

UUDET SAMMUTTEET JA SAMMUTUSTEKNOLOGIAT

Tuomo Rinne ja Jukka Vaari
VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
PL 1803, 02044 VTT

TIIVISTELMÄ

Halonien valmistuksen ja käytön lopettaminen lainsäädännön keinoin on johtanut intensiiviseen tutkimustyöhön korvaavien aineiden ja teknologioiden kehittämiseksi. Useimmilla, ellei kaikilla, uusilla synteettisillä sammutuskemikaaleilla voidaan osoittaa olevan eriasteisia ongelmia henkilöturvallisuudessa, ympäristöystävällisyydessä tai sammutustehossa. Palontorjunnan alalla haloneja korvaavia aineita on ehditty kaupallistaa useita. Etenkin kaasusammutteiden osalta kehitys on ollut vilkkainta. Tutkimuksesta saatu tieto on tarkoitettu ensisijaisesti pelastusviranomaisille tietopaketiiksi erilaisten sammutteiden ja sammutusteknologioiden nykytilasta, mahdollisuuksista ja rajoituksista. Tietoa voivat kuitenkin hyödyntää yhtä lailla esim. vakuutusala sekä palotekniset suunnittelutoimistot.

JOHDANTO

Halonien kieltäminen on johtanut viime vuosikymmenen aikana laajoihin kansainvälisiin tutkimuksiin korvaavien sammutteiden löytämiseksi. Koska halonit olivat yleisesti käytetty sammutteita niin kiinteissä kuin liikkuvissakin sammutusjärjestelmissä, on sovellusten runsaus aiheuttanut vastaavasti lukuisten kandidaattien kaupallisen esiintulon. Halonien käyttö ei ole kuitenkaan kokonaan kielletty, vaan esimerkiksi puolustusvoimien sovelluksissa ja lentokoneissa saa edelleen käyttää haloneja. Kehitystyössä on pyritty löytämään sammutusteholtaan haloneita vastaavia sammutteita, joilla kuitenkaan ei olisi otsonikerrosta heikentävää ominaisuutta. Halonien korvaajia kutsutaankin yhteisnimityksellä *clean agents*, joihin kuuluu, hieman harhaanjohtavasti, myös muita halogenoituja hiilivety-yhdisteitä, joiden vaikutusta ihmisiin ja muuhun ympäristöön vasta tutkitaan.

KAASUSAMMUTTEET

Uusien sammutteiden esiintulo on ollut vilkkainta kaasusammutteiden osalta. Esimerkiksi Great Lakes Chemical Companyn kehittämä FM-200 -sammutte on seulottu yli 3 000 yhdisteen joukosta. FM-200 -yhdisteellä pyrittiin korvaamaan haloni 1301 kiinteissä sammutusjärjestelmissä. Vastaavasti DuPontin kehittämä FE-36 -sammutte on haloni 1211:n korvaaja käsisammuttimissa. Molemmat ovat osittain fluorattuja hiilivetyjä (HFC-yhdisteitä).

Taulukossa 1 on listattuna haloneja korvaavia kaasusammutteita tilasuojaukseen (haloni 1301), kohdesuojaukseen (haloni 1211) tai molempiin.

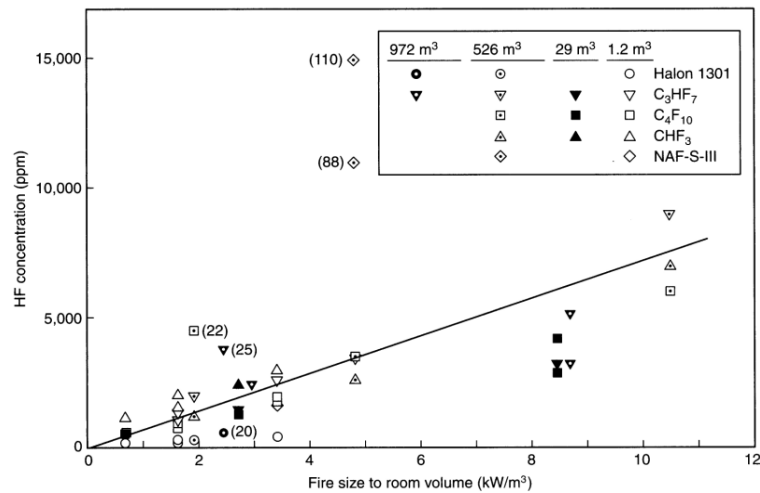
Taulukko 1. Haloneja korvaavia kaasusammutteita [1] & [www.epa.gov].

