sisällään hiilidioksidia (CO_2), hiilimonoksidia (CO), noki- ja savupartikkeleita (C), sekä vedyn palamistuotetta vettä (H_2O). Lisäksi syntyvä savu voi pitää sisällään myös syaanivetyä (HCN), kloorivetyä (HCl) sekä typen oksideja (NO_x). (Alho 1988, 58-60; Bengtsson 2001, 44-45; Hyttinen ym. 2008, 53-55; Quintiere 2017, 244-245).

2.2 Syttymisrajat ja palokaasujen syttyminen

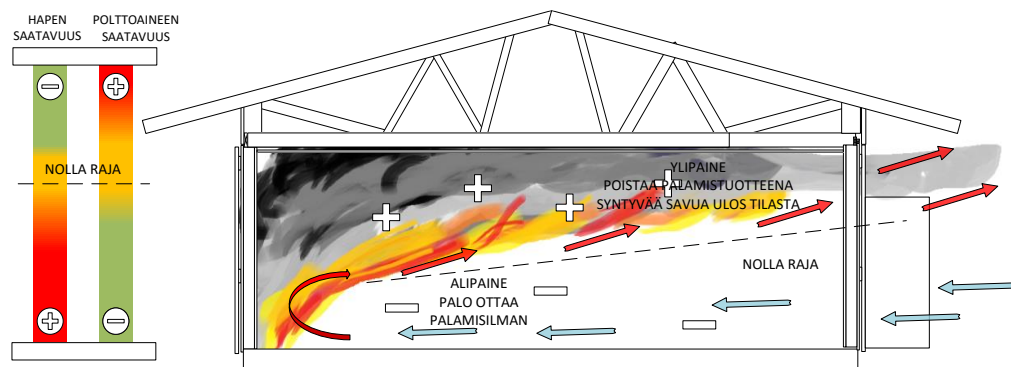
Kuvassa 4 on esitetty syttymisrajat pitoisuuden ja syttyvyyden mukaan. Syttyminen tapahtuu syttymisvälialueella eli alemman ja ylemmän syttymisrajan sisällä. Palokaasujen palaminen tapahtuu siis syttymisvälialueella.



Kuva 4 Syttymisrajat kuvattuna pitoisuuden ja syttyvyyden mukaan, syttyminen ja palaminen ovat vain mahdollista syttymisväli alueella. mukailtu (Alho 1988, 53-58; Bengtsson 2001 54-56; Hyttinen ym. 2008, 38-39)

Laiha seos sijaitsee alemman syttymisrajan ja stoikiometrisen seoksen välissä. Laihalle seokselle on tyypillistä, että osa hapesta jää palatta. Rikas seos sijaitsee stoikiometrisen seoksen ja ylemmän syttymisrajan välissä. Liian laiha seos sijaitsee alemman syttymisrajan alapuolella ja liian rikas seos sijaitsee ylemmän syttymisrajan yläpuolella. Nämä seokset eivät ole syttymiskelpoisia.

Savukaasujen syttyminen ja palaminen ovat riippuvaisia palonvaiheesta ja mahdollisia nollarajan tuntumassa, jossa seos on syttymisvälialueella. Nollarajan ilmentymänä on savukaasupatja alareuna, jossa ilman sekoittuminen tapahtuu. Savukaasupatjan yläosassa on paljon syttymiskelpoisia kuumia savukaasuja mutta hapen osuus on liian pieni palamisen käynnistymiseen (liian rikas seos). Nollarajan alapuolella on vastaavasti saatavilla liian vähän palamiseen tarvittavaa polttoainetta, hapen osuuden ollessa suuri (liian laiha seos). Kuvassa 5 vasemmalla on esitetty hapen ja polttoaineen saatavuutta nollarajan ylä- ja alapuolella.



Kuva 5 Vasemmalla olevat pylväät esittävät polttoaineen ja ilman suhdetta nollarajan ylä- ja alapuolella. Kuvassa oikealla on esitetty nollaraja ja paineolosuhteet sekä virtaukset huoneistopalossa mukailtu (Bengtsson 2001, 39-54).

Nollarajalla tarkoitetaan myös aluetta yli- ja alipaineen välissä, jossa paineolot ovat normaalit verrattuna vallitsevaan ilmanpaineeseen. Huoneistopalossa huoneen yläosassa vallitsee ylipaine ja huoneen alaosassa vallitsee alipaine ulkoilmaan verrattuna. Palo ottaa palamisilman alipaineen puolelta. Nollaraja ja paineolosuhteet ennen lieskahdusta voidaan kuvata kuvan 5 oikean puolen mukaan. (Bengtsson 2001, 72; Karlsson & Quintiere 1999, 196 - 220).

2.3 Sammuttamisen perusteet

Sammuttaminen on palamisen edellytysten poistamista. Liekkipalon palamisen edellytykset ovat riittävä lämpötila, polttoaine (palava aine) ja happi sekä katkeamaton ketjureaktio. Vastaavasti hehkupalon edellytykset ovat riittävä lämpötila, polttoaine ja happi.

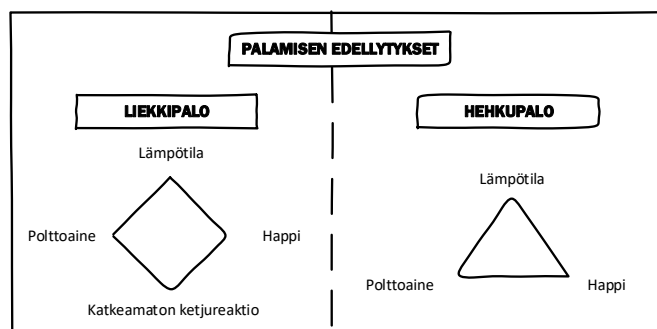
Yhden palamisen perusedellytyksen poistaminen aiheuttaa palamisen päättymisen. Mitä useampaan palamisen edellytykseen vaikutetaan, sitä nopeammin palo sammuu.

Sammuttaminen jaetaan neljään menetelmään, jotka saavat nimensä sen mukaan, mitä ja miten palamisen perusedellytystä ollaan poistamassa. Nämä menetelmät ovat jäähdytys, tukahdutus ja sammutusraivaus sekä inhibitio.

- lämpötilan alentaminen → jäähdytys
- happi pitoisuuden pienentäminen → tukahdutus
- palavan aineen (polttoaineen) poistaminen → raivaus
- katkeamaton ketjureaktio hidastaminen ja → inhibitio.

(Alho 1988, 89-90; Hyttinen ym. 2008, 17-19; Vaari, 2004, 32.)

Kuvassa 6 on esitetty palamisen edellytykset liekki ja hehkupalossa, sammuttaminen on näiden perusedellytysten poistamista.



Kuva 6 Liekki ja hehkupalon palamisen edellytykset, sammuttaminen on näiden perusedellytysten poistaminen mukailtu (Alho 1988, 89-90; Hyttinen ym. 2008, 17-19; Vaari 2004, 32).

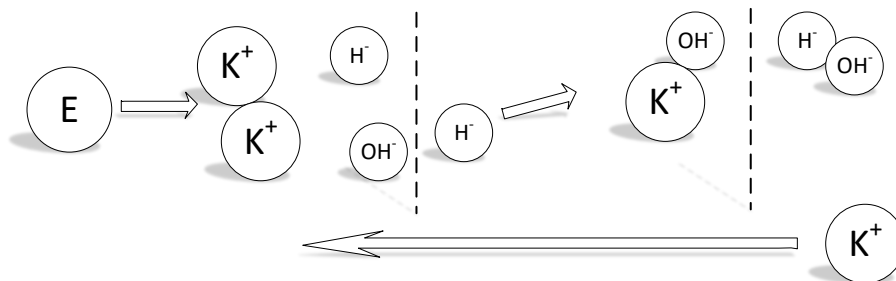
Jäähdyttäminen on lämpötilan alentamista alle palavan aineen syttymis- tai leimahduspistettä. Jäähdyttämistä voidaan tarkastella lämmön sitomisen, tasoittumiseen, siirtymisen estämiseen sekä savun ja lämmön poiston avulla. Jäähdyttämisellä pyritään katkaisemaan pyrolyysi ja höyrystymistapahtuma, sekä vaikuttamaan itse liekkiin ja savukaasupatjaan jolloin lämpövirta savukaasupatjassa tasoittuu ja heikkenee. (Alho 1988 92-95, Hyttinen ym. 2008, 84-88; Vaari 2004, 20-21.)

Tukahdutusella tarkoitetaan happipitoisuuden muuttamista palon ympäristössä palolle epäedullisempaan suuntaan niin, ettei palamistapahtuma ole enää mahdollinen. Palavan

aineen eristäminen ilmasta ja inertointi ovat tukahdutustapoja. Muuttamalla happipitoisuutta tilavuus suhteessa alaspäin palon nopeus hidastuu ja liekki palo sammuu. Hehkuen palavat materiaalit pystyvät jatkamaan paloa alle 12 tilavuusprosentin happipitoisuudessa. Inertoinnilla tarkoitetaan happipitoisuuden muuttamista kemiallisesti reagoimattomalla kaasulla tai yhdisteellä. Vesihöyry (H_2O) [G] on esimerkki inerttikaasusta, jolla on tukahduttava sammutusvaikutus. Vesihöyryn tukahduttava sammuttava pitoisuus tilassa on 35 tilavuusprosenttia. (Alho 1988, 96 -99, Hyttinen ym. 2008, 88-91)

Sammutusraivauksella tarkoitetaan palon rajoittamista ja sammuttamista poistamalla palavaa ainetta palokohteesta ja sen ympäristöstä ja sitä kautta muuttamaan palo polttoaine rajoitteiseksi paloksi. Sammutusraivauksella pyritään vähentämään palotapahtumaan osallistuvan palokuorman määrää ja sitä kautta vähentämään myös lämmön takaisinkyntä. Sammutusraivaukseksi voidaan tulkita myös palavien ja syttymiskelpoisten palo-kaasujen raivaus palotilasta, esimerkiksi ylipaine ja alipaine sammutushyökkäyksen aikana. (Alho 1988, 99-100; Hyttinen ym. 2008 92-93)

Inhibitiolla tarkoitetaan liekkipalon ketjureaktio hidastamista ja katkaisemista liekkipalon alueella. Kuvassa 7 on esitetty inhibiittorin toimintaperiaate. Liekkipalon ketjureaktioissa syntyvät (O^\cdot , H^\cdot , OH^\cdot) ionit, sidotaan sopivilla inhibiittoreilla, alkalimetalleilla tai halogeeneilla kuten natrium, kalium, fluori ja bromi radikaaleilla (Na^+ , K^+ , F^+ ja Br^+). Inhibition seurauksena syntyy välivaiheiden kautta myös vettä ja inhibiittori palaa uudelleen kierto. Esimerkiksi eri ABC ja BC-sammutusjauheilla inhibiittorisia vaikutuksia, kun alkalimetalli tai halogeeni molekyyli hajoaa lämmön vaikutuksesta. (Alho 1988, 101 -102; Hyttinen ym. 2008, 94-95; Vaari, 2004, 28-32.)



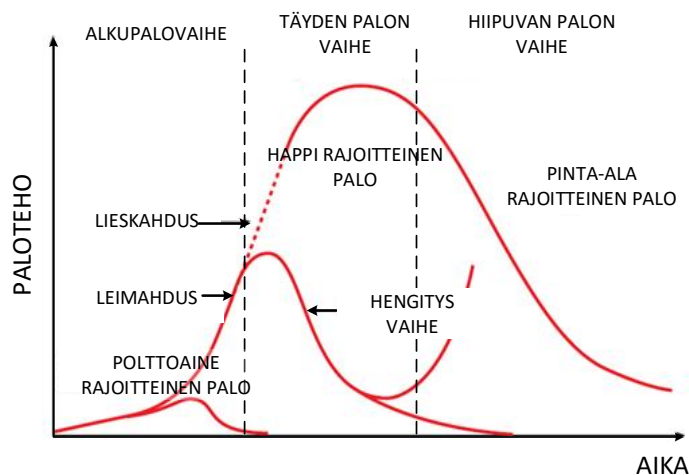
Kuva 7 Inhibition toimintaperiaate, Inhibiittori molekyyli hajoaa lämmön vaikutuksesta, muodostaen sidoksen palossa syntyvien vapaiden radikaalien kanssa, välivaiheen jälkeen syntyy vettä ja inhibiittori lähtee takaisin kierto.

3 HUONEISTOPALOJEN DYNAMIIKKA

Huoneistopalojen dynamiikan tunteminen muodostaa merkittävä osan työturvallisuudesta sammutus- ja pelastustyössä. Näiden ilmiöiden tunteminen ja tunnistaminen vaikuttavat merkittävästi valittavaan sammutustaktiikkaan ja tekniikkaan, käytettiinpä taktisena ratkaisuna perinteisiä tai täydentäviä sammutusmenetelmiä. Näiden ilmiöiden ymmärtäminen mahdollistaa täydentävien sammutusmenetelmien soveltamisen.

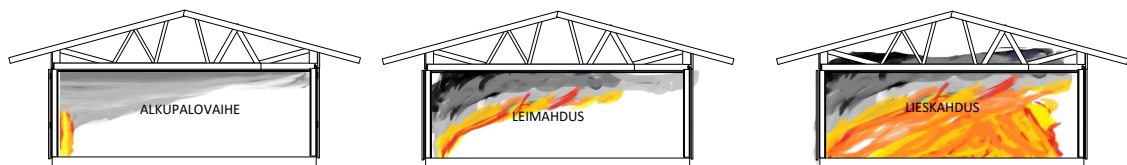
3.1 Huoneistopalojen vaiheet

Huoneistopaloissa tapahtuvat ilmiöt jaetaan pääasiallisesti kolmeen päävaiheeseen: alkupalovaiheeseen, täyden palon vaiheeseen ja hiipuvan palon vaiheeseen sekä näiden vaiheiden sisällä oleviin ilmiöihin, jotka ovat yleispäteviä huoneistopaloissa. Näiden ilmiöiden tunnistaminen on osa palonlukutaitoa. Kuvassa 8 on esitetty huoneistopalon kehittyminen palotehon, ajan sekä palon vaiheiden ja palossa tapahtuvien ilmiöiden suhteen.



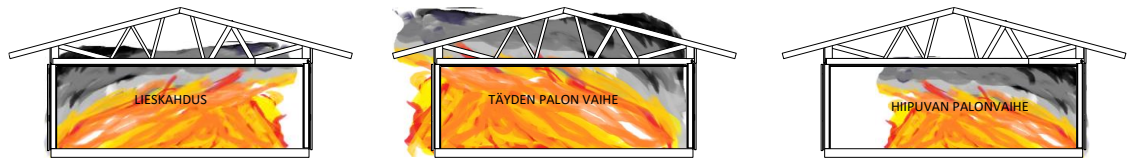
Kuva 8 Huoneistopalon kehittyminen palotehon ja ajan, sekä ilmiöiden suhteen, mukailtu (Alho 1988, 79; Bengtsson, 2001,12; Hyttinen ym. 2008, 57; Karlsson & Quintiere 1999, 18).

Alkupalovaihe on huoneistopalon ensimmäinen vaihe. Alkupalovaihe alkaa tulipalon syttymisestä ja päättyy lieskahdukseen. Alkupalovaiheelle tyypillisiä ovat palon syttyminen ja alkupalon kehittyminen. Alkupalo voi olla polttoainerajoitteinen palo, jolloin polttoaineen määrä rajoittaa paloa tai palo sammuu palokuorman loputtua. Riittävän polttoainemäärän sisältävä alkupalo kehittyy leimahduksen ja lieskahduksen kautta täyden palon vaiheeseen tai muuttuu happirajoitteiseksi hengitysvaiheen paloksi. Leimahduksen (rajatussa tilassa olevien syttyvien kaasujen yhtäkkinen kokonaan tai osittain syttyminen) aikana palo leviää syttymiskohdastaan, palossa syntyvien palokaasujen välityksellä. Leimahdukset tapahtuvat palokaasupatjassa. Palokaasupatjan lämpötilan nousee 400 – 600 °C:seen. Kuva 9 esittelee huoneistopalon kehittymisen lieskahdukseen asti.



Kuva 9 Huoneistopalon alkupalovaihe, alkupalovaihe kestää alkupalosta, lieskahdukseen. Tunnistettavia ilmiötä ovat leimahdus ja lieskahdus

Kuva 10 kertoo huoneistopalon kehittymisen lieskahduksesta, täydenpalonvaiheen kautta hiipuvaan paloon. Täyden palon vaihe alkaa lieskahduksen jälkeen, jolloin rajatussa tilassa olevat syttymiskelpoiset materiaalit ja pinnat syttyvät nopeasti säteilylämmön ja kuumien palokaasujen vaikutuksesta. Tässä palon vaiheessa palamista tapahtuu palokaasupatjassa sekä palotilan kaikilla pinnoilla. Täyden palon vaiheelle on tyypillistä lähes vakionopeuksinen palaminen, jonka aikana savukaasupatjan lämpötila nousee 800 -1000 °C:seen. Lieskahtaneen huoneistopalon happipitoisuus laskee rajusti lieskahduksen jälkeen. Täyden palon vaiheessa palo voi levitä huoneiston ulkopuolelle rikkoutuneiden rakenteiden kautta.



Kuva 10 Huoneistopalon täydenpalon vaihe, joka kestää lieskahduksesta hiipuvan palon vaiheeseen.

Hiipuvan palon vaihe alkaa täydenpalon vaiheen päättymisestä eli siitä kun paloteho ja pyrolysaatio nopeus alkavat laskea. Hiipuvan palon aikana palo tuottaa edelleen pyrolyysikaasuja sekä varastoitunut lämpöenergia vapautuu palotilaan. Hiipuvan palon vaihe päättyy siihen, kun palo sammuu. Kuva 11 esittää palon vaihteita hiipuvan palon vaiheesta palon sammumiseen.

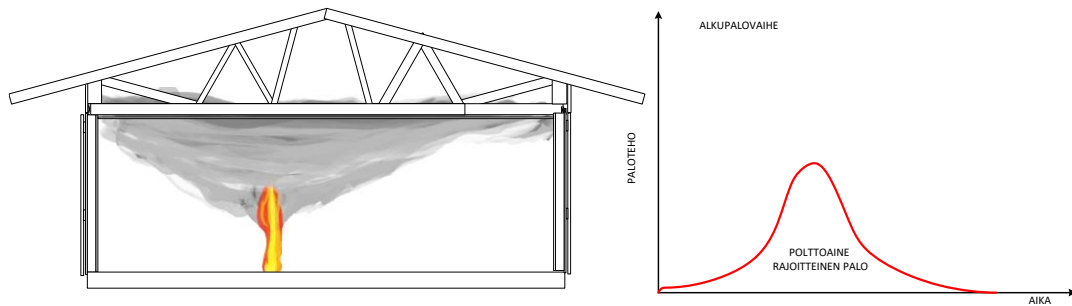


Kuva 11 Huoneistopalon hiipuva vaihe, hiipuvan palon vaihe kestää täydenpalon vaiheesta, palon sammumiseen.

Huoneistopaloja voidaan tarkastella myös eri rajoitteiden kautta. Rajoitteisia huoneistopaloja ovat pinta-ala rajoitteinen ja polttoaine rajoitteinen huoneistopalo sekä happirajoitteinen huoneistopalo. Näistä vaarallisin on happirajoitteinen palo, joka on hengitysvaiheessa. (Bengtsson 2001 85-106; Hyttinen ym. 2008, 56-59; Karlsson & Quintiere 1999, 18-20).

3.2 Polttoainerajoitteinen huoneistopalo

Polttoaineainerajoitteinen huoneistopalo on palo, jossa paloa rajoittaa palotapahtumaan osallistuvaan polttoaineen määrä. (Sanastokeskus TSK ry, 2006). Polttoainerajoitteinen palo on esimerkiksi sellainen huoneistopalo, jossa palaminen rajoittunut alkupalon muodostavaan kappaleeseen, jonka paloteho ei tuota riittävästi energiaa palon leviämiseksi muualle tilaan. Kuva 12 ja kuvaaja esittää palotehoa ja aikaa sekä palon vaihetta polttoainerajoitteisessa huoneistopalossa.



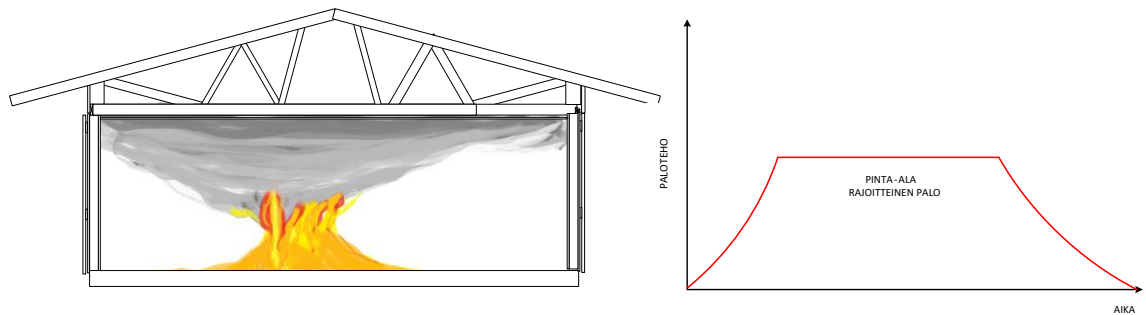
Kuva 12 Polttoainerajoitteinen huoneistopalo, palo on rajoittunut alkupaloon ja sen palotaho ei riitä sytyttämään muita pintoja tai syntyvää palokaasupatjaa. (Kuvaaja mukailtu Bengtsson 2001 Hyttinen ym. 2008, 60-61)

Polttoainerajoitteista huoneistopaloa kuvaa parhaiten esimerkiksi: yksittäisen kodinkoneen tai huonekalun palo. Polttoainerajoitteiselle palolle on tyypillistä palon rajoitteisuus pienelle rajatulle alueelle eli alkupaloon ja sen välittömään ympäristöön. Polttoainerajoitteisen huoneistopalon palotehoa rajoittaa paloon osallistuvan polttoaineen määrä.

Polttoainerajoitteinen palo hiipuu polttoainemäärän vähetessä. Polttoainerajoitteinen palo voidaan sammuttaa hyvin pienellä määrällä sammutetta. Alkusammutustiedustelu on yksi vaihtoehto tällaisen palon sammuttamiseen. Valittavaan tekniikkaan ja taktiikkaan vaikuttaa myös alkupalon sijainti, koko ja palavan huoneiston tekniset ominaisuudet, kuten rakennuksen paloluokka ja osastointi. Sammutteen valintaan vaikuttaa kuitenkin se mikä palaa. Sopiva sammutte valitaan paloluokan mukaan.

3.3 Pinta-alarajoitteinen huoneistopalo

Pinta-alarajoitteisella palolla tarkoitetaan huoneiston palon vaihetta, jossa huoneistopalon palotehoa rajoittaa paloon osallistuvan pinta-alan suuruus. Pinta-alarajoitteiselle huoneistopalolle on tyypillistä se, että paloteho saavuttaa vakiotehon ja polttoaineen vähetessä paloteho laskee. Pinta-ala rajoitteinen huoneisto palo voi olla esimerkiksi sellainen palo, jossa huoneistossa oleva yksittäinen pinta palaa, esimerkiksi lattia, mutta paloteho ei riitä palon leviämiseen palavan pinnan ulkopuolelle. Kuva 13 ja kuvaaja esittävät palotehoa ja aikaa, sekä palon vaihetta pinta-alarajoitteisessa huoneistopalossa.



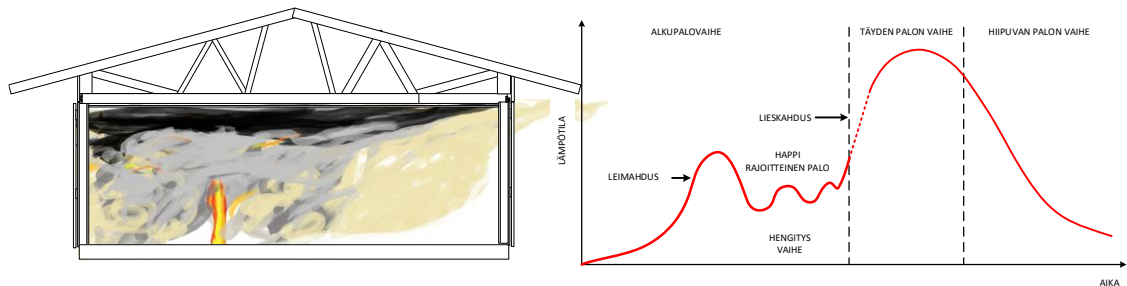
Kuva 13 Pinta-alarajoitteinen huoneistopalo, palo on rajoittunut sen pinta-alaan, lisäksi sen palotehoa säätelee osallistuvan polttoaineen määrä. Paloteho saavuttaa maksimi tehoonsa ja palo muuttuu vakiotehoiseksi paloksi. (Kuvaaja mukailtu Bengtsson 2001, 12; Hyttinen ym. 2008, 60; Karlsson & Quintiere 1999, 18-20).