Kauppanimi	ASHRAE-nimi	Kemiallinen nimi	Kaava	Halonin korvaaja
CEA-410	FC-3-1-10	perfluoributaani	C ₄ F ₁₀	1301
CEA-308	–	perfluoripropaani	C ₃ F ₈	1301
CEA-614	FC-5-1-14	perfluoriheksaani	C ₆ F ₁₄	1211
Novec 1230	FK-5-1-12	dodekafluori-2-metyylipentaani-3-oni	CF ₃ CF ₂ C(O)CF(CF ₃) ₂	1211/1301
NAF-SIII	HCFC-Blend A – HCFC-123 – HCFC-22 – HCFC-124	diklooritrifluorietaani (4,75 %) klooridifluorimetaani (82 %) klooritetrafluorietaani (9,5 %) isopropenyli-1- metyylisyklohekseni (3,75 %)	CHCl ₂ CF ₃ CHClF ₂ CHClFCF ₃	1301
FE-241	HCFC-124	klooritetrafluorietaani	CHClFCF ₃	1211
FE-25	HFC-125	pentafluorietaani	CHF ₂ CF ₃	1301
FM-200	HFC-227ea	heptafluoripropaani	CF ₃ CHFCF ₃	1211/1301
FE-13	HFC-23	trifluorimetaani	CHF ₃	1301
FE-36	HFC-236fa	heksafluoripropaani	CF ₃ CH ₂ CF ₃	1211/1301
Triodide	FIC-131I	trifluorijodimetaani	CF ₃ I	1301
Halotron I	HCFC Blend B – HCFC-123	diklooritrifluorietaani (>93 %) muuta hiilivetyjä (<7 %)	CHCl ₂ CF ₃	1211
FE-232	HCFC-123	diklooritrifluorietaani (>93 %)	CHCl ₂ CF ₃	1211
NAF PIII	HCFC Blend C – HCFC-123 – HCFC-124 – HCFC-134a	diklooritrifluorietaani klooritetrafluorietaani –	CHCl ₂ CF ₃ CHClFCF ₃ –	1211
Blitz III	HCFC Blend D – HCFC-123	diklooritrifluorietaani	CHCl ₂ CF ₃	1211
NAF P-IV	HCFC Blend E – HCFC – HCF			1211
Argotec	IG-01	argon	Ar	1301
Nitrogen / NN100	IG-100	typpi	N ₂	1301
Inergen	IG-541	typpi (52 %) argon (40 %) hiilidioksidi (8 %)	N ₂ Ar CO ₂	1301
Argonite	IG-55	typpi (50 %) argon (50 %)	N ₂ Ar	1301