Esimerkkinä tällaisesta huoneistopalosta voi toimia palavan nesteen palo. Palavan nesteen pinta-ala säätelee palotehoa. Pinta-alarajoitteinen palo saavuttaa maksimaalisen palotehonsa nopeasti ja pysyy siinä niin kauan kuin polttoainetta riittää. Palo hiipuu polttoainemäärän vähetessä. Pinta-alarajoitteinen palo voidaan sammuttaa hyvin pienellä määrällä sammutetta tai tukahduttamalla alkupalo. Alkusammutustiedustelu on yksi vaihtoehto tällaisen palon sammuttamiseen. Valittavaan tekniikkaan ja taktiikkaan vaikuttavat myös alkupalon sijainti, koko ja palavan huoneiston tekniset ominaisuudet kuten rakennuksen paloluokka ja osastointi. Sammutteen valintaan vaikuttaa kuitenkin se, mikä palaa. Sopiva sammutte valitaan paloluokan mukaan. Pinta-ala rajoitteinen palo voi olla myös sellainen, joka on kehittynyt huoneistopalosta sellaiseksi rakennuspaloksi, että sitä rajoittaa enää rakennuksen ympärillä oleva palokuorman puute. Täyden palon vaiheessa oleva rakennuspalo, joka ei enää leviä, voidaan ajatella myös pinta-ala rajoitteiseksi paloksi. Kaikki pinta-alarajoitteiset palot muuttuvat jossain vaiheessa polttoainerajoitteisiksi paloiksi.

3.4 Happirajoitteinen huoneistopalo

Happirajoitteinen palo on huoneistopalon vaihe, jossa palotehoa rajoittaa palavaan tilaan virtaavan hapen määrä (kuva 14). Happirajoitteisessa palossa kuumat syttymis- ja palamiskelpoiset kaasut eivät saa tarpeeksi ilmaa, joten huonetilaan syntyy palokaasujen rikas

seos. Happirajoitteinen palo on huoneistopalon vaarallisin vaihe. Normaalisti huoneistopalo palaa syttymisvälialueella eli alemman syttymisrajan ja ylemmän syttymisrajan välillä.

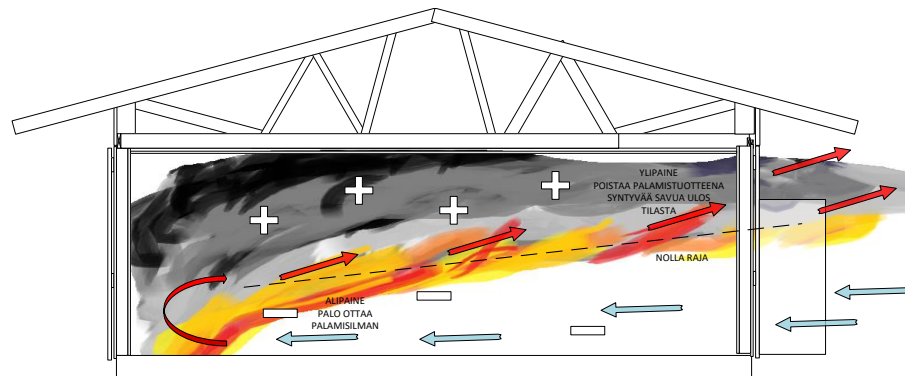


Kuva 14 Happirajoitteinen huoneistopalo, palo on rajoittunut liian vähäisen paloilman saamisen takia ja muodostaa huonetilaan rikkaan, kuuman ja syttymis- ja palamiskelpoisen savukaasuseoksen. Palotehoa rajoittaa siis palamisilman rajallinen määrä. Paloteho yleensä riittää ylläpitämään pyrolyysia, mutta savukaasupatja jäähtyy lämmön siirryttyä rakenteisiin. (Kuvaaja mukailtu Bengtsson 2001, 111 -116. Karlsson & Quintiere 1999, 118).

Happirajoitteinen huoneistopalo syntyy silloin, kun syttymis- ja palamistila on riittävän tiivis. Indikaattoreina tästä toimivat ehyet ikkunat ja ovet, joissa on pisaroitunutta ja tiivistynyttä nokea, ja ulos virtaavan savun määrä on pieni mutta väriltään mustaa tai ruskean sävyistä. Palamista voi tapahtua palokaasuissa palotilan ulkopuolella. Happirajoitteiselle palolle on tyypillistä hengitysvaihe. Hengitysvaiheen tunnistaa savukaasujen hengityksen omaisesta liikkeestä, jolloin palo hengittää palamiseen tarvittavaa ilmaa sisään ja ylipaineen tuottamaa ilmaa ulos. Ilmiö johtuu savukaasujen kutistumisesta, kun lämpö siirtyy savukaasuista rakenteisiin. Kutistuminen aiheuttaa myös alipaineen syntymistä palotilaan, mikä näkyy myös eräänlaisena hengittämisenä. Happirajoitteisen palon voi tunnistaa savukaasujen väristä ja virtauksien liikkeistä. Rikkaalle syttymis- ja palamiskelpoiselle palokaasujen seokselle on tyypillistä sinapin ruskea väri. Savukaasu seos virtaa ulos palotilasta ylipaineen vaikutuksesta. Nollaraja hengitysvaiheessa on tyypillisesti lähes lattiaan raja. Kun happirajoitteinen huoneistopalo saa palamisilmaa, laimenee palokaasujen seos rikkaalta seokselta ylemmälle syttymisrajalle, ja palaminen on taas mahdollista. Ilman tuominen tilaan siis aiheuttaa vaaraa sammuttajalle. Rikkaan seoksen palattua syttymisvälialueelle syntyy leimahduksia, pistoliekki tai humahdus. Lopputulos riippuu

siitä, missä olosuhteissa palamisilma ehtii sekoittua rikkaaseen syttymis- ja palamiskelpoiseen savukaasupatjaan.

Pistol liekki (kuva 15) on liekki, joka purkaantuu ulos palotilasta tai palotilassa suurella nopeudella palamisilmalähteen suuntaan. (Sanastokeskus TSK ry, 2006). Pistol liekki syntyy, kun liian rikas savukaasuseos sekoittuu palamisilmaan nollarajan tuntumassa. Pistol liekki voi syntyä ilman ulkoista syttymislähdettä, jos purkautuvat savukaasut ovat riittävän kuumia, noin 600-asteisia. Pistol liekki-ilmioon ja voimaan liittyvät tekijät ovat savukaasujen lämpötila, ilman sekoitussuhde savukaasupatjassa ja syttymislähteen etäisyys palamisilman lähteestä.



Kuva 15 Pistol liekki on siis rikkaan savukaasuilmaseoksen syttyminen leimahduksen omaisesti. Pistol liekki purkaantuu siihen suuntaan, mistä palamisilma johdetaan palotilaan. Pistol liekin voimakkuuteen vaikuttavat savukaasujen lämpötila, palamisilman sekoitussuhde savukaasupatjassa ja syttymislähteen etäisyys paloilma-aukosta.

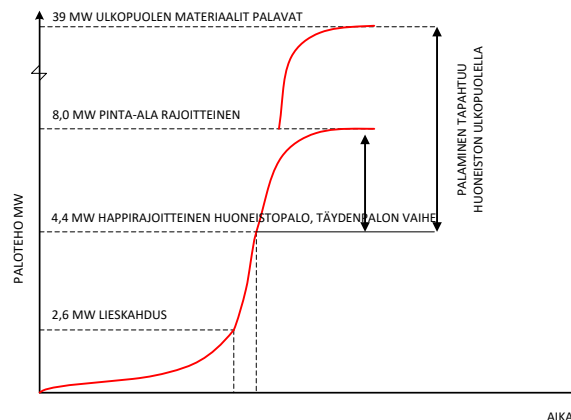
Savukaasun humahdus on myös mahdollinen tultaessa rikkaalta seokselta takaisin syttymisvälialueelle. Humahduksessa palamisilmaa ehtii sekoittua sopivassa suhteessa savukaasupatjaan ennen savukaasupatjan syttymistä. Humahduksessa ollaan lähellä stokiometristä seosta. Savun humahdus tapahtuu yleensä hengitysvaiheen jälkeen tai viivästyneen syttymisen seurauksena, jolloin syttymislähde on riittävän kaukana paloilma-aukosta ja savukaasujen lämpötila on alle itsesyttymislämpötilan. Savukaasujen humahduksesta seuraa äkillinen paineen nousu, joka voi rikkoa rakenteita. Ulos tuleva liekki voi tulla koko purkausaukon korkeudelta ulos tilasta. (Bengtsson 2000,116-117 ; Hyttinen ym. 2008; 67-71; Karlsson & Quintiere 1999, 16; Quintiere 2017, 268)

Pistoliekki ja savukaasujen humahdus voidaan estää laittamalla tilaan sopivaa inhibiittoria (jauhe, aerosoli) tai tukahduttavaa vesihöyryä tai jäähdyttämällä palotilassa olevaa palokaasupatjaa vedellä. Tila voidaan myös tehdä vaarattommaksi sammuttajille tekemällä hallittu palotuuletus.

3.4 Huoneistopalon paloteho

Huoneistopalon palotehoon vaikuttavia asioita ovat tilassa oleva palokuorma, palavan aineen laatu, palotilan tilavuus, aukkotekijä ja palamisnopeus sekä palotilaan syntyvä lämpökuorma. Palokuormalla tarkoitetaan palotilassa olevia materiaaleja. Palokuorma jaetaan kahteen osaan; kiinteään palokuormaan eli rakennusosiin ja liikkuvaan palokuormaan eli irtaimistoon. Palokuormalla tarkoitetaan siis kokonaislämpö määrää, joka vapautuu, kun palotilassa oleva aine palaa täydellisesti. Palamisnopeutta säätelee palavan aineen laatu sekä palavan aineen palamisnopeus, joka on suoraan riippuvainen saatavasta palamisilmämäärästä, mitä säätelevät aukkotekijät. Aukkotekijällä tarkoitetaan tilassa olevia aukkoja, joista palosta poistuu savua ja paloon tulee ilmaa. Aukkotekijän ollessa yli 5 % kokonaispinta-alasta palo saa riittävästi ilmaa kehittyäkseen täyden palon vaiheeseen. (Quintiere 2017, 300-303; Sanastokeskus TSK ry 2006.)

Kuvan 16 esimerkkikuvaaja esittää huoneistopalon palotehoa ja palon vaihteita ja ilmiöitä, kun huoneiston mitat ovat 4 m x 4 m x 3m. Yhteenlaskettu pinta-ala on 80 m² ja aukkotekijä on 2 m².



Kuva 16 Huoneistopalon palotehon kasvu palotehon ja ajan suhteen. mukailten (Quintiere 2017, 300-301).

Kuvaajasta nähdään, että esimerkkipalossa lieskahdus alkaa, kun palo ylittää 2,6 MW ja palo kehittyy ensin 4,4 MW paloksi. Tästä palo kehittyy ensin noin 8,0 MW happirajoitteisesta palosta täyden palon vaiheeseen, minkä jälkeen palo laajenee huoneiston ulkopuolelle. Ulkopuolella paloa rajoittaa ainoastaan saatavilla olevan polttoaineen määrä, joka on suoraan verrannollinen suhteessa palamiseen osallistuvan pinta-alan suhteen. Tässä tapauksessa maksimaalinen paloteho täydenpalon vaiheessa on 39 MW. Paloteho pysyy vakiona niin kauan, kun polttoainetta on riittävästi saatavilla. (Quintiere 2017, 300-301.)

4 HUONEISTOPALOJEN TAVANOMAISET SAMMUTUSMENETELMÄT, SAMMUTUSTAKTIIKAT JA TEKNIIKAT

Pelastusryhmän ensitoimenpiteisiin kuuluvat selvitykset jaetaan Pelastusopiston julkaisun 1/2018 mukaan alkuselvityksiin ja lisäselvityksiin, jotka tehdään tilannearvion ja pelastusryhmän johtajan päätöksen perusteella. Pelastusryhmän johtaja voi tilanteen sitä vaatiessa käyttää myös täydentäviä sammutusmenetelmiä tukemaan tehokasta pelastustoimintaa tekemällä esimerkiksi paloa rajoittavan ensi-iskun ennen tehokkaan pelastustoiminnan käynnistymistä.

Alkuselvityksiä ovat

- perusselvitys, perusselvitys alkusammutustiedustelulla
- perusselvitys käyttäen nousujohtoa
- perusselvitys alkusammutustiedustelulla käyttäen nousujohtoa
- työjohtoselvitys
- vaahtokalustoselvitys
- letkukelalaiteselvitys
- alkusammutuskaluston selvitys.

Lisäselvityksiä ovat

- säiliöautoselvitys
- paloposti- tai vesiasemaselvitys
- moottoriruiskuselvitys
- toisen työjohdon selvitys vuorojakoliittimestä tai pumpulta
- vaahtokalustoselvitys muun selvityksen lisäksi
- tikasselvitys, jos ei kuulu alkuselvitykseen
- savutuuletuskaluston selvitys
- valaistuskaluston selvitys
- alkusammutuskaluston selvitys, jos ei kuulu alkuselvitykseen
- jälkivahinkotorjuntakaluston selvitys.

Selvitysmalleja ovat

- työjohtoselvitys
- perusselvitys
- perusselvitys irtotikkailla
- perusselvitys alkusammutustiedustelulla
- perusselvitys nousuputkea käyttäen
- perusselvitys täydentävän menetelmän tukena.

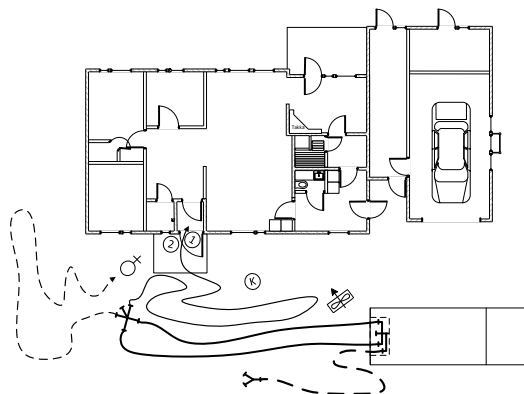
Sammutustekniikoita ovat

- suora sammutustekniikka
- epäsuora sammutustekniikka
- tavanomainen sammutustekniikka
- pienpisarasammutustekniikka
- ylipainesammutustekniikka
- alipainesammutustekniikka.

Täydentäviä menetelmiä ovat mm.

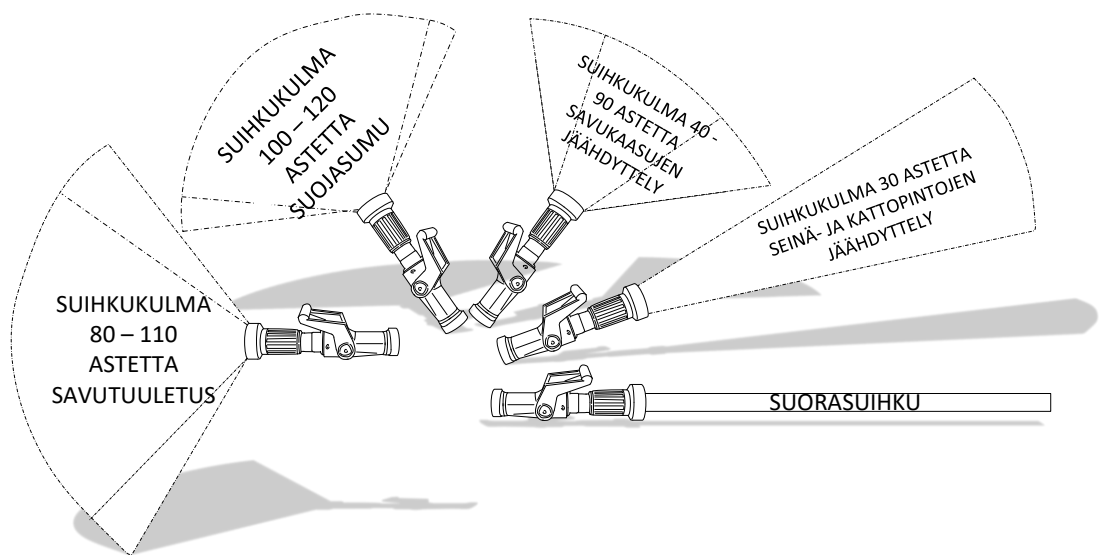
- jauheisku (jauhesammuttimella)
- korkeapainevesi (COBRA:lla, HPS:lla, UHPS:lla)
- aerosolisammutteet (heittosammutteella)
- painevaahtosammutteet (CAFS-vaahdotteilla)
- pistosuihkuputket (vesi ja jauhe).

Huoneistopaloja on tyypillisesti sammutettu vedellä epäsuoran ja suoran sammutustekniikan sekä näiden yhdistelmien avulla. Sammutustekniikoista käytössä on ollut pääsääntöisesti tavanomainen sammutustekniikka, pienpisarasammutustekniikka ja ylipainehyökkäys sammutustekniikka. Alipainetuuletussammutustekniikka on harvemmin käytetty sammutustekninen ratkaisu. Huoneistopaloja on sammutettu tavanomaisesti käyttäen yhdistelmäsuihkuputkia, joiden suihkukulmat, pisarakoko ja vesimäärä ovat olleet säädeltävissä. Tyypillisimpiä suihkuputkia huoneistopalon sammutuksessa ovat työntävät ja imevät suihkuputket. Teknisenä toteutus pohjana näissä edellä mainituissa tekniikoissa on aina perusselvitys (kuva 17).



Kuva 17 Perusselvitys toimii perustoimintamallina, jonka avulla valittua sammutustekniikkaa toteutetaan.

Suihkuputkien suihkukulman valinnalla on merkitystä sammuttajan työturvallisuuden ja tehokkaan sammutustyön näkökulmasta (kuva 18). Suihkukulman ollessa suojasuihku-asennossa eli 100 -120 asteen kulmassa antaa suojasuihku suojaa sammuttajalle pistoliekillä sekä lämpösäteilyltä. 80 – 110 asteen suihkukulmat soveltuvat alipainesavutuuletuksen toteuttamiseen. Suihkukulman ollessa 40 – 90 asteen kulmassa suihkuputkea voidaan käyttää savukaasupatjan jäähdyttämiseen. Kapeaa 30 asteen sumusuihkua käytetään seinä- ja kattopintojen jäähdyttämiseen. Suorasuihkuasentoa voidaan käyttää myös seinä ja kattopintojen jäähdyttämiseen. (Alho 1988, 142 - 163; Hyttinen ym. 2008, 168 - 172.)



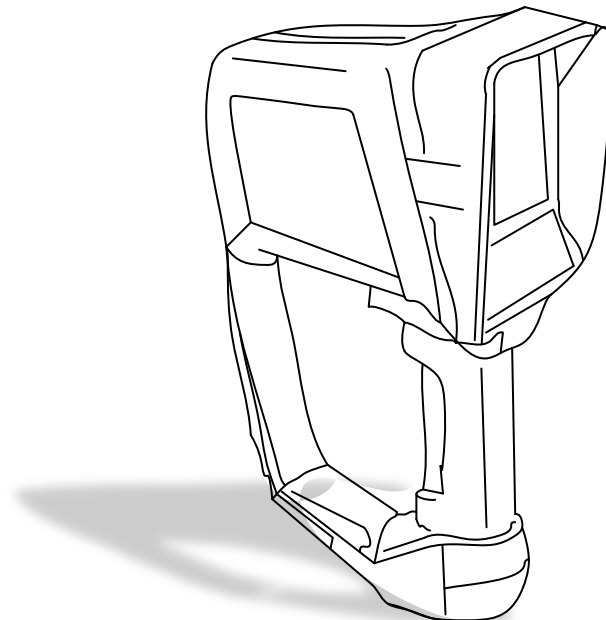
Kuva 18 Suihkukulmat ja niiden käyttökohteet mukailtu (Alho 1988, 142 - 163; Hyttinen ym. 2008, 168 - 172, 268.)

Huoneistopalon sammutustekniikkaa jakautuu neljään osa-alueeseen, jotka ovat savukaasupatjan ja kuumien pintojen jäähdyttelyyn, (pyrolyysin katkaisuun), palavan aineen sammuttamisen, savutuuletukseen ja sammutusraivaukseen. Lisäksi tekniikkaan sisältyy myös etsintä ja pelastaminen. (Hyttinen ym. 2008, 165). Savukaasupatjan ja kuumien pintojen jäähdyttely tehdään vedellä ja sopivalla sammutustekniikalla. Palavan jähmeän, nesteytyvän ja nestemäisen aineen sammutus tehdään jäähdyttämällä pyrolysoituvia pintoja joko suoralla tai epäsuoralla sammutustekniikalla. Savukaasupatja voidaan poistaa myös tilasta ennen sammutushyökkäystä käyttämällä hyväksi palokaasutuuletusta eli yli-painehyökkäystä tai alipaine suihkuputkituuletuksen avulla ennen sammutushyökkäyksen aloittamista.

Savutuuletus toteutetaan joko yli- tai alipainetuuletuksella. Savutuuletus voidaan toteuttaa koneellisesti tai suihkuputken avulla. Koneellisesti savukaasuja voidaan hallita yli- ja alipaineen avulla esimerkiksi ylipaineistamalla viereiset tilat tai tekemällä kohteeseen esimerkiksi suoraan palotuuletus. (Savola 2010.)

Sammutusraivausta on toteutettu yleensä vasta sammutushyökkäyksen päätteeksi. Ylipainehyökkäys ja alipainehyökkäys ovat hyvä esimerkkejä sammutusraivauksesta, jossa palokaasut poistetaan sammutettavasta tilasta ennen sammutushyökkäystä. Mekaaninen sammutusraivaus on toteutettu joko käsi- tai konevoimaisesti. Tyypillisimmät raivausvälineet käsityökaluista ovat sorkkarauta ja moottorisaha. Sammutusraivaukseen voidaan käyttää apuna konevoimaa kuten kaivinkoneita tai nosturiautoja tai kouraa.

Etsintää ja pelastamista tehdään samanaikaisesti sammutustyön edetessä. Etsintä tekniikaksi valitaan joko oikeankäden tai vasemmankäden taktiikka. Päätös käytettävästä taktiikasta tehdään ennen palotilaan tunkeutumista. Valittavaan etsintätaktiikkaan vaikuttaa käytettävä välineistö ja palon vaihe sekä rakennuksen muoto ja huonejärjestys. Etsintää voidaan tehostaa lämpökameran käytöllä (kuva 19).



Kuva 19 Lämpökamera on hyvä apuväline palon paikantamiseen, palon lukemiseen ja etsintään.

4.1 Suora sammutustekniikka

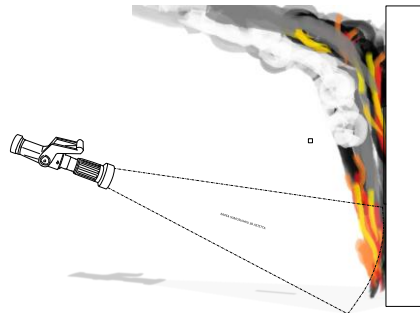
Suoralla sammutustekniikalla avulla pyritään vaikuttamaan suoraan palavan aineen kaasuuntumiskohtaan eli liekkien juureen, jossa kaasuuntuminen eli pyrolyysi tapahtuu. Suoran sammutustekniikan ideana on vaikuttaa suoraan sinne, missä palo on.

Veden sammutusominaisuudet suorassa sammutuksessa voidaan kuvata seuraavasti:

1. pisarat kuumilla palavilla pinnoilla (sammutusvaikutus → jäähdytys)
2. pisarat liekkialueella (sammutusvaikutus → jäähdytys)
3. pisarat kuumilla palamattomilla pinoilla (sammutusvaikutus → jäähdytys).

(Hyttinen, ym. 2008, 165; Vaari, 2004, 161-162)

Veden sammutusvaikutus perustuu suoraan palavan pinnan jäähdyttämiseen (kuva 20)

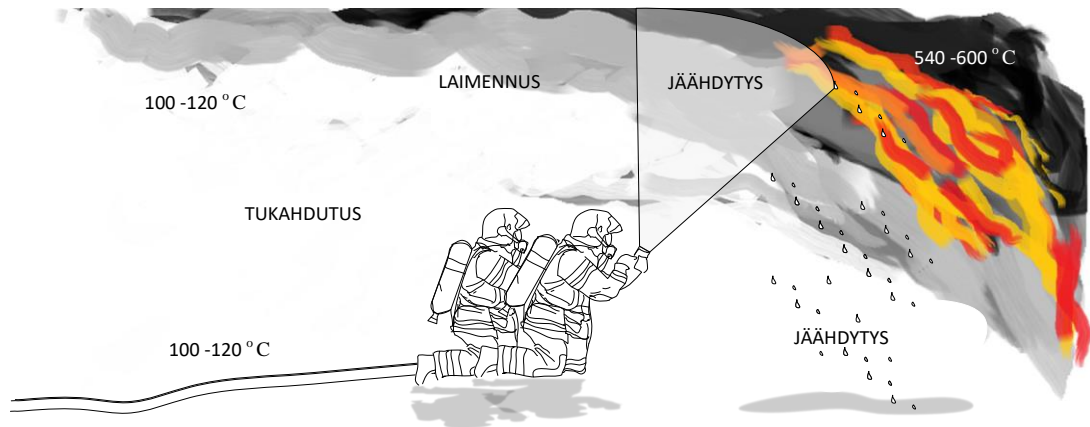


Kuva 20 Kuvassa suorasammutustekniikka, sammutusvaikutus on tehokkain suoralla sammutustekniikalla kun sammute suunnataan liekinjuureen eli paikkaan jossa pyrolyysi tapahtuu.

4.2 Epäsuora sammutustekniikka

Epäsuorassa sammutustekniikassa jäähdytetään ja hallitaan ensisijaisesti kuumia savu-kaasuja sekä seinä- ja kattopintoja riittävällä vesivuolla (vesimäärällä) (kuva 21). Tämän seurauksena muodostuva vesihöyry muuttaa palotilassa olevaa kaasuvirtausta ja hapen ja typen osapainetta.

Epäsuoralla sammutustekniikalla pyritään vaikuttamaan ensisijaisesti palon liekkialueeseen ja siihen kulkeutuvaan kaasuvirtaukseen, siten että liekkipalon edellytykset eivät ole voimassa. Epäsuorassa sammutuksessa on kyse siis liekkipalon hallinnasta säätelemällä liekkipalon palamisen edellytyksiä.



Kuva 21 Havainnekuva; veden sammutusvaikutukset epäsuorassa sammutuksessa, epäsuorassa sammutuksessa suihkuputkea käytetään auki 10 - 15 sekuntia kerrallaan, vettä höyrystetään kuumilta ja palavilta pinnoilta tilaan riittävästi. Lämpötila huonetilassa taantuu noin 100 - 120 asteeseen, mikä aiheuttaa vaaraa sammuttajille.

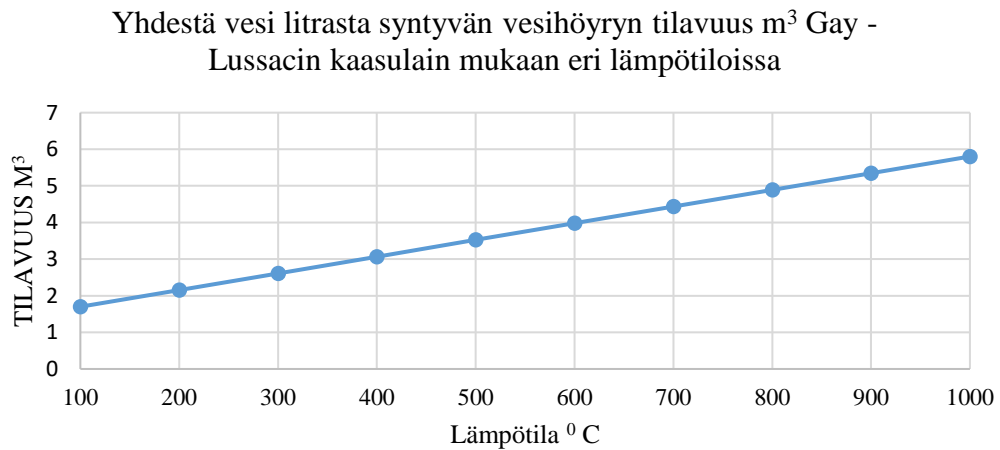
Veden sammutusominaisuudet epäsuorassa sammutuksessa voidaan kuvata seuraavasti:

1. pisarat liekissä (sammutusvaikutus → jäädytys liekkialueella)
2. pisarat kuumissa palokaasuissa (sammutusvaikutus → jäädytys palokaasuissa, lämmön siirtyminen pisaroihin)
3. pisarat kuumilla palamattomilla pinnoilla (sammutusvaikutus → jäädytys / vesihöyryn muodostuminen → tukahdutus)
4. pisarat kuumilla palavilla pinnoilla (sammutusvaikutus → jäädytys / vesihöyryn muodostuminen → tukahdutus)
5. pisarat palamiskelpoisen aineen pinnoilla (sammutusvaikutus → jäädytys/ pyrolyysin estäminen ennakkoon)
6. vesihöyryn tukahduttava vaikutus → hapen tilavuusosuus putoaa → sammutusvaikutus tukahdutus).

Epäsuoraa sammutustekniikka käytetään palon sammuttamiseen sekä rajoittamiseen joko palotilan ulko- tai sisäpuolelta. Ulkoa käytettäessä epäsuoraa sammutustekniikkaa käytetään hyväksi rakennuksen luonnollisia aukkoja kuten ovia ja ikkunoita tai tarkoitusta varten tehtyjä sammutusaukkoja. Käytettäessä epäsuoraa sammutustekniikka rakennuksen

sisäpuolella sammute suunnataan palokaasuihin ja kuumiin seinä- ja kattopintoihin sammuttajan ollessa palavan rakennuksen sisäpuolella. (Alho 1988, 165; Hyttinen ym. 2008, 165-166; Vaari 2004, 161-162.)

Epäsuoraa sammutustekniikkaa vedellä käytettäessä on otettava huomioon myös se, että sammutettavassa tilassa on riittävästi kuumia pintoja ja kuumia savukaasuja veden höyrystämiseen (kuva 22). Lisäksi tulee ottaa myös huomioon se, että palavassa tilassa ei ole liikaa aukkoteijöitä, jolloin vesihöyryn tukahduttava vaikutus vähenee merkittävästi vesihöyryn paetessa palotilasta.

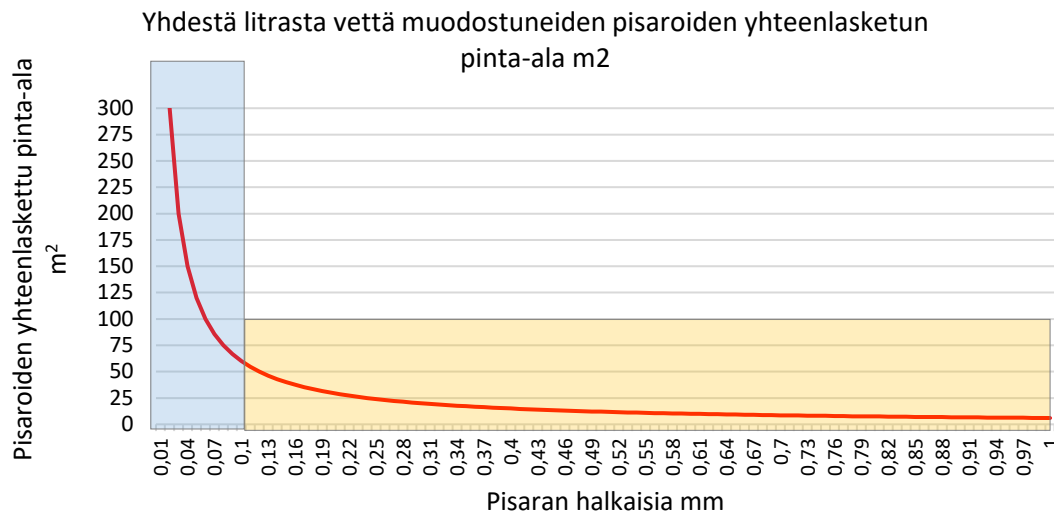


Kuva 22 Syntyvän vesihöyryn tilavuus eri lämpötiloissa, vesihöyryn tukahduttava vaikutus alkaa kun vesihöyryn määrä on 35 prosenttia kokonaistilavuudesta. Höyrystyvä vesi aiheuttaa tilassa myös paineen nousua. (Hyttinen ym. 2008, 101).

Epäsuoran sammutustekniikan hyötynä voidaan pitää sitä, että sopivalla määrällä sammutetta savukaasupatja ja tila voidaan pitää syttymättömänä. Liiallinen vedenkäyttö epäsuoralla sammutustekniikalla aiheuttaa kuitenkin vaaraa sammuttajalle, jos tämä on samassa tilassa höyrystyvän veden kanssa. Käytettäessä epäsuoraa sammutustekniikkaa liiallisella vedellä voidaan menettää palotilassa oleva näkyvyys.

Epäsuorassa sammutuksessa käytettävällä keskimääräisellä pisarakoolla on merkitystä sammutusvaikutukselle. Kuvasta 23 voidaan päätellä, että pisarakoolla on merkitystä jäähdytystehon kannalta. Kuvaaja antaa kuvan, että pisarakoon kasvaessa jäähdytysteho heikkenee. Teoreettisesti tarkasteltuna tämä pitää paikkansa. Käytännössä kuitenkin su-

musuihkussa käytettävä pisarakoko on ominaisuuksiltaan sellainen, että sille saadaan riittävästi massaa ja pinta-alaa ja kykyä tunkeutua savukaasupatjaan ja sen läpi kuumille pinnoille.



Kuva 23 Kuvaajassa on esitetty yhdestä litrasta muodostuneiden pisaroiden yhteenlasketun pinta-ala m². Kuvassa on vasemmalla (sinisellä korostettu alue) mikropisararat ja kuvassa oikealla on (vaalean keltainen alue) sumusuihkun tuottamat pisarakoot. Kuvaaja on saatu aikaan laskemalla pisaroiden määrä ja niiden pinta-alat keskimääräisen pisarakoon mukaan. (Alho, 1988, 160-161, Hyttinen ym. 2008, 268-269).

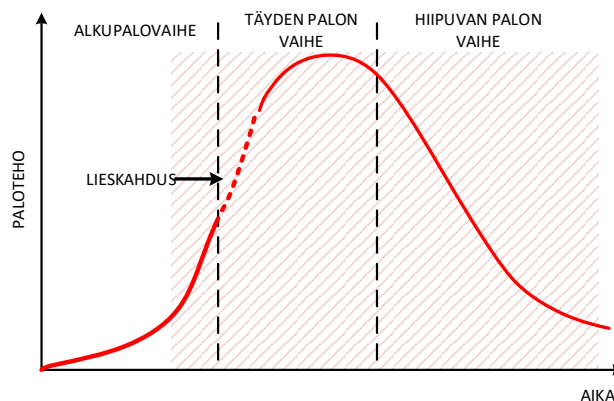
On totta, että pienellä nopeudella liikkuvat mikropisararat eivät riitä läpäisemään savukaasupatjaa. Jotta pienmassaisia mikropisaroita saadaan menemään virtausten ja savukaasupatjan läpi, tarvitaan mikropisaralle paljon lähtönopeutta. Jotta mikropisara olisi toimiva sammute, täytyy paineen ja lähtönopeuden olla riittävän suuri sammutteen perille pääsyn turvaamiseksi.

Mikropisaran hyvänä ominaisuutena voidaan pitää sen suurta lämmönsitomiskykyä ja lähes välitöntä höyrystymisnopeutta verrattuna yleisesti sumusuihkuissa käytävään 0,2 - 0,5 mm pisaraan. Optimaalinen pisarakoko sumusuihkulle matalapainejärjestelmässä on 0,35 mm. (Hyttinen ym. 2008, 160-164)

4.3 Tavanomainen sammutustekniikka

Tavanomaisella sammutustekniikalla tarkoitetaan yhdistelmätekniikkaa, jossa yhdistyvät epäsuora ja suora sammutustekniikka. Perinteisen sammutustekniikan tavoitteena on jäähdyttää palotilaa ja siellä olevia syttymis- ja palamiskelpoisia kaasuja. Lisäksi tavoitteena on muodostaa palotilaan riittävästi tukahduttavaa vesihöyryä ja täten tehdä palokaasut syttymiskelvottomiksi. Vesihöyry tuotetaan suihkuttamalla vettä palokaasupatjaan ja kuumille pinnoille. Tavanomaista sammutusmenetelmää käytettäessä on tunnettava huoneistopalon ilmiöt ja rajatun tilan palojen vaarat. Tämä tarkoittaa, että paloa on osattava lukea.

Tavanomaista sammutustekniikkaa käytetään (kuva 24) huoneistopalojen sammuttamiseen silloin, kun palo on kehittynyt täyden palon vaiheeseen eli huoneistossa olevat kaikki pinnat osallistuvat palotapahtumaan ja palo tapahtuma etenee palo-osaston sisällä.

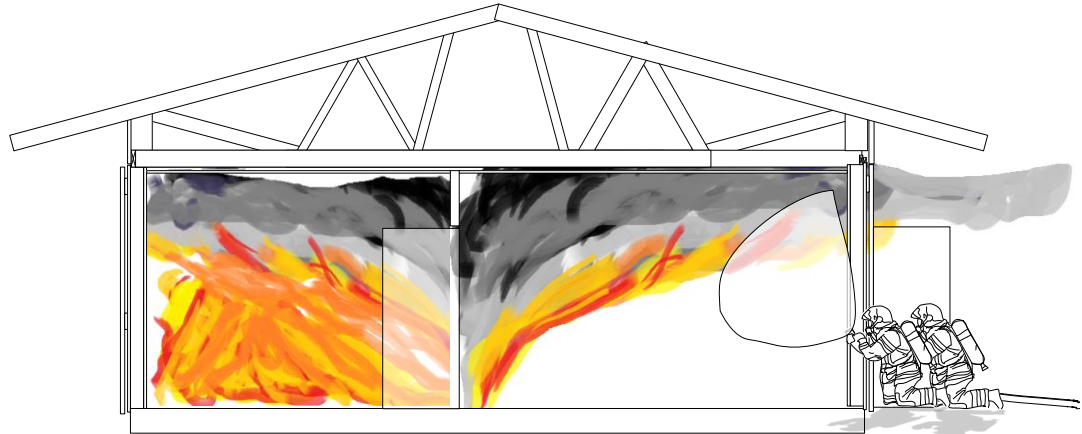


Kuva 24 Tavanomaisen sammutustekniikan käyttöalue ulottuu alkupalovaiheesta hiipuvan palon vaiheeseen.

Palotilan jäähdyttäminen tapahtuu aluksi vedellä riittävän suurella vesivirralla paloon nähden. Sammuttaminen tapahtuu rakennuksen luonnollisista aukoista kuten ovista ja ikkunoista. Paloa jäähdytetään suurella ja jatkuvalla vesivirralla sekä tilanteeseen sopivalla suihkukulmalla. Suihkukulmat ovat välillä suora – 110 astetta (kuva 25).

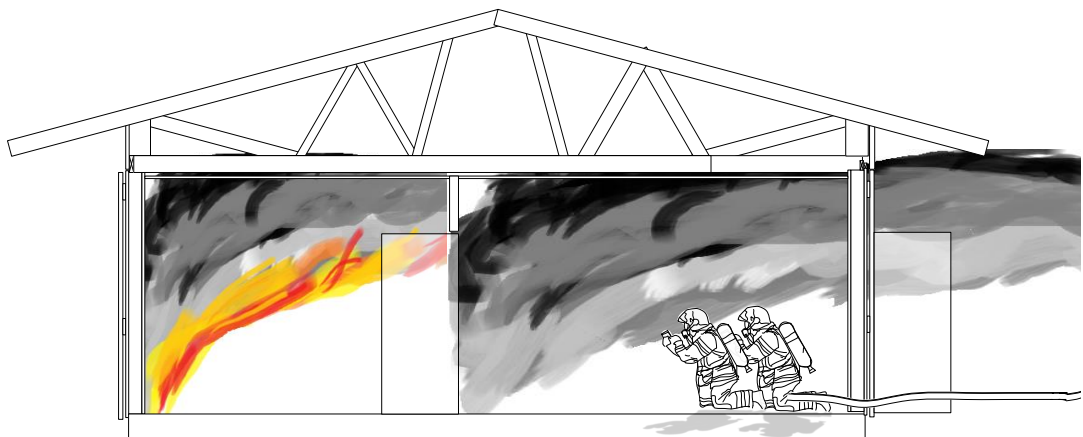
Palotilan jäähdyttyä riittävästi, tehdään sammutushyökkäys rakennuksen sisään. Sammutushyökkäyksen tarkoituksena on suorittaa etsintä ja pelastaminen ja sammuttaa sisällä olevat palopesäkkeet. Näkyvyyden ollessa huono, on syytä käyttää apuna lämpökameraa huonetilan tiedusteluun ja palopesäkkeiden paikantamiseen. Lämpökameraa käyttämällä

voidaan todeta myös, onko tila riittävän jäähtynyt sammutus- ja pelastustehtävän suorittamiseen.



Kuva 25 Havainnekuva tavanomaisen tekniikan käytöstä täydenpalon vaiheessa. Sammuttamista voidaan tehostaa pyörittämällä suihkuputkea akselinsa ympäri.

Syntyvää sammutusvaikutusta, voidaan arvioida myös visuaalisesti, palotilasta ulos purkautuvien savukaasujen koostumuksen ja virtausten sekä värin perusteella (kuva 26). Mitä vaaleampaa ja virtaus nopeudeltaan hitaampaa ulos tuleva savu on, sitä parempi sammutusvaikutus on ollut. Palopesäkkeiden sammuttamisen jälkeen palotilaan tehdään savutuuletus ja sammutusraivaus. Savutuuletus voidaan tehdä suihkuputkella tai koneellisesti. Tavanomaista sammutustekniikkaa valittaessa käytettäväksi taktiikaksi, teknisenä toteutus pohjana toimii perusselvitys.

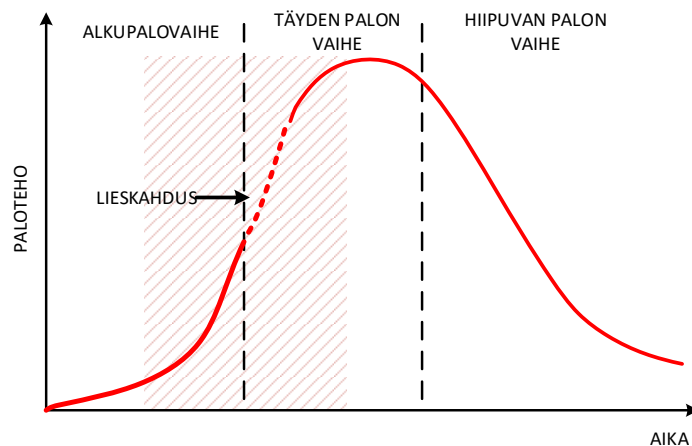


Kuva 26 Havainnekuva sammutushyökkäys tavanomaisella sammutustekniikalla.

4.4 Pienpisarasammutustekniikka

Pienpisarasammutuksella tarkoitetaan huoneistopalon hallitsemista ja sammuttamista pienpisaraisella katkonaisella vesivirralla. Pienpisarasammutustekniikka on epäsuora sammutustekniikka, jolla pyritään vaikuttamaan palaviin ja syttymiskelpoisiin kaasuihin laimentamalla ja jäähdyttämällä sekä tukahduttamalla syntyvän vesihöyryn vaikutuksella. Tavoitteena pienpisaratekniikassa on käyttää mahdollisimman vähän vettä palon hallintaan ja sammuttamiseen. Pienpisara sammutusmenetelmää käytettäessä on tunnettava huoneistopalon ilmiöt ja rajatun tilan palojen vaarat. Tämä tarkoittaa, että paloa on osattava lukea.

Pienpisara sammutustekniikkaa käytetään (kuva 27) palon ollessa vielä kehittymättä täyden palon vaiheeseen. Täyden palon vaiheessa katkonaisella vesivirralla ei ole riittävästä sammutustehoa, jos palo on kehittynyt riittävän pitkälle.



Kuva 27 Pienpisara sammutustekniikan käyttöalue

Palokaasuissa ja katossa olevaa energiaa sidotaan veteen katkonaisella vesivirralla. Syntyvä vesihöyry jäähdyttää ja laimentaa savukaasupatjaa ja vähentää palokaasujen syttymisen edellytyksiä. Vesihöyryä syntyy sopivassa suhteessa palokaasupatjan jäähtyessä, tällöin näkyvyyttä ei menetetä. Käytännössä tämä tarkoittaa, että jäähtyvä palokaasupatja kutistuu lähes saman verran kuin vesihöyryä syntyy. (Hyttinen ym. 2008; 170 -172)

Pienpisara sammutustekniikassa palotilan jäähdyttäminen aloitetaan palotilan ovelta suihkuttamalla sumusuihkulla vettä katkonaisesti savukaasupatjaan neutraalitason alapuolelta vinosti ylöspäin (kuva 28). Ovi suljetaan jäähdytyskertojen välissä tukahduttavan vaikutuksen lisäämiseksi.



Kuva 28 Pienpisarasammutustekniikan havainnekuva, kuvaan on liitetty veden sammutusvaikutukset. Sopiva suihkukulma pienpisarasammutukselle on tilanteesta riippuen 40 - 90 asteen välillä, pisaran keskimääräisen halkaisijan ollessa 0,35 mm.

Kun huonetilassa oleva savukaasupatja on jäähtynyt riittävästi eli kun vesi ropisee katosta alas, voidaan tilaan turvallisesti mennä sisään. Ovi suljetaan perässä. Savukaasupatjaa jäähdytetään sumusuihkulla, katkonaisella vesivirralla, samanaikaisesti kun palotilassa edetään. Kuumia katto- ja seinäpintoja jäähdytetään tarvittaessa sivelemällä pintoja pienellä vesivirralla. Sivelyyn käytetään kapeaa sumusuihkua tai suoraa sumusuihkua. Alkupalot ja palopesäkkeet sammutetaan käyttämällä suorasuihkua tai kapeaa sumusuihkua jatkuvalla vesivirralla. Samalla palotilaan tehdään etsintää.

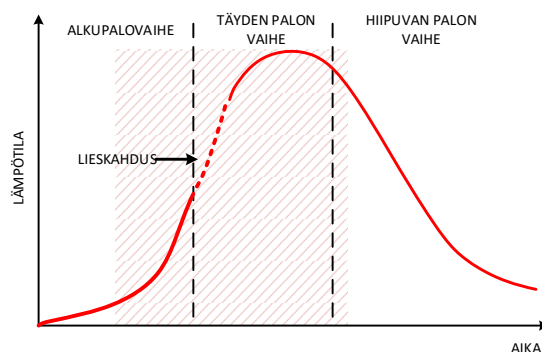
Alkupalon sammuttamisen jälkeen tilaan tehdään savutuuletus joko yli- tai alipaineistamalla tila. Savutuuletus voidaan toteuttaa savutuulettimella tai alipaineisesti suihkuputkella, mikäli suihkuputki soveltuu savutuuletukseen tekoon. Käytettäessä suihkuputkea savutuuletukseen tilasta avataan ulosjohtava aukko. Aukko voi olla ovi tai ikkuna. Savutuuletukseen käytettävä suihkukulma on 80 - 110 asteen välissä. Suihkuputkella tehtävässä savutuuletuksessa suihkuputki asetetaan tilan ulkopuolelle. Savutuuletus tehdään jatkuvalla vesivirralla virtauksen ja ejektori-ilmion aikaansaamiseksi. Ennen suihkuput-

kella tehtävän savutuuletuksen alkua palotilasta avataan myös aukko korvausilman saamiseksi tilaan. Tuuletuksen jälkeen palotilassa tehdään sammutusraivaus. (Hyttinen ym. 2008, 170 -173)

Pienpisarasammutustekniikan parhaat puolet ovat pienet veden käyttömäärät ja tätä kautta syntyvät vähäiset vesivahingot. Höyryn muodostuminen on vähäistä oikein käytettynä ja näkyvyys tilassa pysyy hyvänä eikä merkittävää ylipainetta synny. Vesihöyryn aiheuttama palovamman riski on vähäinen. Käytettäessä pienpisara sammutustekniikkaa liian vähällä vesivirralla, luodaan riski savukaasujen leimahdukseen palotilassa. Pienpisarasammutustekniikkaa valittaessa käytettäväksi taktiikaksi teknisenä toteutus pohjana toimii perusselvitys.