Vaikutus ihmisiin ja ympäristöön

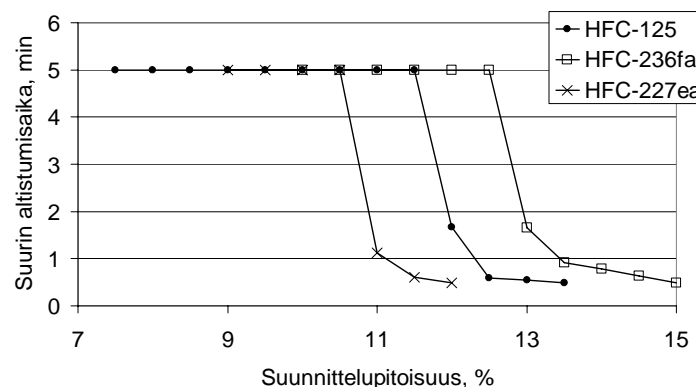
Osittain halogenoitujen kloorifluorihiihivetyjen (HCFC) käyttö palontorjunnassa EU-maissa on kiellettyä lukuun ottamatta tiettyjä kriittisissä käyttökohteissa, kuten puolustusvoimain ja pelastustoimen sovellukset [2]. Taulukon 1 halogenoiduilla hiilivedyillä ei ole otsonia tuhoavaa vaikutusta, mutta niillä on sen sijaan pitkä elinikä ja suuri ilmastoa lämmittävä vaikutus (GWP, *Global Warming Potential*), jonka takia näiden käyttöä rajoitetaan (mm. Kioton pöytäkirja). Esimerkiksi sammutteilla FM-200 ja FE-36 GWP-arvot ovat 2900 ja 6300 (CO₂=1). Vastaavat eliniät ovat 36,5 ja 209 vuotta (CO₂=50-200 vuotta). Joukosta löytyy myös yhdisteitä, joilla ei edellä mainittuja ongelmia ole, kuten inertit kaasut (N₂ ja Ar) ja Novec 1230 sammute (GWP=1 ja elinikä 0,014 vuotta).

Henkilöturvallisuuden kannalta fluorattujen hiilivetyjen palamistuotteena syntyvä fluorivety (HF) on hyvin syövyttävä ja myrkyllinen yhdiste. Kuvassa 1 on esitetty eräiden fluorattujen hiilivetyjen HF-pitoisuuksia palon tehoiteyden suhteen.



Kuva 1. Fluorattujen hiilivetyjen HF-pitoisuudet palon tehoiteyden funktiona. Kaasupitoisuudet olivat kaikissa (paitsi NAF-S-III, 8,6 %) noin 20 % kuppipoltintestin arvoja korkeammat. Polttoaineena tiloissa käytettiin dieseliä ja heptaaia. Kaikissa kokeissa (paitsi kokeet, joissa aika ilmoitettu suluissa) sammutusajat olivat alle 17 s [1].

Sammutteiden osalta myrkyllisyyttä on tutkittu viime aikoina juuri halokarboneiden osalta, koska suurimmalla osalla sammutteista suunnittelupitoisuus on suurempi kuin LOAEL-rajapitoisuus (ks. taulukko 2), jolloin on laskettava altistumisajat (poistumisajat) suurempien suunnittelupitoisuuksien tullessa kyseeseen. Eräs tapa lähestyä aineen myrkyllisyyttä ihmiseen, on tutkia sitä ns. PBPK-mallilla (*Physiologically-Based Pharmacokinetic Model*), jolla voidaan kuvata matemaattisesti jonkin aineen kulkeutumista biologiseen järjestelmään. Malli käyttää eläinkokeiden perusteella saatuja pitoisuuksia, joilla 5 minuutin altistamisen jälkeen vielä havaitaan sydänlihaksen herkistyminen yhdessä tai ilman adrenaliinipistosta. Mallissa käytetään pääverenkiertoon siirtynyttä arvoa pohjatietona, jotta voidaan määrittää ihmiselle korkein altistusaika (kuva 2).



Kuva 2. PBPK-mallilla lasketut suurimmat altistumisajat suunnittelupitoisuuden funktiona eräille halokarboneille [1].

Taulukko 2. Kaasusammutteiden NOAEL- ja LOAEL-rajat [1].