4.5 Ylipainesammutushyökkäys

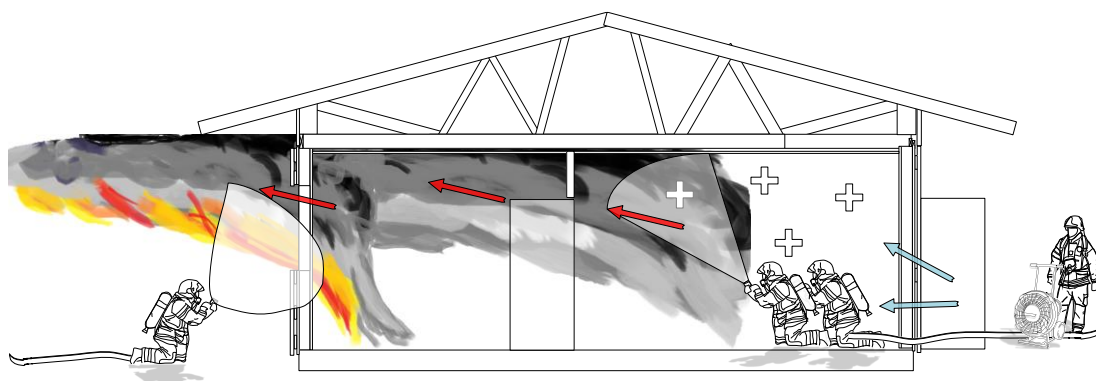
Ylipainehyökkäyksellä tarkoitetaan menetelmää ja taktiikkaa, jossa huonetilaan suoritetaan samanaikaisesti savutuuletus ja sammutushyökkäys. Ylipainehyökkäyksen tarkoituksena ja tavoitteena on poistaa palavasta tilasta lämpöä sekä syttymis- ja palamiskelpoisia palokaasuja ja luoda tilaan hyvä näkyväisyys. Ylipainesammutushyökkäysmenetelmää käytettäessä on tunnettava huoneistopalon ilmiöt (kuva 29) ja rajatun tilan palojen vaarat. Tämä tarkoittaa, että paloa on osattava lukea.



Kuva 29 Ylipainehyökkäyksen käyttöalue ylipaine hyökkäystä käytetään huoneistopalon alkupalovaiheesta täydenpalon vaiheeseen.

Ylipainehyökkäyksessä (kuva 30) on ensin tiedusteltava palon vaihe ja savun poistoaukolle soveltuva paikka. Savunpoistoaukkoa valittaessa on otettava huomioon tuulen suunta ja savunpoistosektori. Savunpoistoaukoksi valitaan palotilaa lähinnä oleva ikkuna

tai muu tarkoitukseen sopiva aukko. Lisäksi on valmisteltava työjohtoselvitys sekä savunpoistoaukolle että sammutusparille. Valmisteltaessa ylipainehyökkäystä on myös valmistelava koneellinen savutuuletus hyökkäysreitinvarten. Sammutushyökkäys on koordinoitava siten, että poistoaukko avataan ja varmistetaan paineistetulla työjohtolla. Avaaminen tarkoittaa käytännössä poistoaukkona olevan ikkunan rikkomista. Savutuuletin käynnistetään käskystä. Tilaa tuuletetaan hetken aikaa ennen sammutushyökkäyksen aloittamista. Kun tilaan on saatu aikaan riittävä virtaus ja puhtaan ilman tasku, voidaan eteneminen aloittaa. Eteneminen ja sammuttaminen tapahtuvat syntyvässä ilmataskussa. Poistoaukolla oleva sammuttaja varmistaa purkuaukon ja sammuttaa, jähdyttää ja suojaa purkuaukolla olevia rakenteita kuumilta ja syttymis- sekä palamiskelpoisilta palokaasuilta sekä estää paloa karkaamasta aukon yläpuolisiin rakenteisiin. (Savola 2010.)



Kuva 30 Havainnekuva ylipainesammutus hyökkäyksestä, sammuttajat etenevät ilmataskussa sammuttaen samalla palavia katto- ja seinäpintoja suoralla sammutustekniikalla.

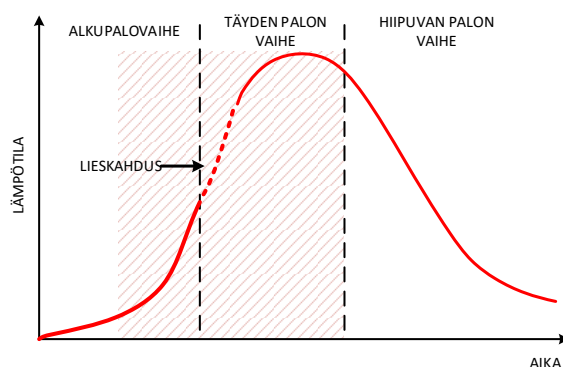
Pintojen jähdyttelyyn käytetään suoraa sammutustekniikkaa ja suorasuihkukulmaa ja 30 asteen sumusuihkukulmaa sammutussuihkun ollessa koko ajan auki. Samalla tehdään etsintää. Sammutushyökkäyksen jälkeen suoritetaan tilaan sammutusraivaus. Palopesäkkeet paikannetaan joko visuaalisesti tai lämpökameran avulla. Löytyneet palopesäkkeet raivataan ja sammutetaan suoralla sammutustekniikalla käyttäen joko suora- tai sumusuihkua.

Ylipainesammutushyökkäyksen parhaat puolet ovat syttymis- ja palamiskelpoisten kaasujen sekä lämpökuorman nopea poistaminen tilasta. Veden käyttömäärät ja tätä kautta syntyvät vesivahingot ovat kohtuulliset. Höyryn muodostuminen on vähäistä oikein käytettynä, ja näkyvyys tilassa pysyy hyvänä. Vesihöyryn aiheuttama palovamman riski on

vähäinen. Käytettäessä ylipainesammutushyökkäystekniikkaa väärin luodaan riski savukaasujen leimahdukseen palotilassa. Valittaessa ylipainehyökkäys käytettäväksi sammutustekniikaksi ja taktiikaksi teknisenä toteutus pohjana toimii perusselvitys.

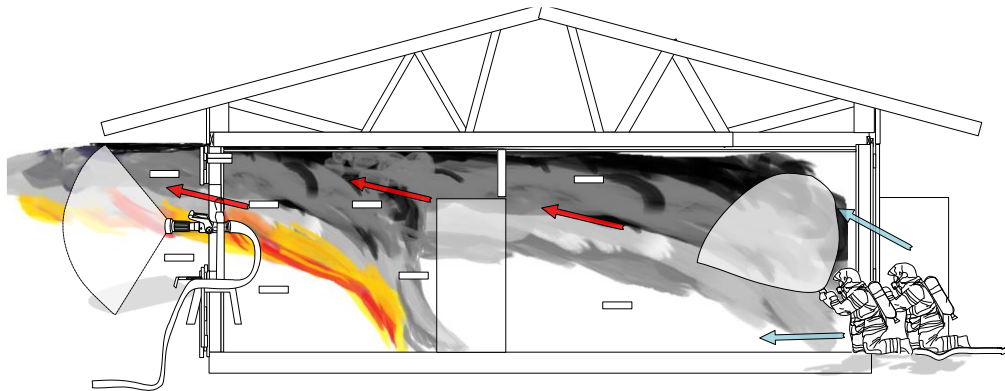
4.6 Alipainesammutushyökkäys tekniikka

Alipainehyökkäyksellä tarkoitetaan menetelmää ja taktiikkaa, jossa huonetilaan tehdään samanaikaisesti savutuuletus ja alipainesammutushyökkäys. Alipainehyökkäyksen tarkoituksena ja tavoitteena on poistaa palavasta tilasta lämpöä sekä syttymis- ja palamiskelpoisia palokaasuja alipainetuuletuksen avulla ja luoda tilaan parempi näkyväisyys. Alipainesammutushyökkäysmenetelmää käytettäessä on tunnettava huoneistopalon ilmiöt (kuva 31) ja rajatun tilan palojen vaarat. Tämä tarkoittaa, että paloa on osattava lukea.

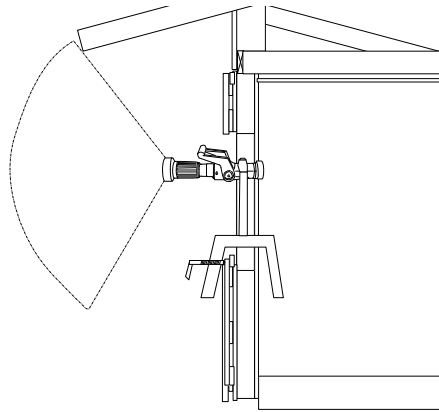


Kuva 31 Alipainehyökkäyksen käyttöalue. Alipaine hyökkäystä käytetään huoneistopalon alkupalovaiheesta täyden palon vaiheeseen.

Alipainehyökkäyksessä on ensin tiedusteltava palon vaihe ja savun poistoaukolle soveltuva paikka. Savunpoistoaukkoa valittaessa on otettava huomioon tuulensuunta ja savunpoistosektori. Savunpoistoaukoksi valitaan palotilaa lähinnä oleva ikkuna tai muu tarkoitukseen sopiva aukko. Lisäksi on valmisteltava työjohtoselvitys imevällä putkella (käytännössä Fog-fighter) savunpoistoaukolle (kuva 32). Sammutushyökkäys on koordinoitava ja valmisteltava siten, että ilman tuloaukko avataan ensin. Poistoaukko varmistetaan erilliseen telineeseen asennetulla työjohdolla ja imevällä sumusuihkuputkella (kuva 33) siten, että suihkuputki imee kuumat ja syttymis- ja palamiskelpoiset palokaasut palavasta tilasta.



Kuva 32 Havainnekuva alipainesammutushyökkäyksestä, sammuttajat jäähdyttävät samalla palavia katto- ja seinäpintoja suoralla sammutustekniikalla.



Kuva 33 Havainnekuva alipainehyökkäyksessä käytettävästä telineestä.

Suihkuputkeen valitaan suihkukulmaksi 80 - 110 astetta ja suihkuputki avataan täysin auki. Rikotaan ikkuna ja asennetaan teline paikalleen. Poistoaukon avaaminen tarkoittaa käytännössä poistoaukkona olevan ikkunan rikkomista. Poistoaukolla oleva imevä sumusuihkuputki käynnistetään käskystä. Käytännössä tämä tarkoittaa vesiventtiilin avaamista jakotukilta tai pumpulta. Tilaa tuuletetaan alipaineella hetken aikaa ennen sammutushyökkäyksen aloittamista. Kun tilaan on saatu aikaan riittävä virtaus ja palokuormaa poistettua riittävästi, voidaan eteneminen aloittaa. Eteneminen ja sammuttaminen tapahtuvat ilman virtaussuunnan mukaisesti rakennuksen sisään. Poistoaukolla oleva sammuttaja varmistaa purkuaukkoa.

Pintojen jäähdyttelyyn käytetään suoraa sammutustekniikkaa ja suorasuihkukulmaa ja 30 asteen sumusuihkukulmaa. Samalla tehdään etsintää. Sammutushyökkäyksen jälkeen tehdään tilaan sammutusraivaus. Palopesäkkeet paikannetaan esimerkiksi joko visuaalisesti

tai lämpökameran avulla. Löytyneet palopesäkkeet raivataan ja sammutetaan suoralla sammutustekniikalla käyttäen joko suora- tai sumusuihkua.

Alipainesammutushyökkäyksen parhaat puolet ovat syttymis- ja palamiskelpoisten kaasujen sekä lämpökuorman nopea poistaminen tilasta. Veden käyttömäärät ja tätä kautta syntyvät vesivahingot ovat kohtuulliset. Höyryn muodostuminen on vähäistä oikein käytettynä ja näkyvyys tilassa pysyy hyvänä. Vesihöyryn aiheuttama palovamman riski on vähäinen. Alipainehyökkäyksestä valittaessa käytettäväksi sammutustekniikaksi ja -taktiikaksi teknisenä toteutusperustana toimii perusselvitys.

5 TÄYDENTÄVÄT SAMMUTUSMENETELMÄT

Pelastusyksikön ensitoimenpiteitä täydentäviä menetelmiä ovat esimerkiksi ensi-iskun tekeminen (käsisammuttimilla) sammutusjauheella, vaahdolla tai heittosammutteella (aerosolisammute), tai korkeapainevedellä (COBRA, (U)HPS) sekä painevaahdolla (CAFS). Täydentäviä sammutusmenetelmiä ovat lisäksi myös pistosuihkuputket ja pistojauheputket, joilla pyritään ensisijaisesti rajoittamaan ja sammuttamaan paloa joko ulkoa tai sisältä käsin. Menetelmillä voidaan tarvittaessa tehostaa kohteessa tehtävää pelastustoimintaa.

Menetelmillä on tarkoitus vähentää altistumista sekä luoda lisää työkaluja pelastustyönjohtajalle tilanteen hoitamiseksi sekä tehostaa itse pelastustyötä. Osalla menetelmistä voidaan tehokkaasti rajoittaa paloa ulkoapäin, jolloin altistumiseen käytetty aika vähenee huomattavasti, työturvallisuus lisääntyy sekä pelastustoiminnan suorituskyky kasvaa.

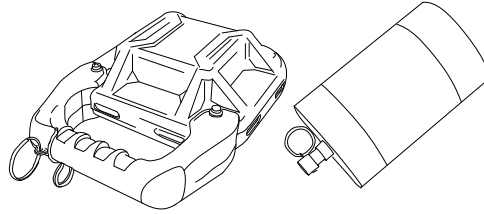
Sammutusjauheella sekä aerosolisammutteilla ensitoimenpiteenä pyritään tekemään palokaasut syttymättömiksi inhibition avulla ja laskemaan palavan tilan lämpötilaa jäähdyttävällä vaikutuksella. Korkeapainevedellä (COBRA, HPS) pyritään ensisijaisesti rajoittamaan paloa jäähdyttämällä ja sitomalla lämpö mikropisaroihin sekä tukahduttamaan palo syntyvän höyrynpainevaikutuksen avulla. Painevaahdolla (CAFS) pyritään ensisijaisesti rajoittamaan paloa maalaamalla painevaahdolla palavat ja pyrolisoituvat pinnat piiloon ja eristämällä ne, lisäksi painevaahdon hajotessa syntyy pintajänniteeltään alentunutta vettä, jonka tunkeutumiskyky huokosiin materiaaleihin on tavallista korkeampi. Menetelmiä voidaan käyttää joko pelastusyksikön ensi-iskuna tai tehostamaan toimintaa tilanteen aikana ja tilanteen sitä vaatiessa.

Seuraavissa kappaleissa on esitelty tarkemmin eri laitteiden (sammutusjauheet, aerosolisammutteet, korkeapainelaitteet sekä painevaahdot) toimintaperiaatteita ja sammutusvaikutuksia myös palofysiikan ja sammutustekniikan näkökulmasta.

5.1 Aerosolisammutteet

Aerosolisammute on sammute (kuva 34), joka purkautuessaan katkaisee kemiallisesti tulipalon ketjureaktion liekkialueella. Laitteen toimintaperiaate ja sammutusvaikutus perustuvat pääasiallisesti ketjureaktion katkaisemiseen eli inhibitioon sekä toissijaisesti

jäähdyttämiseen palosta kaliumhydroksidiin sitoutuvan energian sekä myös sivutuotteena syntyvän veden vaikutuksesta. Aerosolisammute on suunniteltu toimivaksi A-, B- ja C-luokan palojen sammuttamiseen suljetussa tilassa.

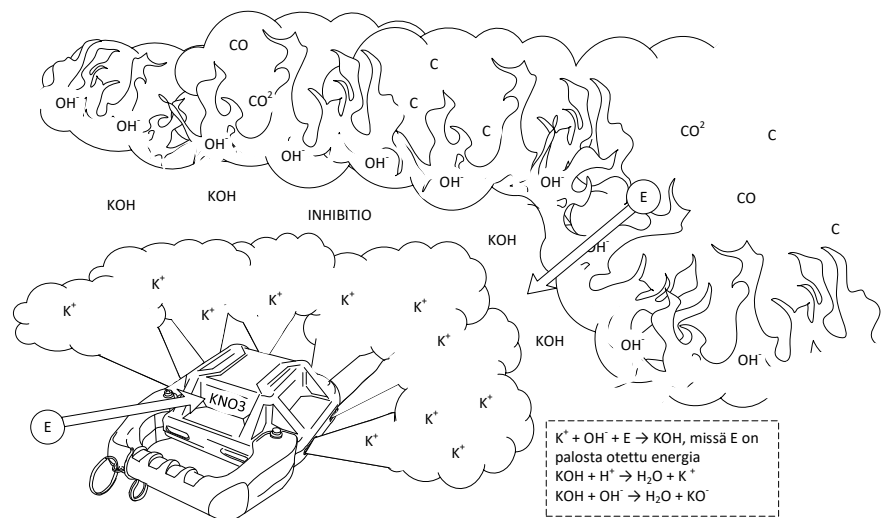


Kuva 34 Esimerkkejä käytössä olevista aerosolisammutuslaitteista eli heittosammutteista

Aerosolisammute siis purkautuessaan katkaisee kemiallisesti tulipalon ketjureaktion liekkialueella. Useimmissa järjestelmissä lähtöaineena on kaliumnitraatti (KNO_3), josta reaktiotuotteena syntyy vapaita kaliumradikaaleja K^+ , jotka toimivat kemiallisena sammutteena.

Sammutteen vapaat radikaalit (K^+) reagoivat palosta liekin alueella syntyvien (O^- , H^- , OH^-) -ionien kanssa seuraavan reaktioyhtälön mukaan (kuva 35):

- $\text{KNO}_3 + \text{E} \rightarrow \text{K}^+ + \text{N} + \text{HCO}_3 + \text{E} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
- $\text{K}^+ + \text{OH}^- + \text{KOH}$, missä E on palosta otettu energia
- $\text{KOH} + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{K}^+$
- $\text{KOH} + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{KO}^-$.

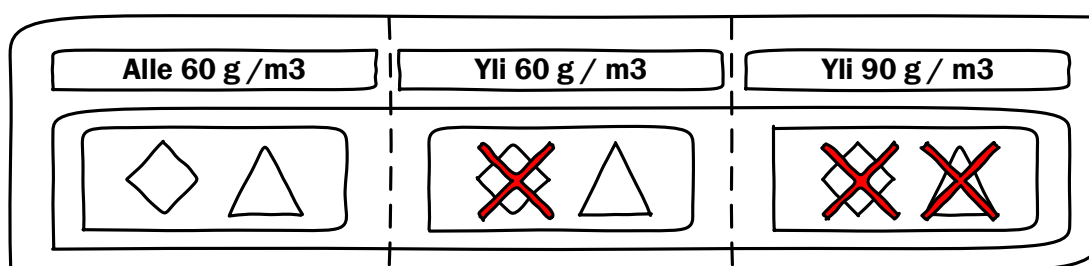


Kuva 35 Aerosolisammutteen toimintaperiaate

Purkautuva aerosoli pyrkii katkaisemaan liekki- ja hehkupalon sekoittamalla reaktion joukkoon endotermisiä polymeerejä kaliumradikaaleja K^+ , jotka sitoutuvat liekkipalossa syntyviin vapaisiin radikaaleihin (O^-), (H^-), (OH^-), minkä seurauksena tulipalon ketjureaktio katkeaa. (Sammutusvaikutus inhibitio) (Rinne & Vaari, 2005, 107; Vaari, 2004, 25-32)

Koska kyseessä endoterminen reaktio (lämpöä sitova reaktio), huoneistopalossa oleva lämpöenergia sitoutuu kaliumin reagoiessa (O^-), (H^-), (OH^-) radikaaleihin. (sammutusvaikutus jäädyttävä). Lisäksi jäädyttävää vaikutusta lisää lämpötilojen tasaantuminen huonetilassa. (Ylä- ja alalämpö tasoittuvat sekoittumisen seurauksena). (Rinne & Vaari 2005, 107; Vaari 2004, 25-32)

Koska laitteesta syntyvä aerosoli pyrkii ensisijaisesti vaikuttamaan liekkipaloon, jää laitteen käyttämisen jälkeen jäljelle hehkupalo (kuva 36), joka pysyy hehkupalona niin kauan kuin huonetilassa kaliumpitoisuus pysyy yli $60 \text{ g} / \text{m}^3$ eli inhibitio toimii, hehkupalon sammuttava vaikutus alkaa kun aerosolipitoisuus ylittää $90 \text{ g} / \text{m}^3$ (SFS, 2009.) Tilassa olevat aukot, ja ilmanvaihto vaikuttavat myös sammutteen toiminta-aikaan. Aukkotekijän ollessa yli 5 % huonetilan koosta, sammutteen vaikutusaika vähenee merkittävästi. Liekkipalo pysyy sammuneena useita kymmeniä minutteja, kun aukko- ja ilmanvaihtotekijät ovat riittävän pieniä. Pitoisuuden jäädessä alle $60 \text{ g} / \text{m}^3$ sammutusvaikutusta ei ole ja liekkipalon edellytykset ovat voimassa.



Kuva 36 Pitoisuuden vaikutus liekki- ja hehkupaloon, alle $60 \text{ g} / \text{m}^3$ pitoisuudessa ei ole sammutusvaikutusta, yli $60 \text{ g} / \text{m}^3$ pitoisuudessa sammutusvaikutus on vain liekkipalossa, yli $90 \text{ g} / \text{m}^3$ pitoisuudessa on sammutusvaikutusta myös hehkupaloon. (Mukailtu Rinne & Vaari, 2005, 105-106; Vaari, 2004, 92 -28).

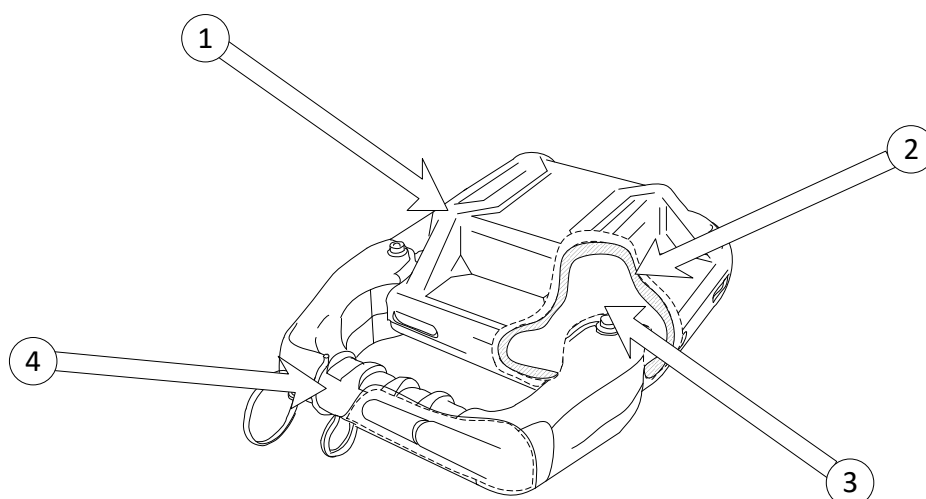
Liekkipalon sammuttua inhibition vaikutuksesta, hehkupalo tuottaa edelleen syttymiskelpoisia pyrolyysikaasuja, jolloin aerosolipitoisuuden laskiessa alle inhibitioon tarvittavan pitoisuuden, riski viivästyneelle syttymiselle lisääntyy. Tämän seurauksena voi pahimmallaan olla viivästynyt uudelleen syttyminen, josta voi seurata palokaasujen humahdus.

Käytettäessä aerosolisammutetta huoneistopalon rajoittamiseksi ja sammuttamiseksi, on ymmärrettävä siis huoneistopaloissa syntyvät yleispeätevät ilmiöt, sekä myös riskit joita käytöstä syntyy. Käytettäessä aerosolisammutetta täytyy ymmärtää, että jäljelle jäävä hehkupalo tuottaa edelleen tilaan syttymiskelpoisia pyrolyysikaasuja ja kun kalium pitoisuus laskee alle $60 \text{ g} / \text{m}^3$ syttymiskelpoiset palokaasut voivat syttyä/palaa hulahduksen omaisesti, kun tilassa olevat syttymiskelpoiset palokaasut palaavat rikkaalta seokselta takaisin syttymisväli alueelle.

Kaliumnitraatin aktivoitumislämpö on noin $270 \text{ }^\circ\text{C}$ astetta, ja purkautumislämpötila $400 \text{ }^\circ\text{C}$ ja $75 \text{ }^\circ\text{C}$ asteen välillä, riippuen etäisyydestä purkautuvaan sammutteeseen. Purkautuva aerosoli on noin $400 \text{ }^\circ\text{C}$ noin 25 cm päässä purkausaukolta ja $75 \text{ }^\circ\text{C}$ astetta noin $1,5 \text{ m}$ päässä. (Jäntti, Loponen & Miettinen 2009, 20-21.)

Aerosolisammutteen rakenne koostuu kuvan 37 seuraavista komponenteista ja osista:

1. rungosta
2. eristemateriaalista, jonka tehtävänä on estää hallitsematon purkautuminen
3. kiinteän aerosolin muodostavasta aineosasta (kaliumnitraatista)
4. aktivoivasta aineosasta, jonka tehtävänä käynnistää reaktio, jonka tuotteena syntyy kaliumradikaaleja. aktivoiva aineosa on yleensä sytytin, (pyrotekninen, piet-sosähköllä toimiva tai akkutoiminen sähköinen sytytin).

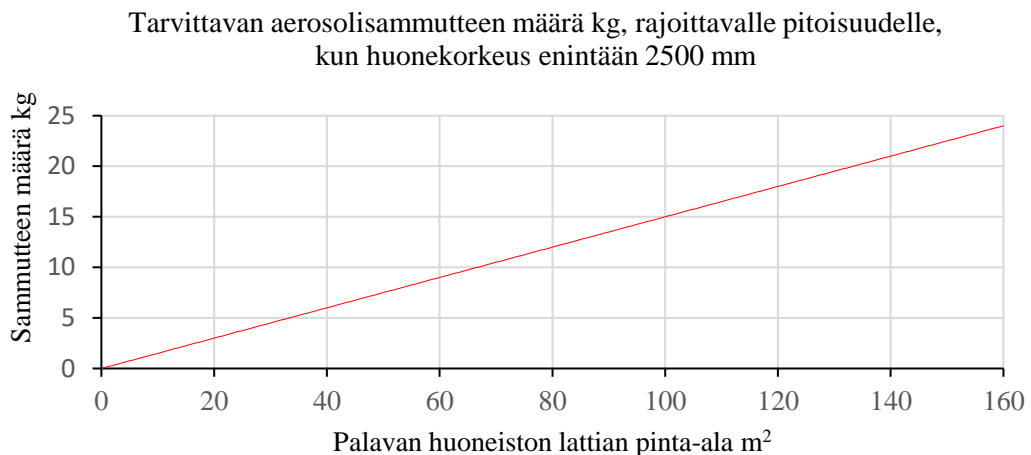


Kuva 37 Havainnekuva aerosolisammutteen rakenne ja osat

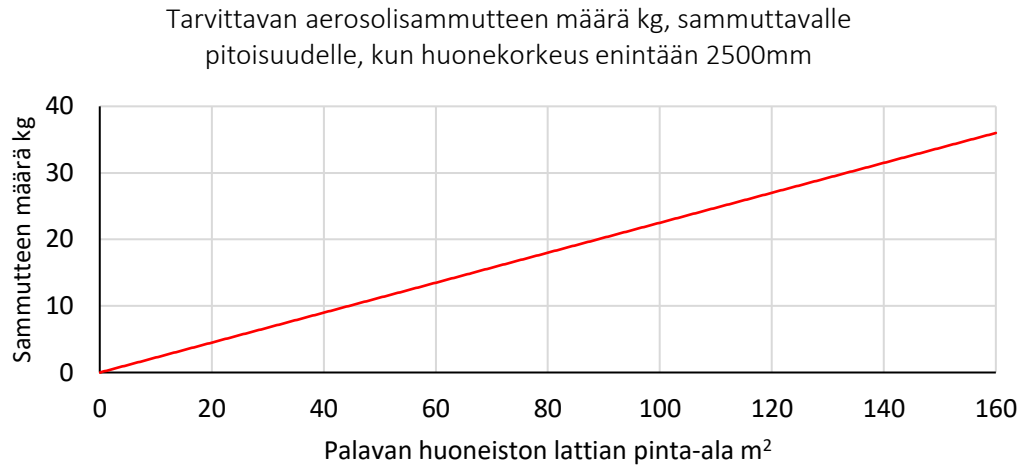
Aerosolisammutteella on tarkoitus tehdä palokaasut syttymättömiksi sekä katkaista liekipalo. Laite on suunniteltu toimimaan vain suljetussa tai lähes suljetussa tilassa. Lisäksi

on ymmärrettävä sammuttavan ja rajoittavan pitoisuuden rajat eli se, kuinka paljon aerosolisammutetta tarvitaan inhiboimaan sammutettava tila. Jotta aerosolisammutteella saadaan aikaan haluttu sammutusvaikutus, täytyy ennen aerosolisammutteen käyttöä arvioida tarvittava sammutteen määrä.

Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että yksi kilogramma sammutetta riittää inhiboimaan 30 m³ tilavuuden ja sammuttamaan noin 20 m³ tilavuuden. Keskimääräinen kaikkien huoneistojen koko Suomessa tilastokeskuksen mukaan oli 60 – 80 m² ja tilavuus 144 -192 m³. Tarvittavan sammutteen määrä on siis keskimäärin 5 -10 kg. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että sammutetta on varattava riittävästi halutun tuloksen aikaan saamiseksi. Aerosolisammutteen laukaiseminen suljettuun tilaan aiheuttaa hetkellisesti näkyvyyden menettämisen, mutta käyttämällä lämpökameraa aerosolipilven läpi voidaan kuitenkin edelleen jotenkuten nähdä. Kuva 38 kertoo tarvittavan sammutemäärän suhteessa palavan huoneiston kokoon.



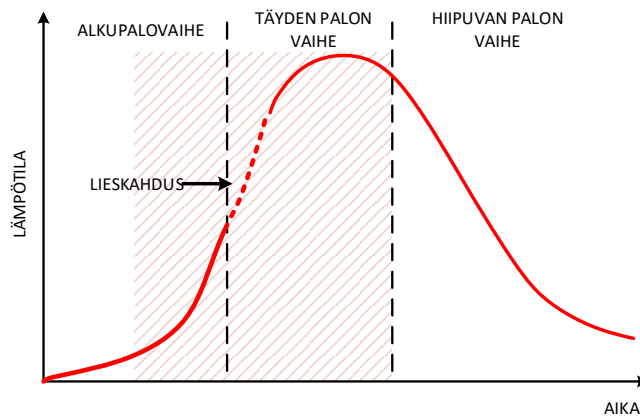
Kuva 38 Kuvaaja kertoo tarvittavan aerosolisammutemäärän kilogrammoina suhteutettuna palavan huoneiston pinta-alaan. Kaavion laadinnassa on käytetty huonekorkeutta 2500 mm ja täyden palon vaihetta



Kuva 39 Kuvaaja kertoo tarvittavan aerosolisammutemäärän kilogrammoina suhteutettuna palavan huoneiston pinta-alaan. Kaaviossa on käytetty huonekorkeutta 2500 mm ja täyden palon vaihetta

Kuvat 38 ja 39 kuvaajat siis kertovat tarvittavan minimimäärän sammutteelle rajoittamiseen ja sammuttamiseen, kun huoneistopalo on täyden palamisen vaiheessa ja huonekorkeus on enintään kaksi ja puoli metriä. Alkupalovaiheessa tarvittavat määrät ovat luonnollisesti pienempiä, sillä palaminen ei tapahdu vielä kaikkialla huoneiston pinoilla vaan leimahdellen savukaasupatjan alaosassa.

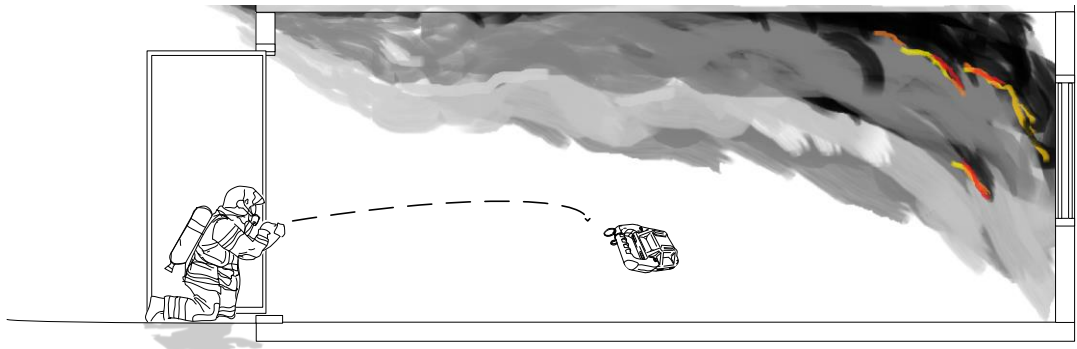
Käytettäessä rajoittavaa taktiikkaa huoneistopalon haltuun saamiseksi, ensimmäinen kohteeseen tuleva yksikkö tiedustelee kohteen ja paikantaa palotilan ja tekee päätöksen voiko aerosolisammutetta käyttää toimenpiteenä palon rajoittamiseen tai sammuttamiseen (kuva 40).



Kuva 40 Aerosolisammutteen suositeltava käyttöväli suhteutettuna palon vaiheeseen.

Rajoittavaa taktiikka käytettäessä on huomioitava ja arvioitava ensin palon vaihe ja se, onko aukkotekijä riittävän pieni eli ovatko ikkunat ja muut rakenteet vielä ehjät ja onko tila vielä riittävän suljettu. Käytännössä tämä tarkoittaa alkupalovaihetta ja täyden palon vaiheen alkuvaihetta, jolloin ikkunat ovat vielä ehyet eikä muutakaan suurta aukkoa ulos tilasta ole. Rakennus- ja huoneistopaloissa tämä tarkoittaa että, kohteen aukkotekijä on oltava alle 5 % seinien ja katon kokonaispinta-alasta. Suurempi aukkotekijä aiheuttaa aerosolisammutteen karkaamisen purkautuvien palokaasujen mukana ulos ja inhibiittisen sammutusvaikutuksen katoamisen.

Ensimmäisenä paikalle tuleva yksikkö tiedustelee kohteen ja tekee tilannearvion ja päätöksen, käyttääkö aerosoliheittosammutetta toimenpiteenä palon rajoittamiseen ja sammuttamiseen (kuva 41). Murtautumalla kohteeseen voidaan palotila paikantaa, minkä jälkeen aerosolisammute voidaan heittää tai asettaa palotilaan luonnollisen aukon, kuten oven, ikkunan tai ullakkotilan tarkastusluukun kautta tai muun palokunnan tekemän tarkoituksen mukaisen sammutusaukon kautta. Samaan aikaan valmistellaan tarvittaessa perusselvitys tai jokin muu täydentävä tehokas pelastustoimenpide sekä valmistellaan savutuuletusta ja valmistaudutaan mahdolliseen pelastustehtävään.



Kuva 41 Havainne kuva aerosolisammutteen käytöstä huoneistopalossa

Aerosoliheittosammutteen ei tarvitse osua paloon. Riittää, kun heittosammute on samassa tilassa palon kanssa.

Kohteeseen murtautumisen ja tiedustelun sekä tilannearvion jälkeen tehdään päätös aerosolisammutteen (heittosammutteen) käytöstä. Ensin heittosammutteesta poistetaan laitteen varmistussokka ja laukaistaan aerosolisammutteen sytytinosa. Sytyttimessä on noin 8 sekunnin viive. Asetetaan tai heitetään sammute palotilaan. Odotetaan että heittosam-

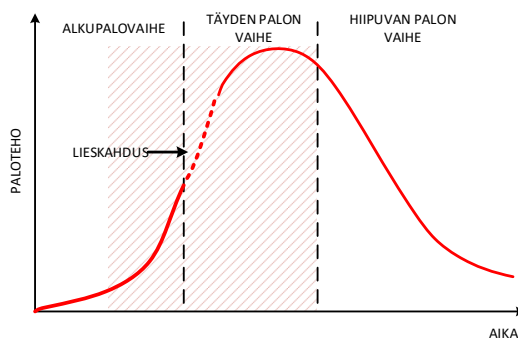
mate purkautuu aerosoligeneraattorista n. 30 sekuntia ja valmistellaan sammutushyök-
käystä samanaikaisesti. Arvioidaan sammutusvaikutus ennen huoneistoon tunkeutumista.
Sammutusvaikutuksen arviointi vaatii taas palonluku taitoa. Virtauksia, savun väriä, sa-
vun määrää ja palon ääniä sekä lämpökameran tuottamaa dataa tulkitsemalla voidaan
sammutusvaikutus päätellä. Huoneistoon tunkeutumisen jälkeen suljetaan ovi perässä,
tarkkaillaan tilaa lämpökameralla ja paikannetaan ja sammutetaan jäljelle jääneet alkupa-
lot. Lopuksi suoritetaan savutuuletus kohteeseen.

Käytettäessä heittosammutetta valittuna sammutustekniikkana ja taktiikkana, teknisenä
toteutus pohjana toimii alkusammutustiedustelu tai pelkkä heittosammute itsessään. Pe-
lastusryhmän jäsenten työnjako on alkusammutustiedustelun mukainen, jota seuraa pe-
russelvitys tarvittaessa.

5.2 Sammutusjauheet (jauheisku)

Sammutusjauheiskulla tarkoitetaan huoneistopalon sammuttamista sammutusjauheen
avulla. Jauheiskusammutustekniikka on sammutustekniikka, jolla pyritään vaikuttamaan
palaviin ja syttymiskelpoisiin kaasuihin inhibition ja jäähdytyksen sekä tukahdutuksen
avulla. Tavoitteena jauheiskulla on saada liekkipalo hallintaan ja saada aikaan tilaan in-
hibition ja jäähdyttävä vaikutus. Jauheiskua käytettäessä on tunnettava huoneistopalon il-
miöt ja rajatun tilan palojen vaarat. Tämä tarkoittaa, että paloa ja tilannetta on osattava
lukea.

Jauheiskua käytetään palon vielä ollessa kehittymättä täyden palon vaiheeseen (kuva 42).
Täydenpalon vaiheessa sammutusjauheelle saadaan kuitenkin paras sammutusvaikutus.

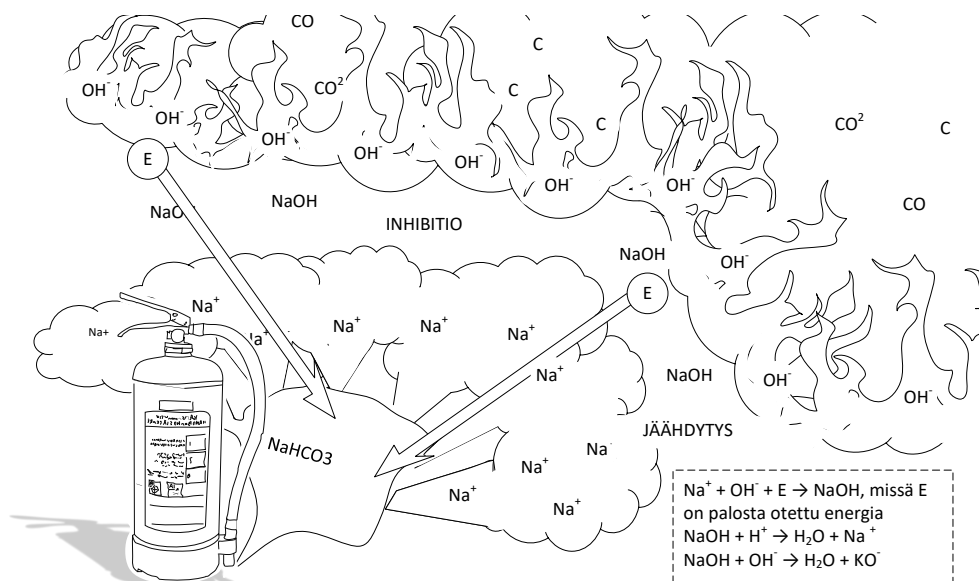


Kuva 42 Jauheiskun käyttöalue sammutustekniikkana

Rajoittavaa taktiikka käytettäessä on huomioitava ja arvioitava ensin palon vaihe ja se, onko aukkotekijä riittävän pieni eli ovatko ikkunat ja muut rakenteet vielä ehjät ja onko tila vielä riittävän suljettu. Käytännössä tämä tarkoittaa alkupalo vaihetta ja täyden palon vaiheen alkuvaihetta, jolloin ikkunat ovat vielä ehyet eikä muutakaan suurta aukkoa ulos tilasta ole. Rakennus- ja huoneistopaloissa tämä tarkoittaa, että kohteen aukkotekijä on oltava alle 5 % seinien ja katon kokonaispinta-alasta. Suurempi aukkotekijä aiheuttaa jauhesammutteen karkaamisen purkautuvien palokaasujen mukana ulos ja inhibiittisen sammutusvaikutuksen katoamiseen.

Palokaasuissa ja pinnoilla olevaa energiaa sidotaan sammutusjauheeseen, levittämällä jauhepilvi huonetilaan ja palokaasupatjaan. Syntyvä hajoamistuote ottaa energiaa palosta jäädyttää ja inhiboi savukaasupatjaa ja vähentää palokaasujen syttymisen edellytyksiä (kuva 43). Haittapuolena tässä menetelmässä on näkyvyyden katoaminen ja se että lämpökamera ei näe syntyvän jauhepilven läpi.

Sammutusjauheilla on kaksi pääasiallista sammutusvaikutusta, jotka voidaan ja jakaa vaikutus periaatteen mukaan liekkivaikutukseen ja pintavaikutukseen. Liekkivaikutus voidaan edelleen jakaa sammutejauheen lämpenemisen ja hajoamisen aiheuttamaan jäädytysvaikutukseen ja hajoamistuotteiden kemialliseen vaikutukseen. Mekanismit ovat pääosissa B- ja C- jauheilla. Pintavaikutus aiheutuu palavan aineen pinnalle muodostuvasta epäorgaanisesta polymeeristä. Mekanismit ovat oleelliset A-palojen sammutuksessa.



Kuva 43 Sammutusjauheen sammutusvaikutus, purkautuva sammutusjauhe muuttaa muotoaan muiksi aineiksi palosta otatettavan energia avulla, samalla syntyy jäädyttävä

ja inhibiittinen sammutusvaikutus, jonka tarkoituksena on saada sammutettava tila syyttömäksi.

Sammutusvaikutus perustuu jauheen hienojakosuuteen ja kemialliseen reaktioon, jossa sammutusjauheena oleva ”suola” (natrium -tai kaliumbikarbonaatti) hajoaa lämmönvaiikutuksesta (noin 100 - 200 astetta) karbonaatiksi, hiilidioksidiksi ja vedeksi. Korkeammissa (noin 800 - 900 astetta) lämpötiloissa kemiallinen reaktio jatkuu karbonaatin hajoamisella alkalimetallioksidiksi ja hiilidioksidiksi. Kaliumoksidi muuttuu kaliumiksi ja hapeksi. Natriumoksidi sulaa. Prosessiin kuluu paljon lämpöä (endoterminen reaktio), joten sammutusvaikutus on myös jäädyttävä. (Vaari 2004, 94).

Purkautuva sammutusjauhe pyrkii katkaisemaan siis liekkipalon sekoittamalla reaktion joukkoon endotermisiä polymeerejä ja epäorgaanisia suoloja (Na^+ , K^+) -radikaaleja, jotka sitoutuvat liekkipalossa syntyviin vapaisiin radikaaleihin (O^\cdot), (H^\cdot), (OH^\cdot) minkä seurauksena syntyy inhibitio ja tulipalon ketjureaktio katkeaa. (Vaari 2004, 94).

Koska kyseessä endoterminen reaktio (lämpöä sitova reaktio), huoneistopalossa oleva lämpöenergia sitoutuu epäorgaanisen suolan reagoidessa (O^\cdot), (H^\cdot), (OH^\cdot) radikaaleihin. Useimmissa sammutusjauheissa lähtöaineena on natrium tai kaliumbikarbonaatti, joista reaktiotuotteena syntyy vapaita natrium -tai kaliumradikaaleja K^+/Na^+ , jotka toimivat kemiallisena sammutteena.

Vapaat radikaalit reagoivat palosta syntyvien kaasujen (O^\cdot , H^\cdot , OH^\cdot) kanssa seuraavan reaktioyhtälön mukaan:

- $\text{KNaHCO}_3 / \text{NaHCO}_3 + \text{E} + \text{K}^+/\text{Na}^+ + \text{HCO}_3 + \text{E} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
- $\text{K}^+/\text{Na}^+ + \cdot\text{OH} \rightarrow \text{KOH}$
- $\text{KOH}/\text{NaOH} + \cdot\text{H} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{K}^+ / \text{Na}^+$
- $\text{KOH}/\text{NaOH} + \cdot\text{OH} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{KOH}/ \text{NaOH}$, missä E on palosta otettu energia

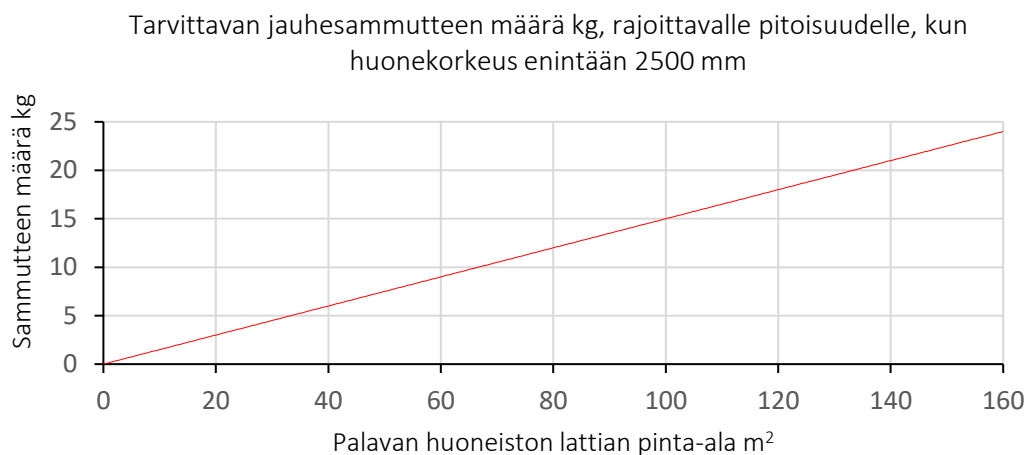
Jauheen ja aerosolin sammutusominaisuudet voidaan kuvata seuraavasti:

1. sammute liekissä (sammutusvaikutus \rightarrow jäädytys / inhibitio), energiaa sitoutuu sammutteen muuttaessa olomuotoaan, vapaat radikaalit estävät palokaasujen syttymisen.