Sammute	NOAEL ¹ (%)	LOAEL ² (%)
FC-3-1-10	40	>40 (5,5)
FK-5-1-12	10	>10,0 (4,5)
FIC-131I	0,2	0,4 (3,2)
HCFC Blend A	10	>10,0 (9,9)
HCFC-124	1	2,5 (6,6)
HFC-125	7,5	10 (8,7)
HFC-227ea	9	10,5 (6,6)
HFC-23	30	>50 (12,9)
HFC-236fa	10	15 (6,3)
IG-01	43	52 (42)
IG-100	43	52 (31)
IG-541	43	52 (31)
IG-55	43	52 (35)

¹ NOAEL: suurin pitoisuus, jolla ei ole vaikutusta fysiologisesti eikä toksikologisesti.

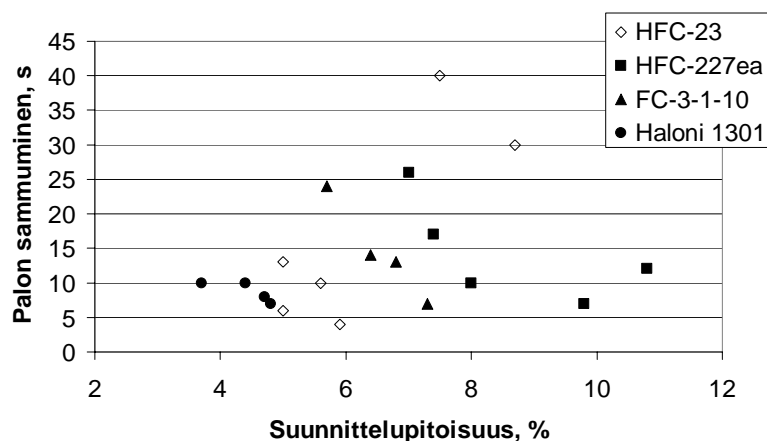
² LOAEL: pienin pitoisuus, jolla on vaikutusta fysiologisesti sekä toksikologisesti.

Suluissa ilmoitettu luku on kuppipoltinkokeista saatu pienin sammuttava pitoisuus n-heptaanille.

Inerttikaasujen suunnittelupitoisuudet 5 min, 3 min ja 0,5 min poistumisajoille ovat 43, 52 ja 62 %. Nämä vastaavat merenpinnan tasolla 12, 10 ja 8 % happipitoisuuksia.

Suorituskyky

Kaasusammutteiden suorituskykyä on tyypillisesti mitattu määrittämällä pienin sammuttava pitoisuus kuppipoltintesteissä. Esimerkiksi laivojen konehuoneiden suojaukseen käytettäessä kyseisiin arvoihin (ks. taulukko 2) lisätään 20 % varmuuskerroin [3]. Konehuoneiden suojauksessa sammutteen virtaamisajat riippuvat käytettävästä sammutteesta siten, että halokarboneilta vaaditaan saavutettavaksi 95 %:n suunnittelupitoisuus vähintään 10 sekunnin kuluessa ja inerttikaasuilta 85 %:n suunnittelupitoisuus vähintään 120 sekunnin kuluessa. Kuvassa 3 on esitetty eräiden halokarbonien palon sammuttamisajat eri suunnittelupitoisuuksilla.