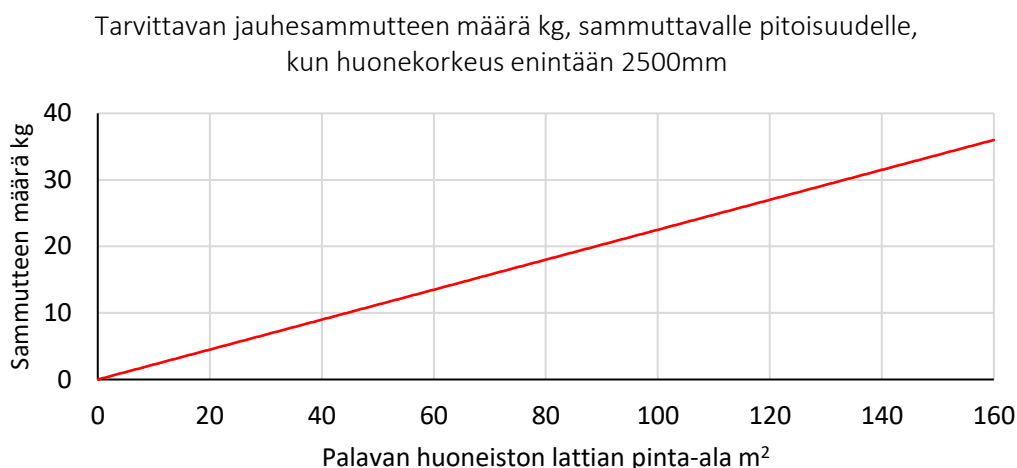
2. sammute kuumissa palokaasuissa (sammutusvaikutus → jäähdytys / inhibitio, energiaa sitoutuu sammutteen muuttaessa olomuotoaan, vapaat radikaalit estävät palokaasujen syttymisen).
3. sammute palamiskelpoisen aineen pinnoilla (sammutusvaikutus → jäähdytys / ja tukahdutus, pyrolyysin estäminen ennakkoon ja palavan aineen peittyminen).

Jauheen ja aerosolin pääasiallinen ja haluttu sammutusvaikutus on liekkialueella tapahtuva jäähdyttävä vaikutus ja savukaasupatjan syttymättömäksi tekeminen syntyvän inhibition avulla. Savukaasupatjassa jauhe taas muuttaa muotoaan lämpötilan vaikutuksesta ja sitoo sitä kautta energiaa palosta, sekä tekee palokaasupatjan syttymättömäksi. Jauheen sammutusteho on käytännössä sen muodostumiseutalpian vastaluku eli kuinka paljon sammutusjauheen tekemiseen on sitoutunut energiaa. Sammutusjauheiden hajoaminen lämmönvaikutuksesta sitoo siis palosta valtavia määriä energiaa kilogrammaa kohden. (Vaari, 2004, 92-99.)

Toimintaperiaate on sama kuin aerosolisammutteissa, mutta raekoko ei niin hienojakoista kuin aerosolisammutteissa, joka näkyy jauheen sotkevuutena. Kuvat 44 ja 45 kertovat tarvittavan määrän sammuttavalle ja rajoittavalla pitoisuudelle.



Kuva 44 Kuvaaja kertoo tarvittavan sammutemäärän jauheelle kilogrammoina suhteutettuna palavan huoneiston pinta-alaan. Kaavion laadinnassa on käytetty huonekorkeutta 2500 mm ja täyden palon vaihetta



Kuva 45 Kuvaaja kertoo tarvittavan sammutemäärän jauheelle kilogrammoina suhteutettuna palavan huoneiston pinta-alaan. Kaaviossa on käytetty huonekorkeutta 2500 mm ja täyden palon vaihetta

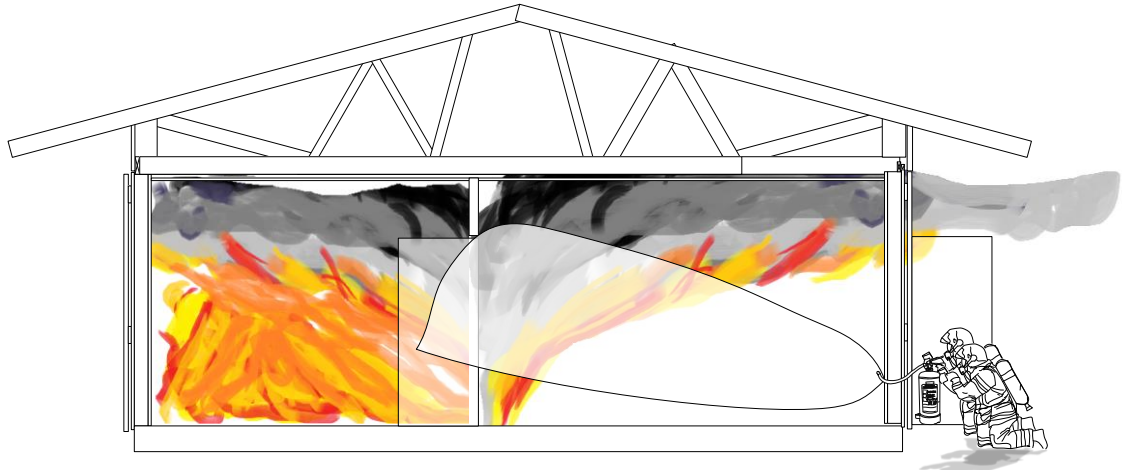
Koska sammutusjauhe pyrkii myös vaikuttamaan liekkipaloon, jää jauheen käyttämisen jälkeen tilaan jäljelle hehkupallo, joka pysyy hehkupalona niin kauan kuin huonetilassa sammutusaine pitoisuus pysyy välillä: n. 14 - 60 g / m³ jauheen raekoon mukaan eli 6 kg jauheen toimintarajoitus liekkipalon katkaisemisessa on noin 100m³

Tilassa olevat aukot, ja ilmanvaihto vaikuttavat myös sammutteen toiminta-aikaan. Aukokotekijän ollessa yli 5 % huonetilan koosta sammutteen kemiallinen vaikutusaika vähennee merkittävästi (C-ominaisuus). Liekkipalo pysyy sammuneena useita kymmeniä minuutteja, kun aukko- ja ilmanvaihtotekijät ovat riittävän pieniä.

Jos kohteessa on jo tapahtunut lieskahdus tai palo on hengitysvaiheessa tai täyden palon vaiheessa on perusteltua käyttää jauheiskua rajoittamiseen ja sammuttamiseen. Alkupalovaiheessa tulee harkita, onko jauheisku järkevä toimenpide. Alkupalovaiheessa jauhetta tulee annostella järkevästi sotkevuuden takia.

Jauheiskua käytettäessä ensitoimenpiteenä palon rajoittamiseen ja sammuttamiseen laukaistaan jauhesammutin kohteeseen luonnollisen aukon kuten oven tai ikkunan kautta tai vaihtoehtoisesti tekemällä aukko rakenteeseen sammutteen saamiseksi palotilaan (kuva 46). Jotta sammutte tuottaisi parhaan mahdollisen lopputuloksen, tulee sammutte laukaista alipaineen puolelle (eli sinne, mistä palo ottaa palamisilman), jauhehiukkaset kantautuvat alkupalon suuntaan ja jauhe leviää tasaisesti tilaan. Palon lämpövirta nostaa jauhepilven

ylös. Jos sammute laukaistaan purkautuviin palokaasuihin, sammutusjauhe purkautuu ulos palotilasta purkauspilven mukana

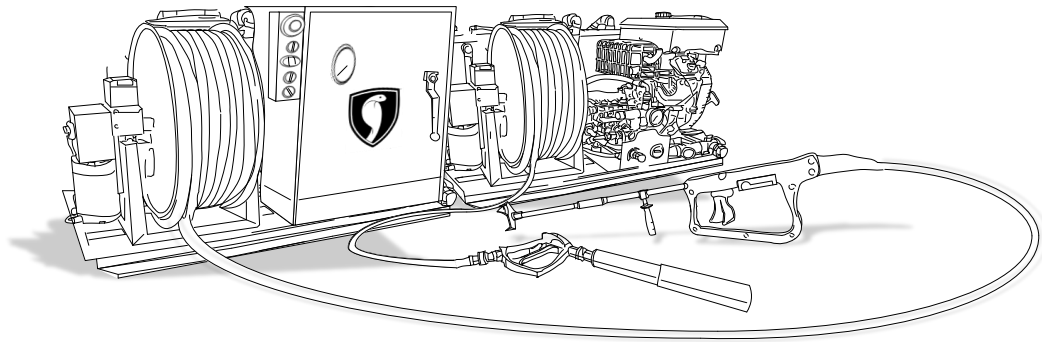


Kuva 46 Jauheisku täydenpalon vaiheeseen, sammute voidaan levittää palotilaan lakaisevalla liikkeellä palotilaan alipaineen puolelle. Sammute voidaan levittää myös palotilaan käyttäen esimerkiksi jauhepistosuihkuputkella. Jauhe pilvi peittää lämpökameran näkyyden hetkellisesti.

Palotilan ollessa suoraan saavutettavissa esimerkiksi ikkunan tai oven kautta, kannattaa sammuttaminen aloittaa yleensä palokaasujen jäädyttelyllä lakaisevalla liikkeellä ylhäältä alaspäin. Odotetaan, että sammutusjauhe pureutuu liekkipaloon ja aiheuttaa endotermisen reaktion. Sammutusvaikutus voidaan lukea visuaalisesti purkautuvien savukaasujen värin ja nopeuden perusteella. Valmistellaan samanaikaisesti sammutushyökkäystä.

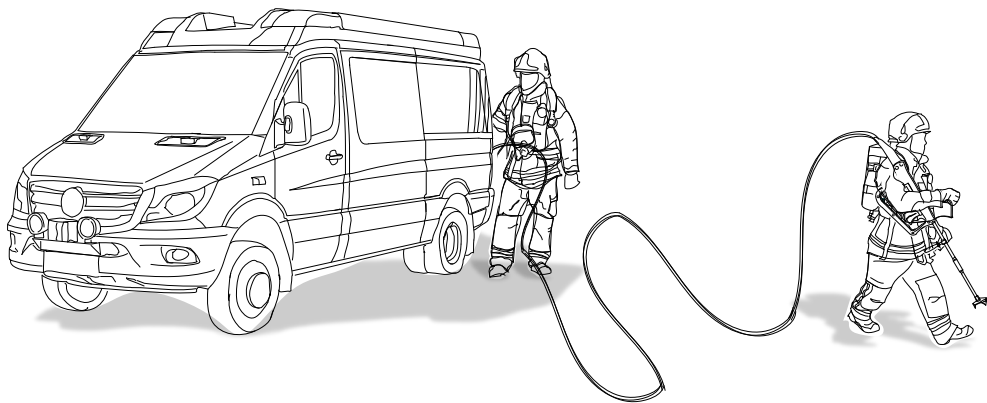
5.3 Korkeapainesammutuslaitteet

Korkeapainesammutuslaitteet (kuva 47) ovat korkeapainejärjestelmiä, joiden sammute on vesi. Korkeapainelaitteiden sammutusteho perustuu veden pieneen pisarakokoon (mikropisaraan) ja pisaroiden suureen yhteenlaskettuun pinta-alaan (eli jäädytystehoon), jäädytykseen ja tukahdutukseen. Korkeapainesammutuslaitteiksi katsotaan ne laitteet, jotka tuottavat yli 20 baarin paineen. Tyypillisesti paine on kuitenkin luokkaa 100 – 300 bar. Paine tuotetaan erillisellä korkeapainepumpulla, joka saa käyttövoimansa joko erillisestä polttomoottorista tai auton voimasiirtojärjestelmään liitetyllä korkeapainepainepumpulla.



Kuva 47 Kuvassa on erilaisia korkeapainejärjestelmiä. Kuvassa vasemmalla COBRA COLD CUT-korkeapainejärjestelmä ja kuvassa oikealla UHPS-järjestelmä.

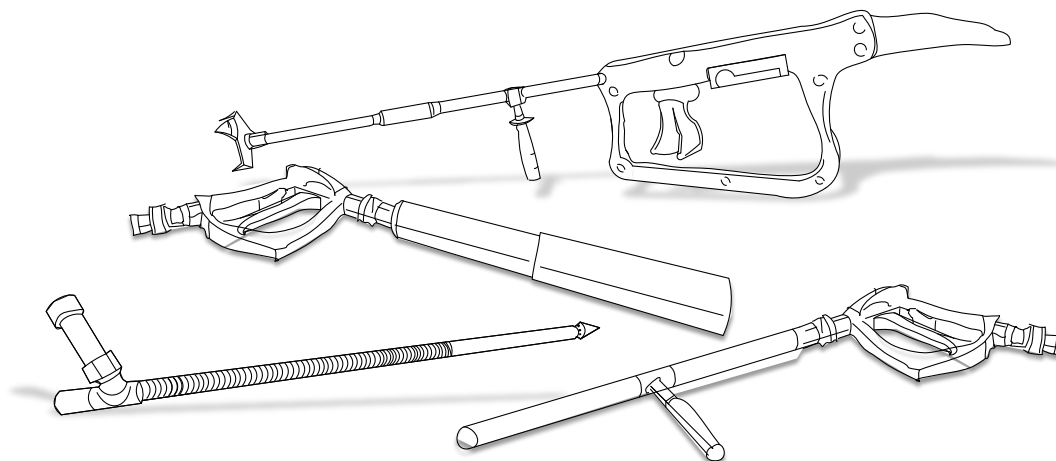
Korkeapainesammutuslaitteiksi katsotaan ne laitteet, jotka tuottavat yli 20 baarin paineen. Tyypillisesti paine on kuitenkin luokkaa 100 – 300 bar. Paine tuotetaan erillisellä korkeapainepumpulla, joka saa käyttövoimansa joko erillisestä polttomoottorista tai auton voimasiirtojärjestelmään liitetyllä korkeapainepainepumpulla. Korkeapainelaitteistojen luotettavuutta parhaiten kuitenkin voidaan lisätä siirtämällä korkeapainelaitteistojen voimanto ajoneuvon käyttövoiman lähteeseen, jolloin tarvittavan tilan ja kantavuuden määrä vähenee ja ajoneuvon suorituskyky nousee (kuva 48).



Kuva 48 Korkeapainesammutuslaitteisto voidaan integroida esimerkiksi kärkiyksikköön tai sammutusautoon.

Korkeapainesammutuslaitteistojen letkustot ovat yleensä kelalla ja niiden toimintaetäisyys rajoittuu kelalla olevan työvaran mukaan. Työvaraa on kuitenkin mahdollista jatkaa erillisillä letkuistoilla. Letkustot ovat yleensä sisämitaltaan 19 - 25mm ja pituudeltaan

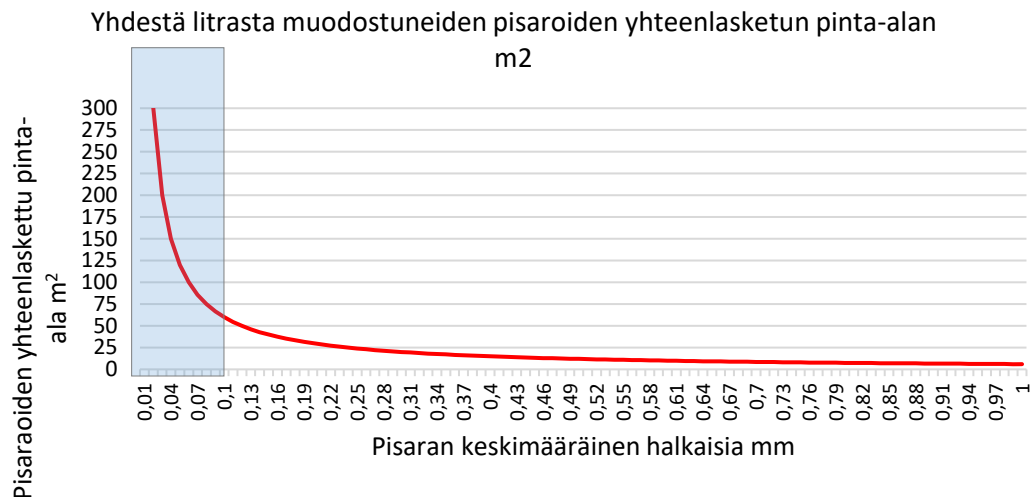
noin 50 – 80-metrisiä. Letkut ovat yleensä rakenteeltaan teräspunoskumiletkustoja. Korkeapainelaitteistoihin on mahdollista lisätä erilaisia erikoistyökaluja kuten sammutusleikkuri tai erilaisilla suuttimilla ja suihkukulmilla varustettuja pistooli- ja käyttökahvastoja, vaahdotteen levittämiseen soveltuvia laitteita sekä esimerkiksi pistosuihkuputkisiatyyppejä työkaluja (kuva 49).



Kuva 49 Kuvassa on korkeapainelaitteiden erilaisia sovelluksia, kuvassa vaahdon levitykseen soveltuva käyttökahvastoja, sammutinleikkurin peitsi sekä korkeapainepistosuihkuputki, sekä suihkukulmiltaan säädettävä käyttökahvasto.

Korkeapainesammutuslaitteille on tyypillistä se, että laitteesta tuleva vesi on hienojakoista ja pisarakooltaan mikropisaraa eli lähes sumumaista. Mikropisaraksi katsotaan pisarat, joiden keskimääräinen pisarakoon halkaisija on alle 0,10 mm. Tyypillisiä esimerkkejä näistä laitteistosta ovat UHPS ja COBRA sekä sammutusajoneuvojen pumppuihin valmiiksi asennetut korkeapainesammutusjärjestelmät. Käyttöpaineet näissä laitteissa ovat 60 – 300 bar, veden virtaaman ollessa 38 – 70 litraa minuutissa ja jopa 120 litraa/minuutissa. Osassa korkeapainesammutuslaitteistoista on myös säädettäviä suihkukulmia. Tyypillisesti korkeapainelaitteen yhtenäinen kantama on 4-6 metriä ja vesisumun kantama 6 - 16 metriä.

Korkeapainelaitteiden sammutusteho perustuu veden pieneen pisarakokoon mikropisaraan (pisara koko alle 0,1 mm) eli nopeaan energian sitomiseen, jäähtymiseen ja vesihöyryn synnyttämään tukahdutukseen. Mikropisaran pieni koko tarkoittaa suurta yhteenlaskettua pinta-alaa. Kuvassa 50 on kuvaaja, joka kertoo mikropisaroiden yhteen lasketun pinta-alan.



Kuva 50 Kaaviosta nähdään yhdestä litrasta muodostuneiden pisaroiden yhteenlasketun pinta-alan m², mikropisaroiden 0,01 -0,1 osuus on korostettu kaaviossa.

Kuvan 50 kuvaajasta voidaan todeta että, pisarakoolla on suuri merkitys jäähdytysvaikutukseen. Esimerkiksi keskimääräisen pisaran koon ollessa luokkaa 0,4 mm (sumusuihkussa käytettävää pisarakokoa) yhdestä litrasta vettä syntyy pisaroita, joiden yhteenlaskettu pinta-ala on n. 15 m². Keskimääräisen pisaran koon ollessa luokkaa 0,08 (mikropisararan koko) yhdestä litrasta vettä syntyy pisaroita, joiden yhteen laskettu pinta-ala on noin 75 m².

Oletetaan, että sammutettavassa tilassa on noin 500 asteisia savukaasuja ja vettä suihkutetaan sammutussuihkulla pisarakoon keskimääräisen halkaisijan ollessa luokkaa 0,4 mm savukaasupatjaan. Lämpöenergia siirtyy aina korkeammasta lämpötilasta matalampaan. Lämpövirtaa (lämpövuota) voidaan karkeasti arvioida lämmönsiirtokertoimen avulla. Karkeasti voidaan arvioida, että yhdestä litrasta vettä lämpövirta on savusta vesipisaroihin 3,5 MW. Oletetaan taas, että samassa sammutettavassa tilassa on taas noin 500 asteisia savukaasuja ja vettä suihkutetaan mikropisarana (pisarakoon keskimääräisen halkaisija ollessa luokkaa 0,08) savukaasupatjaan. Lämpövirta savusta vesipisaroihin on tällöin 51,45 MW. Lisäksi molemmissa tapauksissa yhdestä litrasta tilaan syntyy 500-asteista tukahduttavaa vesihöyryä, jonka tilavuus on n.3,5 m³.

Tarkasteltaessa sammutustehoa teoriassa eli verrattaessa suihkuputken ja erään korkeapainelaitteen virtaamaa toisiinsa 500 °C savukaasupatjassa. Oletetaan että kaikki vesi

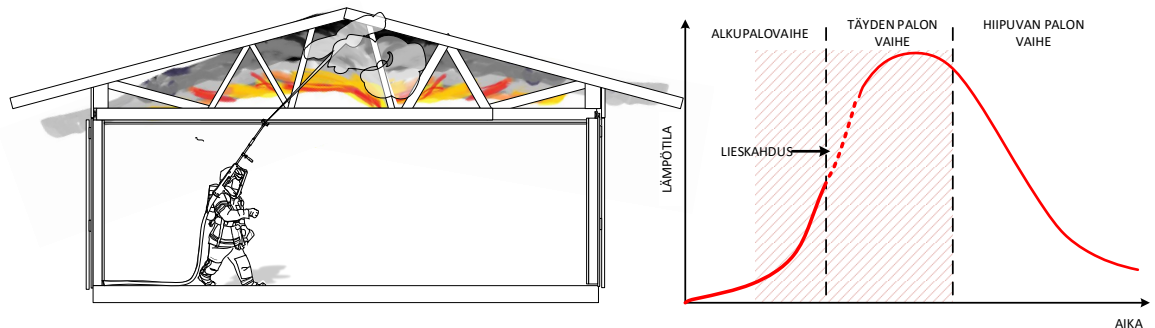
höyrystyy. Näille laitteille voidaan saada määriteltyä sammutusteho, virtaaman ja pisarakoon sekä lämpövirran perusteella. Suihkuputken, jonka virtaama on 5 l/s ja sammutusteho 17,5 MW/s ja minuutin aikana tuotettu sammutusteho on siis 1050 MW, joka vastaa 300 litraa vettä lisäksi tästä vedestä syntyy sumusuihkulla 1050 m³ 500-asteista vesihöyryä. Vastaavasti erään korkeapainelaitteen virtaama 0,68 l/s ja sammutusteho 35 MW/s ja minuutin aikana tuotettu sammutusteho on siis 2010 MW, joka vastaa 38l vettä, tästä syntyy 500-asteista vesihöyryä 133 m³. Tuloksesta voidaan päätellä, että mikropisaran lämmön absorbointikyky on suurempi kuin sumusuihkupisaran, tosin tukahduttavaa vesihöyryä syntyy huomattavasti vähemmän pienellä virtauksella.

Verrattaessa korkeapainelaitteiden suorituskykyä ja sammutustehoa toisiinsa, huomataan, että tuo 0,68 l/s ei ole laitteiden tehokkaammasta päästä. Korkeapainelaitteista saadaan myös virtaamaa 1,0 – 2 l/s. Näiden laskennalliset sammutustehot ovat 54,54 MW/s ja minuutin aikana tuotettu laskennallinen sammutusteho 3272,4 MW ja syntyvän 500 °C vesihöyryn määrä 210 m³. 2 l/s tuottavan laitteen sammutusteho oli 109,08MW/s ja minuutin aikana tuotettu laskennallinen yhteenlaskettu sammutusteho oli 6544MW ja syntyvän 500 °C vesihöyryn määrä oli 410 m³.

Korkeapainelaitteiden sammutusominaisuuksia ovat jäähditys, riittävän pieni pisarakoko (mikropisara) palosta vapautuvan energian (lämmön) sitomiseen ja veden nopeaan höyrystymiseen (faasimuutokseen). Syntyvä mikropisara toimii myös aerosolimaisesti (leijuen) huonetilassa kulkeutuen termisen nosteen ja palosta aiheutuvien virtausten matkassa.

Pisarakoon pienessä myös pisaran massa vähenee ja tunkeutumiskyky heikkenee ja siitä tulee altis ilmavirtauksille. Mikropisaran nopean höyrystymisen käänköpuolena on palovammariski. Syntyvät pisarat höyrystyvät välittömästi tultuaan ulos suuttimen päästä, ja tämä aiheuttaa sammuttajalle vaaraa. Siksi nykyisillä korkeapainelaitteilla, joiden virtaama on alle 1 litra sekunnissa, ei tulisi lieskahduksen jälkeen suorittaa savusukellusta sisälle, vaan pidättäytyä palavan tilan jäähdyttelyssä ulkoa käsin. Korkeapainelaitetta voidaan käyttää turvallisesti ulkoa käsin palon rajoittamiseen ja sammuttamiseen myös täyden ja hiipuvan palon vaiheessa (kuva 51). Käytettäessä korkeapainelaitteita joissa ei ole sammutinleikkurin leikkuuominaisuutta, voidaan rakenteisiin tehdä tarkoitukseen sopivia

sammutusaukkoja käsityökaluilla tai hyödyntää olemassa olevia rakenteita kuten ovia ja ikkunoita.