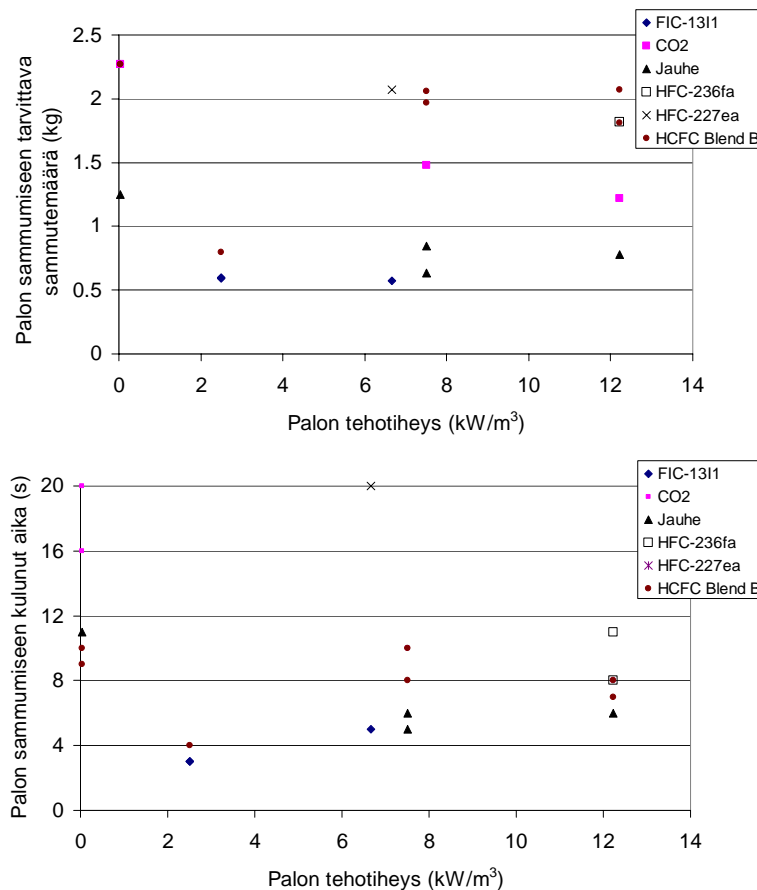
Kuva 3. Halokarboneilla suoritettuja sammutuskokeita 0,23 m²:n heptaanipaloilla 56 m³:n tilassa [4].

Kashiwagin et al. [5] kokeessa poltettiin heptaaia 60 m³:n huoneessa 30 – 420 kW:n palotehoilla. Taulukossa 3 on esitetty kyseisen kokeen tuloksia.

Taulukko 3. Kaasusammutteiden suunnittelupitoisuudet ja palon sammumiseen kulunut aika [5].

Sammutte	Suunnittelupitoisuus (%)	Sammutteen purkautumisaika min/max (s)	Palon sammumisaika min/max (s)
IG-100	40,3	55 / 57	24 / 83
IG-541	37,5	55 / 58	18 / 137
IG-55	37,9	98 / 105	29 / 562
HFC-227ea	7,7	10 / 11	10 / 14
HFC-23	14,9	10 / 11	5 / 8

Su ja Kim [6] käyttivät sammutuskokeissaan käsiammuttimia, joilla he sammuttivat erikokoisissa tiloissa (21000, 121 ja 45 m³) eri allaspaloja (300, 550, 900 ja 2000 kW). Kuvassa 4 on esitetty palon tehoitiheyden funktiona tarvittavat sammutemäärät ja sammutusajat.



Kuva 4. Käsiammuttimilla sammutettujen heptaanipalojen tuloksia. Jauheena käytetty monoammoniumfosfaattia [6].

AEROSOLIT

Aerosolijärjestelmät poikkeavat rakenteensa puolesta hyvinkin paljon muista sammutusjärjestelmistä, koska aerosolisammute voi purkautua yksittäisistä patruunoista (pyrotekninen aerosoli) suojattavaan tilaan (*condensed*) tai putkistoa pitkin (*dispersed*). Aerosolit soveltuvat tällä hetkellä miehittämättömien tilojen sammutteiksi [www.epa.gov]. Useimmissa järjestelmissä lähtöaineena on kaliumnitraatti (KNO_3), josta reaktiotuotteena syntyy vapaita kaliumradikaaleja, jotka toimivat kemiallisena sammutteena. Valmistajien mukaan sammutteen määrä lähtee 25 g:sta ylöspäin tilavuusyksikköä kohden. Aerosolipartikkeleiden läpimitta on muutamien mikrometrien luokkaa, jolloin ne pystyvät leijumaan ilmassa useita minutteja (tilasuojauksen edellytys). Määrällisesti aerosolisammutetta tarvitaan esimerkiksi kaasusammutteisiin nähden noin 5 kertaa vähemmän.

Vaikutus ihmisiin ja ympäristöön

Aerosolien ongelmana on pienten partikkeleiden kulkeutuminen hengitysteihin ja sitä kautta kulkeutuminen muualle elimistöön. Myös palamistuotteena syntyvät typen oksidit ovat ihmisille haitallisia.

Suorituskyky

IMO:lla on laivojen konehuoneiden suojaukseen tarkoitettu menetelmä, jossa konehuoneen tilavuus on 500 m^3 . Testipaloja on kaikkiaan 4 kpl (0.016, 0.49, 4.4 ja 6 MW) [3]. Aerosolijärjestelmän tulee mm. pystyä pitämään tila 15 min ajan suojattuna siitä hetkestä, kun järjestelmän laukeaa. Connell ja Glockling [7] mainitsevat työssään, että pyroteknisesti toimivan järjestelmän suunnittelupitoisuudeksi nopeasti laukeavilla (< 10 s) panoksilla käytettiin 128 g/m^3 ja hitaasti laukeavilla (n. 1 min) $123,2 \text{ g/m}^3$. Nopeasti laukeavissa panoksissa aktiivisena komponenttina oli kaliumkarbonaattia ja hitaasti laukeavissa kaliumnitraattia.

VESIPOHJAISET SAMMUTTEET

Vesipohjaisten aineiden kehitys on viime vuosina edistynyt paljon, sillä uuden paloluokituksen F (eläin- ja kasviravapohjaiset palot) myötä käytetään palojen sammuttamiseen yhä enemmän nestemäisiä sammutteita. Nestesammutteet sisältävät veden lisäksi yleensä kaliumkarbonaatti-, kaliumasetaatti- tai kaliumsitraattipohjaisia yhdisteitä tai näiden sekoituksia [8]. F-paloja varten tarkoitettujen sammuttimien teholuokkamerkinnot on kuvattu taulukossa 4.

Taulukko 4. F-luokan käsisammuttimien teholuokat ja testipalot [9].

Teholuokitus	Ruokaöljyn määrä testissä (litraa)	Testilaitte (mm)	Sammutteen määrä (litraa tai kg)
5F	5	kattila (halkaisija 300)	2
15F	15	allas (x=448 ja y=224)	3
25F	25	allas (x=578 ja y=289)	6
75F	25	allas (x=1000 ja y=500)	9

Myös kiinteiden sammutusjärjestelmien puolella nestesammuttimia käytetään mm. keittiötilojen suojaukseen. Sammutusjärjestelmien suorituskyky testataan UL 300 -standardin (*Fire Testing of Fire Extinguishing Systems for Protection of Restaurant Cooking Areas*) mukaisesti, jonka kulkua on kuvattu tarkemmin mm. viitteessä [10].

Vaikutus ihmisiin ja ympäristöön

Nestesammutteet ovat lähinnä haitallisia joutuessaan iholle. Järjestelmän lauettua voi sammutte aiheuttaa syöpymisiä pintamateriaaleihin. Vaahtosammutteiden puolella ei enää valmisteta ihmiselle haitallista PFOS-yhdistettä sisältäviä vaahtoja. Nykyisissä vaahtoissa on kylläkin fluorattuja pinta-aktiivisia komponentteja [10], jotka ajan myötä kerääntyvät ympäristöön. Markkinoilla on myös fluorittomia vaahtoja, joita markkinoidaan ympäristöystävällisinä vaihtoehtoina. BIO-EX SA -yhtiön valmistamat ECOPOL, BIO FOR C ja BIO FOR N on valmistettu fluorittomista pinta-aktiivisista yhdisteistä, eivätkä tuotteet sisällä etyleeniglykolia. Materiaalikoostumustiedoissa on mainittuna ainoastaan 2-(2-butoksietoksi)etanoliyhdiste. Pinta-aktiivisen komponentin tarkempaa rakennetta ei kerrota.