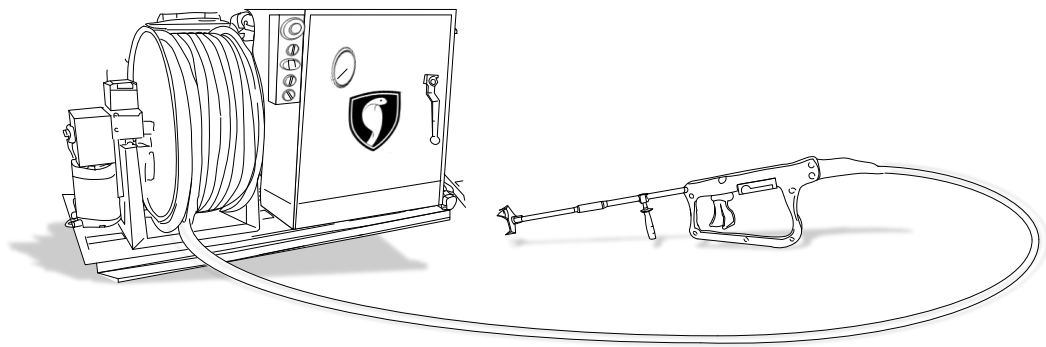
Kuva 51 Korkeapainelaitteet soveltuvat hyvin rajatun tilan palojen sammuttamiseen, Ku-
vassa käytetään COBRA-korkeapainesammutusjärjestelmää ontelopalon sammuttamiseen ja rajoittamiseen. Vieressä oleva kaavio kertoo mihin huoneistopalon vaiheisiin korkeapainesammutusjärjestelmä soveltuu.

Valittaessa korkeapainelaitteita käytettäväksi taktiikaksi ja tekniikaksi, teknisenä toteutus-
pohjana on letkukelalaiteselvitys. Pelastusryhmän jäsenten työnjako on letkulaiteselvityksen mukainen.

5.3.1 Cobra - sammutinleikkuri

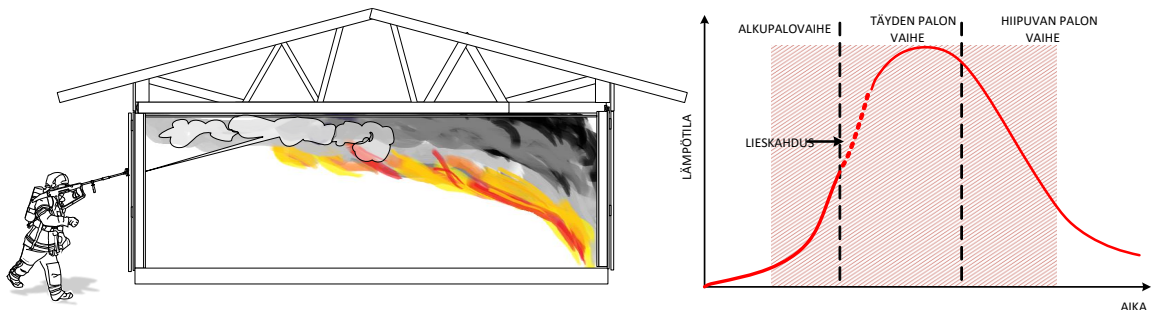
Cobra on korkeapainesammutuslaitteisto, johon on integroitu abrasiivilla (metallioksidikuulilla) toimiva leikkuri (kuva 52). Leikkurilla voidaan leikata ja läpäistä materiaalia kipinöimättömästi. Sammutinleikkuri on alun perin kehitetty betoni ja teräsrakenteiden läpäisyyn. Vesi on toimii abrasiivin ajakeaineena. Cobran vesivirtaama on noin 60 -70 litraa minuutissa ja käyttöpaine noin 300 bar. Sammutinleikkurin tuottama paine riittää läpäisemään yksikertaisia puu- ja levyrakenteita ilman abrasiivia.

Normaali rekyyliksi peitselle on mitattu noin. 150 Nm. Lähtönopeus vedellä tällaisella laitteella on normaalisti 200 m/s ja yhtenäinen kantama 5 - 6 metriä. Leikkuu nopeus sammutinleikkurilla on 10 mm terästä minuutissa. (Jäntti, Loponen & Miettinen 2009, 20)



Kuva 52 Havainne kuva COBRA sammutusjärjestelmän komponenteista, vasemmalta oikealle letkukela ja letku, ohjainyksikkö, korkeapainepumppu ja käyttöpaneeli, sekä laitteen peitsi.

Laite voidaan sijoittaa esimerkiksi sammutusautoon perinteisen keskipakopumpun rinnalle tai asentaa kärkiyksikköön (kuvat 54 ja 48). Laite soveltuu sammuttamaan erilaisia paloja ja laite toimii rajatun tilan paloissa. Laitteella voidaan tehokkaasti rajoittaa ontelo-paloja sekä huoneistopaloja. Laite on pääsääntöisesti tarkoitettu ulkoa sisältä sammuttamiseen ja tehokkaaseen rajoittamiseen.



Kuva 53 Havainnekuva sammutinleikkurin käytöstä, tilaan saadaan sammutetta lävistämälle esimerkiksi ikkunan karmi tai oven peili.

Sammutinleikkurilla voidaan sammuttaa palo tarvittaessa ulkoa käsin (kuva 53). Yksinkertaisimpia ja helpoimpia paikkoja läpäistä rakenteita ovat ikkunoiden karmilaudat. Sammutinleikkurilla ei kannata lävistää ikkunan alapuolella olevaa rakennetta, sillä on todennäköistä, että ikkunan alla on lämpöpatteri.

Sammutinleikkurin peitsi tulisi suunnata noin 20 – 30 asteen kulmassa kohti huoneen kattoa. Huoneistopalon sammuttamisessa on tärkeää tunnistaa, milloin sammute pääse

perille haluttuun paikkaan. Sammutinleikkuria käytettäessä onkin erittäin tärkeää, että koh- teessa tiedustellaan aktiivisesti lämpökameralla palon etenemisestä ja laitteen tuottamasta sammutusvaikutuksesta. Sammutinleikkurin paikkaa on aika ajoin siirrettävä aina parem- paan paikkaan paloon nähden.

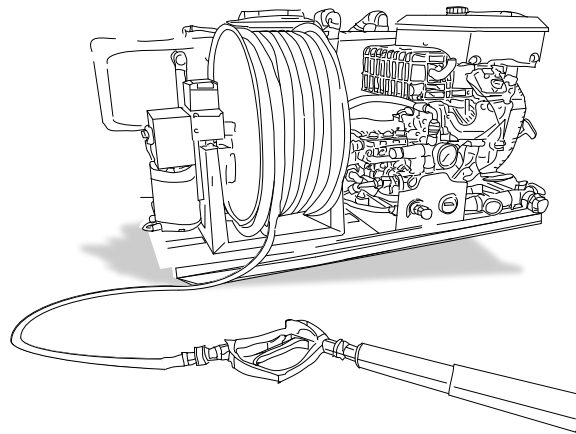


Kuva 54 Havainnekuva Cobra-sammutinleikkuri integroituna sammutusajoneuvoon.

5.3.2 UHPS

UHPS (Ultra High Pressure System) on korkeapainejärjestelmä (kuva 56), joka muodos- taa sammutteen veden ja vaahdotteen kanssa ja jonka sammutusteho perustuu veden pie- neen pisarakokoon mikropisaraan (pisara koko alle 0,1 mm) eli nopeaan jäädyttämiseen ja vesihöyryn synnyttämään tukahdutukseen sekä pyrolyysin katkaisuun eristämällä py- rolyysin vaahdotteen avulla palavilta pinnoilta. Lisäksi laitteessa käytettävä vaahdote vä- hentää veden pintajännitettä ja parantaa sen tunkeutumiskykyä huokoisiin materiaaleihin.

UHPS-laitteiston käyttöpaine on 100 bar ja se saa käyttövoimansa erillisestä polttomoot- torista. Laitteen vesivirtaama on 38 litraa minuutissa. Laitteen tuottama keskimääräinen pisarakoon halkaisia on 0,08 - 0,10 mm. Laitteessa on säädettävät suihkukulmat suoralle mikropisara suihkulle, joka on portaattomasti säädettävissä 30 – 110 asteen kulmaan.

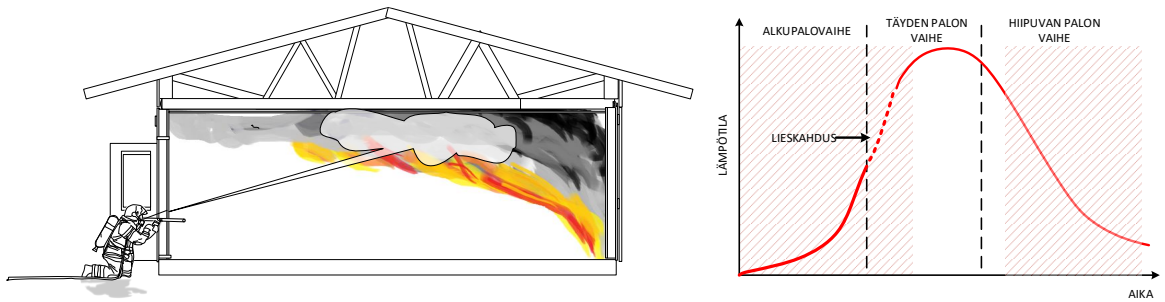


Kuva 55 Havainnekuva UHPS-laitteesta vasemmalta oikealle: käyttökahvasto, letkusto, kela, korkeapainepumppu mittaristo, moottori ja säiliöyhde

Sammutteen sekaan voidaan lisätä vaahdotetta 0 - 6 % välillä. Suorassa suihkukulman asennossa laitteen tehokas toiminta matka on noin 10 m. Suihkukulman kasvaessa laitteen tehokas toimintaetäisyys laskee. Lisäksi laitteesta saatavan sammutussuihkun enimmäispituuteen vaikuttaa käytettävä vaahdote. Vaahdote vähentää sammutteen kantamaa, vaahdotteen syntyessä vaahtokuplan pinta-ala on suurempi kuin vesipisaran, joten ilmavastus hidastaa vähämässaisen ja suuri pinta-alaisen sammutteen nopeutta. Laitteen kelalla olevan letkun pituus rajoittaa selvityspituutta.

Laitteen sammutusominaisuuksia ovat jäähtytys, riittävän pieni pisarakoko (mikropisara) palosta vapautuvan energian (lämmön) sitomiseen ja veden nopeaan höyrystymiseen. Mikropisara toimii aerosolimaisesti (leijuen) huonetilassa kulkutuen termisen nosteen ja palosta aiheutuvien virtausten matkassa.

Laitteisto ei sovellu palavan rakennuksen sisällä tapahtuvaan sammutukseen lieskahduksen jälkeen. Laite soveltuu sammutukseen huoneistopalon ollessa vielä alkupalovaiheessa. Laitteen vähäinen vesivirta ei ole riittävä turvallisen savusukellustehtävän suorittamiseen. Laite soveltuu avopalojen sammuttamiseen. Toki laitteella voidaan yrittää rajoittaa lieskahduksen jälkeistä huoneistopaloa esimerkiksi huoneiston ovelta tai ikkunasta (kuva 56). Laitteen pieni pisarakoko aiheuttaa kuitenkin riskin palovammojen saantiin. Nopeasti höyrystyvät mikropisararat aiheuttavat höyrypilven käyttäjän eteen.



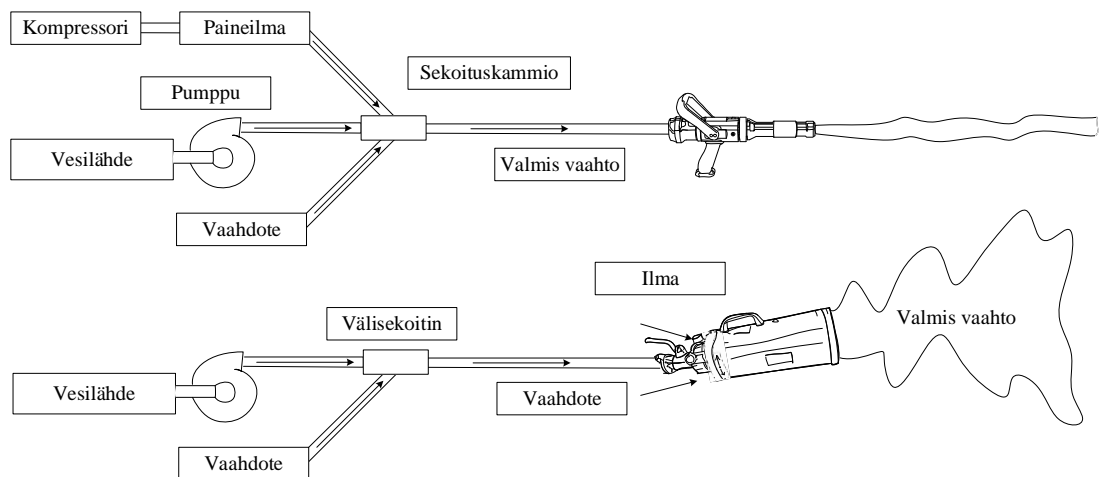
Kuva 56 Sammutteen saaminen palotilaan voidaan tehdä joko epäsuorasti tai suorasti käyttäen hyväksi rakenteissa olevia luonnollisia aukkoja, kuten ovet, ikkunat tai itse tehdyt aukot rakenteita rikkomalla.

Pienen vesivirtaaman omaavilla korkeapainelaitteella sammuttaminen tapahtuu ikkunan tai oven kautta, jos palo on kehittynyt pitkälle. Jotta sammutte tuottaisi parhaan mahdollisen lopputuloksen tulee sammutte suunnata palokaasupatjaan ja kuumille pinnoille (nopea höyrystäminen), jolloin sammutusmekanismit (tukahdutus, jäähditys) toimisivat parhaiten. Sammutusvaikutusta voidaan parantaa lisäämällä sammutteen mukaan vaahdotetta. Sammutetta tulee myös suunnata kohti kaasuuntumiskohtaa tilanteeseen sopivalla suihkukulmalla. Vaahdotetta voidaan käyttää uudelleen syttymisen estämiseen. Vaahdotte muodostaa kalvon ja eristeen palavan aineen päälle jolloin pyrolyysi loppuu.

5.4 Painevaahtojärjestelmät (CAFS)

Painevaahtojärjestelmät eli CAFS-järjestelmät (Compressed Air Foam Systems) ovat järjestelmiä, joissa sammutte eli vahto tehdään veden ja vaahdotteen sekä paineilman avulla (kuva 57 ylhäällä). Painevaihtojärjestelmät siis poikkeavat perinteisistä NAFS (Nozzle Aspirated Foam Systems)-vaahtojärjestelmistä (kuva 57 alhaalla), joissa veden ja vaahdotteen sekaan ilma lisätään vasta vesi-vaahdotteeseen tullessa ulos vaahdotusputkelta.

CAFS-järjestelmän sammutte valmistetaan vedestä vaahtonesteestä ja paineilmosta, 1 osa vettä ja vaahdotetta (0,3 -1,0 %) ja 6 osaa paineilmaa. Tuotto on noin 140 l vettä + vaahdotetta+ paineilmaa = n. 1500 l sammutetta / minuutissa. Kantamaa suoralle vaahdosuihkulle saadaan 20 - 30 metriä paineen ollessa noin 8 baaria.



Kuva 57 ylhäällä periaate kuva painevaahdotteen valmistuksesta ja NAFS-vaahdon valmistuksesta CAFS-laitteiston komponentit ylhäällä, CAFS- laitteisto koostuu 7 pääkomponentista vesilähteestä, pumpusta, kompressorista, vaahdote säiliöstä, sekoittajasta, letkustosta ja vaahtosuihkuputkesta. Painevaahdotjärjestelmään voidaan liittää myös erilaisia peitsiä ja läpilyöntiputkia.



Kuva 58 Kuvassa vasemmalla ja keskellä perinteisen NAFS-järjestelmän vaahtosinko ja vaahtopistooli. Kuvassa oikealla CAFS suoravaahdotputki

Perinteisesti vaahdot tehdään (kuva 57) vedestä, vaahdotteesta ja ilmasta.

1. Vesi ajetaan välisekoittajaan, jossa veteen otetaan mukaan vaahdotetta 1-6 %.
2. Veden ja vaahdotteen sekoituttua syntyy vaahtoliuos, joka matkaa suuttimelle.
3. Ilma lisätään vaahtoliuokseen vasta suuttimella, vaahdot syntyy vaahtoliuoksen purkautuessa suuttimelta (raskas letku, paljon vettä).

CAF -vaahdot tehdään myös vedestä, vaahdotteesta ja ilmasta, jossa:

1. Vesi ajetaan sekoituskammioon, jossa veteen otetaan mukaan vaahdotetta 0,1-1 %.

2. Veden ja vaahdotteen sekoituttua, syntyy vaahtoliuos, johon sekoitetaan samalla ilmaa. Valmis vaahto matkaa suuttimelle (kevyt letku, ilmaa paljon.).

CAF -Vaahdotteet jaetaan kolmeen eri tyyppiin koostumuksensa ja ominaisuuksiensa mukaan:

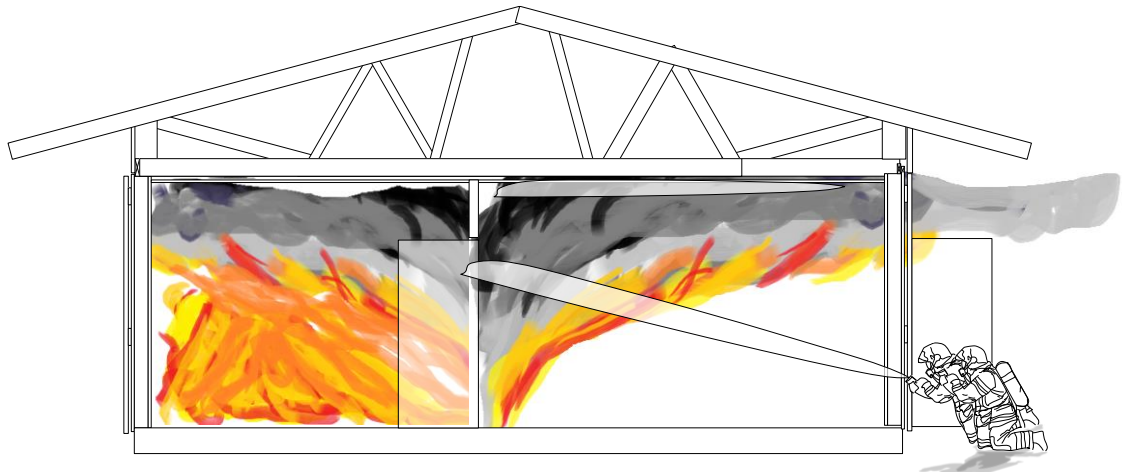
1. WET (MÄRKÄÄN)
2. MEDIUM (VÄLIMALLLIIN)
3. DRY (KUIVAAN).

Valmistettavan vaahdotteen ominaisuudet määrittelevät kunkin vaahtotyypin soveltuvat käyttökohteet. Verrattaessa CAF-vaahtoja toisiinsa voidaan todeta, että määrässä CAF-vaahdossa on suurin osuus vettä ja pienin osuus ilmaa. Vaahto turpoaa noin 1-5 kertaiseksi eli 1 litrasta vaahtoliuosta noin tulee 1 - 5 litraan vaahtoa. Vaahto on raskasta vaahtomaista ja vetistä, joten se soveltuu sisällä sammuttamiseen parhaiten. Märällä CAFS-vaahdolla on eniten kantamaa ja tunkeutumiskykyä. Märkä CAF-vaahto hajoaa nopeiten (25 % tuhoutuu itsestään alle 30 sekunnissa) ja tarttuu huonoiten pinnoille, koska sillä vähiten tartunta pinta-alaa. (NFPA 2005.)

Medium CAF-vaahto laajenee ja turpoaa 5 -10 kertaiseksi. Yhdestä litrasta vaahtoliuosta syntyy siis 5 - 10 litraan vaahtoa. Vaahto on koostumukseltaan kuin vetistä partavaahtoa ja soveltuu parhaiten suoraan sammutukseen. Välimallin vaahdossa on sopivasti kantamaa ja riittävästi tunkeutumiskykyä. Vaahto hajoaa kohtuullisessa ajassa eli noin 25% tuhoutuu itsestään alle 90 sekunnissa. Medium vaahto tarttuu hyvin pinnoille, ja valuu hitaasti, sillä välimallin vaahdolla on paljon tartunta pinta-alaa. (NFPA, 2005.)

Kuivassa CAF-vaahdossa on pienin osuus vettä ja suurin osuus paineilmaa, mutta se laajenee ja turpoaa 10-kertaiseksi eli siis 1 litrasta vaahtoliuosta tulee 10 litraan vaahtoa. Syntyvä vaahto on kuin partavaahtoa. Kuiva CAF-vaahto soveltuu parhaiten eristämiseen ja suojaamiseen, sillä sammutteessa on vähän vettä. Sammutteessa on kohtuullisesti kantamaa mutta ei kunnollista tunkeutumiskykyä. Kuiva sammutusvaahto hajoaa hitaimmin n.25 % tuhoutuu itsestään alle 120 sekunnissa. Kuiva CAFS-vaahto tarttuu parhaiten pinnoille koska sillä eniten tartunta pinta-alaa. (NFPA 2005.)

Painevaahtojärjestelmällä sammuttaminen perustuu suoraan sammutustekniikkaan, eli painevaahdolla pyritään vaikuttamaan suoraan palaviin pintoihin. Palavat pinnat eristetään painevaahtopatjan alle, jolla pyritään katkaisemaan pyrolyysi ja estämään tulipalon takaisinkytkentä eristämällä palavat pinnat vaahdotteella (kuva 59).



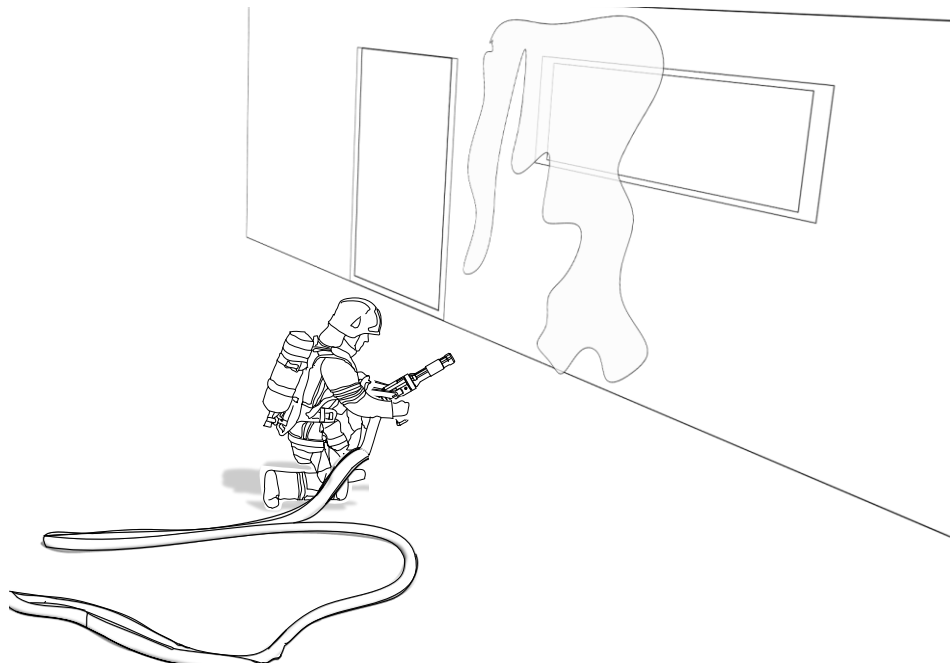
Kuva 59 Painevaahdolla voidaan huoneistossa olevaa paloa sammuttaa ulkoapäin. Sammuttaminen tapahtuu levittämällä painevaahtoa suoralla sammutustekniikalla palaville ja palamiskelpoisille pinnoille. Vaahdon levittämiseen tarvitaan apuvälineeksi lämpökamera, jolla nähdään se, minne sammutetta tarvitaan. Sammute levitetään huonetilaan pitkän tasaisin maalaavin liikkein.