VESISUMU

Vesisumuna pidetään suihkua, jossa 99 % nestetilavuudesta muodostuu pisaroista, joiden halkaisija on alle 1 mm ($D_{v0,99} = 1$ mm) [11]. Vesisumujärjestelmä voidaan asentaa esim. vaihtoehtoiseksi sammutusjärjestelmäksi sprinklerijärjestelmälle. Tällöin vesisumujärjestelmä mitoitetaan teholtaan samansuuruiseksi kuin sprinklerijärjestelmä. Järjestelmiä käytetään sekä kuiva- että märkäasennuksena niin kohteiden suojaukseen kuin tilasuojaukseen (esim. laivojen konehuoneet). Järjestelmät toimivat joko matalapaine- (korkeintaan 12,1 bar), välipaine- (painealue 12,1–34,5 bar) tai korkeapainejärjestelminä (yli 34,5 bar).

IMO:n sammutustesteissä vesisumujärjestelmän tulee pystyä suojaamaan taulukon 5 mukaiset laivojen konehuonekoostumukset. Kehittyvän standardoinnin myötä vesisumujärjestelmät tulevat myös osaksi kevyen riskiluokan kohteisiin, kuten toimistorakennukset [12].

Taulukko 5. A-kategoriaan kuuluvien laivojen konehuoneiden tyypilliset ominaisuudet [3].

Luokka	Moottoritilan tietoja	Tyypillinen tilavuus, m ³	Tyypillinen öljyn virtaus ja paine polttoaine- ja voitelujärjestelmässä
1	Apumoottorihuone, pieni päämoottorihuone tai suodatinhuone jne.	500	Polttoaine: – matalapaine 0,15–0,20 kg/s ja 3–6 bar – korkeapaine 0,02 kg/s ja 200–300 bar Voiteluöljy: 3–5 bar ja hydraulioöljy: 150 bar
2	Päämoottorihuone pienemmissä laivoissa, kuten lautoissa.	3 000	Polttoaine: – matalapaine 0,4–0,6 kg/s ja 3–8 bar – korkeapaine 0,03 kg/s ja 250 bar Voiteluöljy: 3–5 bar ja hydraulioöljy: 150 bar
3	Päämoottorihuone suuremmissa laivoissa, kuten öljytankkerit ja konttilaivat.	>3 000	Polttoaine: – matalapaine 0,7–1,0 kg/s ja 3–8 bar – korkeapaine 0,2 kg/s ja 200–300 bar Voiteluöljy: 3–5 bar ja hydraulioöljy: 150 bar

SAMMUTESEOKSET

Sammuteseoksilla pyritään aikaansaamaan tehokkaampi sammutus, joissa käytetään kemiallisia ja fysikaalisia komponentteja. Sammuteseoksia ovat tällä hetkellä vesipohjaiset liuokset sekä kaksifaasisumujärjestelmät, joilla pystytään tuottamaan tilaan kahta sammutetta (vettä ja typpeä). Näiden lisäksi sammuteseoksia on kokeiltu mm. halokarbonien osalta Skaggsin et al. [13] tutkimuksessa, jossa FE-36- ja FM-200-sammutteiden seassa käytettiin ammoniumpolyfosfaattijauhetta (APP). Tutkimuksessa saatiin pienennettyä HF-pitoisuuksia APP:n avulla. EPA:n (U.S. Environmental Protection Agency) hyväksymä Envirogel-sammute on kyseisten FE-36 ja APP-sammutteiden seos, jota saa käyttää miehityksissä tiloissa käsisammuttimissa haloni 1211:n korvaajana.

MUUT SOVELLUKSET

CCS COBRA (www.ccs-cobra.com) on laite, jolla pystytään leikkaamaan useimpia materiaaleja nopeasti ja tarkasti. Koska leikkuri toimii vedellä, myös sen sammuttavat ja jäähdyttävät ominaisuudet ovat merkittävät. CSS-COBRAlla voi tehdä reiän kattoon, seinään tai oveen savunpoiston tai muun toiminnan vuoksi. Leikkaamalla jäähdytetään samanaikaisesti kohdetta sekä kulutetaan palosta syntyvää energiaa.