Painevaahtojärjestelmästä purkautuva sammute pyrkii katkaisemaan palon eristämällä palavat pinnat vaahdotteen avulla, sammutusvaikutus on tukahduttava ja jäähdyttävä. Osa purkautuvasta sammutteesta hajoaa lämmön vaikutuksesta. Vaahdo hajoaa veden höyrystyttyä, minkä seurauksena syntyy jäähdyttävää sammutusvaikutusta. Vaahdon hajotessa syntyy vesi-vaahtoliuos seos, jolla pieni pintajännite ja hyvä tunkeutumiskyky huokosiin palaviin pintoihin. Vaahdotte siis muodostaa kalvon ja eristepatjan palavan materiaalin päälle estäen hapen yhtymisen palavaan aineeseen.

CAFS-järjestelmää voidaan käyttää palon rajoittamiseen levittämällä sammutetta suojattavien osien päälle. Luonnollisen aukon kuten oven tai ikkunan kautta tai vaihtoehtoisesti tekemällä aukko rakenteeseen sammutteen saamiseksi palotilaan. Jotta sammute tuottaisi parhaan mahdollisen lopputuloksen, tulee sammute suunnata palokaasupatjan läpi katto-

ja seinäpinnoille sekä suoraan alkupaloon. Jos painevaahdosammute laukaistaan purkautuvien palokaasujen suuntaisesti, niin saadaan palokaasut raivattua tilasta pois laitteen aiheuttaman ylipaineen ja siitä aiheutuvan virtauksen takia. On muistettava tehdä poistoaukko.

Jotta sammutusta palavaan rakennukseen voidaan tehdä painevaahdolla turvallisesti, on sammuttajan tunnettava ja ymmärrettävä huoneistopalojen ilmiöt ja se, mihin laitteen toiminta perustuu. Lisäksi sammuttajan on ymmärrettävä, että painevaahdon sammutusvaikutus tulee viiveellä. Painevaahtolaitteita ei ole alun perin suunniteltu huoneistopalon sammuttamiseen sisältä käsin, eikä se tarjoa riittävää suojaa kuumilta palokaasuilta tai pistoliekillä. Painevaahdolla ei voida tehdä savukaasupatjaa syttymättömäksi. Laitteella voidaan rajoittaa paloa (kuva 60) ulkoa käsin rakennuksen luonnollisista aukoista. Sammutteena painevaahto voi aiheuttaa liukastumisriskiä ja vaahdolla täytetty työjohto voi taittua tiukoissa kulmissa sellaiseen asentoon, että sammutteen virtaus suihkuputkesta lakkaa.



Kuva 60 Painevaahdolla voidaan suojata ulkoapäin palavia pintoja tehokkaasti.

6 RAKENNUSPALOJEN TAKTIIKKA

Valittavaan taktiikkaan ja tekniikkaan vaikuttavat rakennuksen tyyppi ja paloluokka, palon sijainti ja laajuus sekä palon vaihe. Käytettävään taktiikkaan vaikuttavat kuitenkin eniten käytössä olevat resurssit joista eritoten kaluston laatu ja miehistön määrä. Kaluston ja menetelmien tuntemus lisäävät siis käytettävien taktiikoiden ja tekniikoiden sekä vaihtoehtojen määrää tilanteen nopeasti haltuun saamiseksi. Käytettävät taktiikat voidaan määrittellä käytettävän taktiikan päätyypin mukaan. Taktiikoiden päätyypit ovat rajoittava taktiikka ja hyökkäävä taktiikka. Valittavaa taktiikkaa voidaan muuttaa, kun tilanne muuttuu edullisempaan suuntaan tai taktiikoita voidaan tarpeen mukaan yhdistellä halutun lopputuloksen aikaan saamiseksi.

6.1 Rajoittava taktiikka

Rajoittavaa taktiikkaa käytetään, kun käytettävien resurssien määrä ja laatu ovat onnettomuuteen ja tehtävän hoitoon verrattuna alimitoitettut. Rajoittavan taktiikan tarkoituksena on pysäyttää vahinkokehitys ja vakiinnuttaa tilanne sellaiseksi, että lisäresurssien saapessa kohteeseen voidaan tehokas pelastustoiminta aloittaa ja siirtyä käyttämään hyökkäävää taktiikkaa.

Rajoittavaksi taktiikaksi voidaan mieltää täydentävien sammutusmenetelmien osalta esimerkiksi heittosammutteiden käyttö, jauheiskun teko, pistosuihkuputkien käyttö, korkeapainelaitteiden käyttö tai painevaahdotteiden käyttö tulipalon rajoittamiseksi rakennuksen tai palotilan ulkopuolelta. Perinteisten sammutusmenetelmien osalta voidaan tavanomainen sammutustekniikka lukea rajoittavaksi taktiikaksi, kun sammuttaminen tapahtuu palotilan tai rakennuksen ulkopuolelta käsin.

6.2 Hyökkäävä taktiikka

Hyökkäävää taktiikkaa käytetään silloin, kun käytettävien resurssien määrä ja laatu ovat onnettomuuteen ja tehtävän hoitoon verrattuna sopivat tai ylimitoitettut. Hyökkäävän tak-

tiikan tarkoituksena on pysäyttää vahinkokehitys nopeasti ja vakiinnuttaa tilanne sellaiseksi, että tehokas pelastustoiminta voidaan aloittaa mahdollisimman pian onnettomuuspaikalla.

Hyökkääväksi taktiikaksi voidaan mieltää perinteisten sammutusmenetelmien ja teknikoiden osalta tavanomainen sammutustekniikka, pienpisara sammutustekniikka, ylipainehyökkäys ja alipainehyökkäys. Täydentävien sammutusmenetelmien osalta hyökkääväksi taktiikaksi voidaan lukea kaikki menetelmät, kun niitä käytetään sammutushyökkäyksen tukena. Esimerkkinä voidaan ajatella tilannetta, jossa palokaasut tehdään syttömättömiksi jauheen tai aerosolin avulla. Tämän jälkeen tehdään sammutushyökkäys käyttämällä jotakin perinteistä menetelmää. Tätä taktiikka voidaan kutsua yhdistelmäsammuttamiseksi tai toimintaa tukeväksi täydentäväksi menetelmäksi.

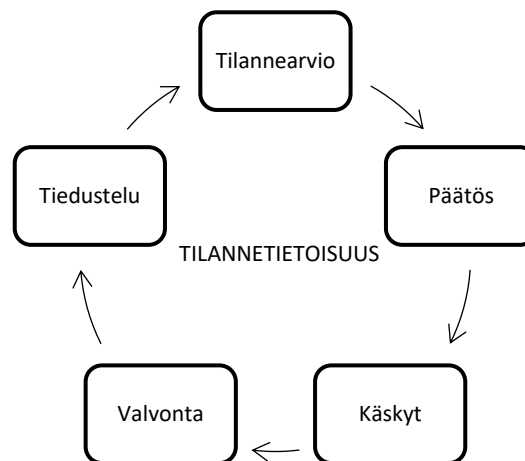
6.3 Rakennus ja huoneistopalojen taktiset yleisperiaatteet

Pelastustoiminnan johtamisessa rakennuspalojen osalta voidaan soveltaa kuvan 61 peruseriaatteita:

TAKTISET YLEISPERIAATTEET	
PELASTA:	• IHMISET, OMAISUUS JA MUUT ARVOT
TORJU SUURIN UHKA:	• MITEN ONNETTOMUUS KEHITTYY
LUO PAINOPISTE:	• KÄYTÄ VOIMAA (HENKILÖSTÖ JA KALUSTO)
KÄYTÄ OLOSUHTEITA HYVÄKSI:	• RAKENTEET, SÄÄ, MAASTO
HUOLEHDI JATKUVUUDESTA:	• VAIHTOMIEHISTÖ, HUOLTO
TIEDUSTELU JATKUVASTI:	• HANKI AKTIIVISESTI TIETOA
ENNAKOI:	• PIDÄ YLLÄ TILANNEKUVAA, VARAUDU MUUTOKSIIN
JOHDA AKTIIVISESTI:	• RAPORTOINTI, TILANNEILMOITUKSET, ETUPAINOTTEISUUS

Kuva 61 Taktiset yleisperiaatteet, (Neuvonen, Honkanen, Lerssi & Leppioja 2007.)

Taktisten yleisperiaatteiden lisäksi tilannepaikalla tapahtuvaan toimintaan sekä taktiikan ja tekniikan valintaan vaikuttavat myös johtamisprosessista saatu tieto. Jatkuvan tilannearvion teko sekä tehdyt päätökset ja niiden jalkauttaminen käskyillä lisäksi annettujen tehtävien valvonta muodostavat tilannetietoisuuden johtamisprosessin keskiöön (kuva 62).



Kuva 62 Johtamisprosessi ja tilannetietoisuus

Tilanteen niin vaatiessa on johtajan pystyttävä muuttamaan valittua taktiikkaa ja pyrkiä ohjaamaan toimintaa haluttuun suuntaan. Käytettävien resurssien määrä vaikuttaa suoraan käytettävään taktiikkaan. Taktiikan valintaan vaikuttaa myös tiedustelusta saatujen tietojen laatu ja määrä.

Tiedustelun yhteydessä rakennuspalojen osalta tulee selvittää vaarassa olevien ihmisten määrä sekä se, miten palo kehittyy ja missä vaiheessa palo on. Rakennuksen tyyppi ja käyttötarkoitus on tiedustelulla selvitettävä tieto. Tiedustelun yhteydessä on huomioitava rakennuksen pelastus- ja sammutustyötä helpottavat laitteet kuten savunpoisto, sammutuslaitteistot, nousuputket, alkusammutuskalusto sekä pikapalopostit. Tiedustelun yhteydessä huomioidaan mahdolliset sammutusreitit.

Tiedustelun perusteella tehdään tilannearvio ja päätös sekä priorisoidaan tehtävät tilanteen mukaan ja muodostetaan toiminnalle painopiste. Ihmisten pelastaminen on aina prioriteetti numero yksi, sitä seuraavat ympäristön ja omaisuuden sekä muiden arvojen pelastaminen. Tehtävät, joista tilanteesta tulee selviytyä, ovat siis pelastaminen, sammuttaminen, suojaaminen ja rajoittaminen.

7 TÄYDENTÄVIEN SAMMUTUSMENETELMIEN KÄYTETTÄVYYS

Täydentäviä sammutusmenetelmiä voidaan käyttää tehostamaan sammutus- ja pelastustyötä, mikäli tehokasta pelastustoimintaa ei voida välittömästi aloittaa. Täydentäviä sammutusmenetelmiä voidaan käyttää tehostamaan pelastus- ja sammutustyötä tavanomaisien menetelmien tukena ja tavanomaisilla sammutusmenetelmillä voidaan vastaavasti tukea täydentäviä sammutusmenetelmiä.

Täydentävät sammutusmenetelmät toimivat myös muissakin sammutustehtävissä. Täydentäviä sammutusmenetelmiä ja laitteita voidaan, pois lukien aerosolisammute, käyttää myös muiden paikallisten avopalojen kuten liikennevälinepalojen ja maastopalojen sammuttamiseen. Sammutustekniikka muuttuu vain suoraksi sammutustekniikaksi.

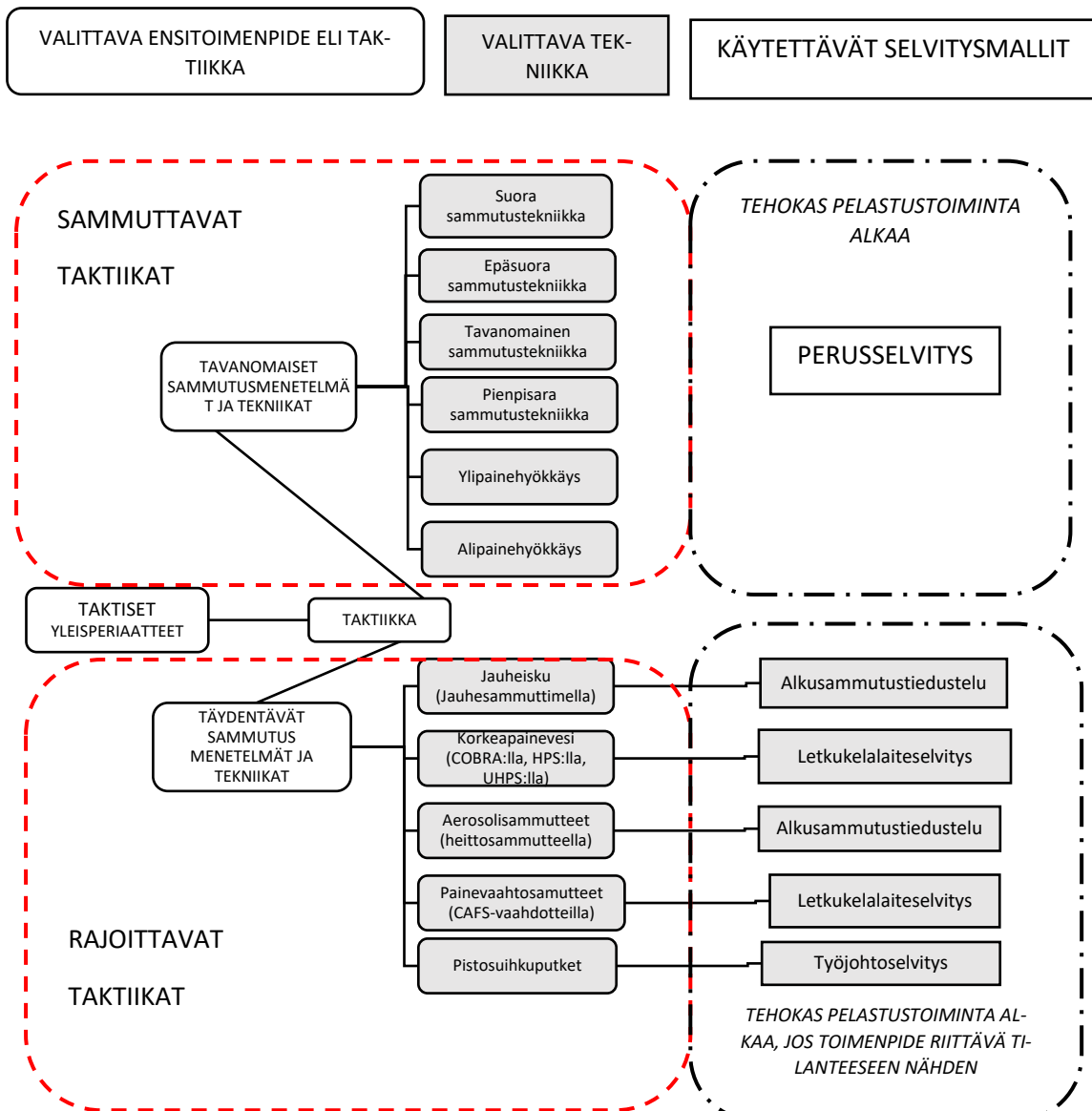
Pelastusopiston julkaisussa 1/2018 määritellään seuraavasti: *"ensitoimenpiteisiin kuluvalle ajalle tarkoitetaan aikaa, joka kuluu tiedusteluun ja sellaiseen kalustaselvitykseen, joka mahdollistaa tehokkaan pelastustoiminnan aloittamisen. Tehokkaan pelastustoiminnan katsotaan alkavaksi, kun tulipalossa vesi on työparin (pelastusparin) suihkuputkella."* Tehokkaan pelastustoiminnan voidaan myös tulkita alkaneen, jos tilanteeseen nähden täydentävät sammutusmenetelmät ovat riittävät.

Täydentävät sammutusmenetelmät eivät siis täytä tehokkaan pelastustoiminnan määritelmää yksinään, kun kohteessa oleva palo on kehittynyt riittävästi. On sanomattakin selvää, että riittävän pitkälle kehittyntä paloa voidaan täydentävillä menetelmillä korkeintaan rajoittaa. Riittävän pitkälle kehittynyt palo saadaan hallintaan vain riittävän suurella sammutemäärällä eli suurella vesivirralla. Nyrkkisääntönä tästä voidaan todeta että, perusselvitys rakennetaan aina turvaksi, vaikka käytettäisiinkin täydentäviä sammutusmenetelmiä ensitoimenpiteenä, palon hallintaan saamiseksi onnettomuuskohteessa.

Kuvan 63 kaavio selventää siis huoneistopaloissa käytettävien sammutusmenetelmien ja taktiikan sekä tekniikan suhdetta toisiinsa sekä kertoo myös tarvittavan selvitysmallin, jotta tehokas pelastustoiminta voidaan katsoa alkaneeksi.

Pelastusryhmän ensitoimenpiteitä täydentävien sammutusmenetelmien käytettävyyden ratkaisee se, onko täydentäviä menetelmiä saatavilla ja soveltuuko käytettävä menetelmä palon sammuttamiseen ja rajoittamiseen. Valitun täydentävän sammutusmenetelmän

käyttö pitää pystyä perustelemaan järkiperäisesti ja menetelmää käytettäessä on ymmärrettävä käytettävän menetelmän rajoitteet. Täydentävän menetelmän käytön perusteeksi riittää vahinkokehityksen nopea katkaisu ja se tosiasia, että saavutettu hyöty on kestävässä suhteessa otettuun tietoiseen riskiin. Täydentävät sammutusmenetelmät eivät ole automaattinen ratkaisu joka tilanteeseen, vaan niiden käyttö tulee perustua tilannetietoisuuteen ja tilannearvioon.



Kuva 63 Taktiikan ja tekniikan sekä selvitysmallien nivoutuminen toisiinsa sammutusmenetelmissä

8 POHDINTA

Opinnäytetyö tavoitteena oli siis tutkia eri sammutusmenetelmiä, sammutustekniikoita ja niiden käyttökelpoisuutta, luoda toiminta- ja selvitysmallit sekä ohjeet täydentävien sammutusmenetelmien käyttöön. Opinnäytetyö rajattiin täydentävien menetelmien osalta sisältämään täydentävistä sammutusmenetelmistä jauheet, aerosolit ja korkeapainelaitteet ja painevaahdotteet.

Opinnäytetyön tutkimuksellinen osuuden tekeminen kesti lähes kaksi vuotta, 2015 - 2017, tutkimukselliseen osuuteen kuului useita koepoltoja erilaisissa ympäristöissä aina vakioituista ympäristöistä todellisiin ympäristöihin. Vakioitujen koepolttojen suunnittelu alkoi keväällä 2015. Koepolttoja tehtiin Pelastusopiston harjoitusalueella 72 kpl. Lisäksi täydennettävien koepolttoja tehtiin Kuopion ympäristössä erilaisissa purkukohteissa, näistä koepoltoista laadittiin raportit, jotka toimivat samalla tutkimuspäiväkirjana ja pohjana tälle opinnäytetyölle. Lisäksi opinnäytetyön tekemiseen vaikuttivat myös PETS-koulutuskiertueella pidetyt koulutukset ja niistä saatu palaute. Opinnäytetyö perustuu siis saatuun palautteeseen myös koulutuskiertueelta. Opinnäytetyön valmistumiseen vaikutti myös osaltaan PEKKS-hanke ja siinä tulleet uudet selvitysmallit, joita hahmoteltiin jo PETS-hankkeessa.

Opinnäytetyö esitysmuodoksi tuli oppikirjamainen rakenne, jonka tavoitteena on esitellä käytössä olevat sammutustekniikat ja taktiikat, sekä esitellä täydentävät sammutusmenetelmät. Kirjan kuvittaminen ilmiötä kuvaavilla kuvilla on vaatinut yllättävän paljon aikaa ja vaivaa. Opinnäytetyössä määritellyt tavoitteet kuitenkin siis täyttyivät tätä opinnäytetyötä tehtäessä. Oma oppimista opinnäytetyön kannalta tuki parhaiten kentältä saatu palaute ja toiminen tiiviisti eri hankkeissa, joissa oli sopivia liittymäpintoja opinnäytetyöhön.

Luontaisena jatkumona tälle opinnäytetyölle toimisivat muut täydentävät sammutusmenetelmät kuten pistosuihkuputket vedellä ja jauheella sekä ajoneuvonsammutuspeite.

Opinnäytetyöstä on tarkoitus tehdä painettu ja sähköinen versio oppikirjaksi Pelastusopistolle, pelastaja, alipäällystö ja päällystö sekä täydennyskoulutus kursseille. Opinnäytetyön on myös tarkoitus toimia pohjana moodle-kurssille.

LÄHTEET

- Alho, R. 1988. *Sammutustekniikka*. 5. painos. Suomen Palontorjuntaliitto Lahti.
- Bengtsson, L.-G. 2001. *Enclosure fires*. Swedish Rescue Services Agency. Huskvarna.
- Grönberg, P., Heikura, V., Loponen, T. & Rinne, T. 2011. *Huoneistopalon sammutus vaihtoehtoisilla sammutusmenetelmillä*. VTT. Espoo.
- Hassinen, M., Huttu, I., Kuikka, T. & Arto, L. 2017. *Fast and Agile Extinguishing Methods for Fire & Rescue First Response*. Pelastusopisto. Kuopio.
- Hassinen, M., Huttu, I., Kuikka, T. & Latvala, A. 2017. *Modernien kodinkoneiden palokäyttäytyminen ja sammutustekniikka hankkeen*. Pelastusopisto. Kuopio.
- Hassinen, M. & Kuikka, T. 2015. *Pelastusyksikön ensitoimenpiteitä täydentävät sammutusmenetelmät väliraportti 1*. Pelastusopisto. Kuopio.
- Hassinen, M. & Kuikka, T., 2016. *Pelastusyksikön ensitoimenpiteitä täydentävät sammutusmenetelmät väliraportti 2*, Pelastusopisto. Kuopio.
- Hox, K. & Sæter Bøe, A. 2017. *Slokkemetoder med lite vann*. SP Fire Research AS.
- Huttu, I. 2018. *Pelastusyksikön ensitoimenpiteisiin kuuluvat selvitykset sammutustehtävissä*. Pelastusopisto. Kuopio.
- Hyttinen, V., Tolonen, P. & Väisänen, T., 2008. *Palofysiikka*. Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö. Tampere.
- Jäntti, J., Loponen, T. & Miettinen, P. 2009. *Selvitys vaihtoehtoisten sammutusmenetelmien Cobra ja Dspa soveltuvuudesta huoneistopalon sammutukseen*. Pelastusopisto. Kuopio.
- Karlsson, B. & Quintiere, J. G., 1999. *Enclosure fire dynamics*. CRC. Lontoo.
- Neuvonen, T., Honkanen, M., Lerssi, R. & Leppioja, T., 2007. *P3-Käsikirja toimintaohjeet*. Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö. Helsinki.
- NFPA, 2005. *Standard for Low,- Medium, and -High Expansion Foams*. NFPA.

- Pelastusosasto. 1983. *Ohje sammutusyksikön ensitoimenpiteisiin kuuluvista selvityksistä*. Sisäministeriö. Helsinki.
- Quintiere, J. G. 2017. *Principles of fire behavior*. 2.painos. CRC Press. London
- Rinne, T. & Vaari, J. 2005. *Uudet sammutteet ja sammutusteknologiat*. VTT. Espoo
- Ronkainen, J. 2009. *Erilaiset sammutustekniikat ja sammutustekniikan opetus yläpohjanontelon tulipaloissa*. Pelastusopisto. Kuopio.
- Sanastokeskus TSK ry. 2006. *Palo ja pelastus-sanasto*. Sanastokeskus TSK ry. Kerava.
- Savola, R. 2010. *Savutuuletus pelastustyössä*. Pelastusopisto. Kuopio.
- Sisäasiainministeriö. 2012. *Pelastustoimen toimintavalmiuden suunnitteluohje*. Sisäasiainministeriö. Helsinki.
- Sisäministeriö. 2007. *Pelastussukellusohje*.
- Svensson, S. 2006. *Brandgasventilation*. Räddningsverket.
- Suomen standardisoimisliitto SFS. 2007. *EN 3 -7 Käsiammuttimet. Osa 7: Tunnusmerkit, toimintavaatimukset ja testimenetelmät*. SFS. Helsinki
- Suomen standardisoimisliitto SFS, 2009. *CEN/TR 15276-2 Fixed firefighting systems. Condensed aerosol extinguishing systems*. SFS. Helsinki.
- Vaari, J. 2004. *Sammutustekniikan luonnontieteelliset perusteet*.: Edita Prima. Helsinki
- Ympäristöministeriö. 2003. *Ympäristöopas 39*. Ympäristöministeriö. Helsinki.
- Ympäristöministeriö. 2011. *El Suomen rakentamismääräyskokoelma*. Ympäristöministeriö. Helsinki.
- Ympäristöministeriö. 2017. *Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta*. Ympäristöministeriö. Helsinki.