CCS-COBRA-järjestelmään kuuluvat seuraavat osat:

- korkeapainepumppu – 300 bar/50 litraa minuutissa
- 20 litran säiliö liuokselle
- hydraulisesti toimiva suutin leikkaamiseen ja sammutukseen.

CCS-COBRA:n leikkaus ei kuumenna leikattavaa materiaalia ja on sen vuoksi soveltuva ratkaisu palonarkaan ympäristöön. Sopivaa seosta, jossa veden lisäksi käytetään hiovia partikkeleita, käyttämällä voidaan leikata mm. öljysäiliöitä ja kaasuputkia.

Ruotsalaisen tutkimuksen mukaan [14] järjestelmä soveltuu mainiosti sisätilojen sammutukseen. On arvioitu, että sammuttimen suorituskyky riittäisi sammuttamaan 600 m³ kokoisen rakennuksen, jossa aukkopinta-ala olisi pienempi kuin 5–8 m². Tällä tavoin asetetut reunaehdot tarkoittaisivat 10–12 MW:n paloa (vastaa n. 3–4 m²:n petrolipaloa). Taulukossa 6 mainitaan laitteen turvallisuuteen ja leikkaustehoon liittyviä tietoja.

Taulukko 6. CCS-COBRA:n leikkausnopeus ja turvallisuus [14].

Etäisyys, m	Paine, MPa	Leikkausteho / turvallinen etäisyys
0	47,7	Hiovat ainesosat mukana: 0,4 m/min (2 mm vahvuinen duralumiini)
1	0,85	-
2	0,21	Ilman hiovia ainesosia: 16 mm vahvuiseen lastulevyyn reikä 5 sekunnissa.
3	0,094	Ilman hiovia ainesosia: ihovaurioita
4	0,053	-
5–6	-	Ilman hiovia ainesosia: kädessä tuntuva kipu (kumihansikkaan läpi)
5–6	-	Ilman hiovia ainesosia: kädessä tuntuva kipu (ilman käsintettä)
7–14	-	Sumu, josta ei vaaraa ihmiselle

IFEX-impulssisammutuslaite (www.ifextechnologies.com) on uusi tulipalojen sammutusjärjestelmä. Siinä sekä sammute että ilma ovat erillisissä paineistetuissa tiloissa (vastaavat paineet 6 bar ja 25 bar), jolloin hyvin nopeasti avautuva (20 ms) venttiili päästää sammutusaineen nopeasti kohti palopesäkettä. Impulssiaseessa voidaan käyttää valmistajan mukaan kaikkia nykyisin käytössä olevia sammutusaineita aina hiekasta vaahtoon. Valmistajan sivuilla ei ole mainittu laitteen suorituskyvystä tai teholuokituksesta.

FIREXPRESS-sammuttimen (www.firexpress.com) tehokkuus perustuu mikropisaroiden ja vaahton käyttöön. FIREXPRESS-sammuttimella peitetään yhdellä vesilitralla noin 100 m²:n pinta-ala pienten (7–100 µm) pisaroiden avulla. Erikoisrakenteisen suuttimen avulla mikrosumun ja kalvovaahton kantamaksi saadaan yli 10 metriä. Suutinkahvaa kääntämällä käyttäjä voi valita mikrosumun tai vaahton. Valmistajan mukaan EN 3-7 standardin sammutustesteissä FIREXPRESS saavutti 43 A –luokituksen 24 litralla ja 233 B –luokituksen 10 litralla vesi-vaahto –seosta.

YHTEENVETO

Halonien kieltäminen lainsäädännön avulla on aikaansaanut lukuisten uusien sammutteiden kaupallisen esiintulon. Etenkin kaasusammutteiden osalta kehitys on ollut vilkkainta. Useilla sammutteilla voidaan osoittaa olevan eriasteisia ongelmia henkilöturvallisuudessa, ympäristöystävällisyydessä tai sammutustehossa. Tulevaisuudessa sammutteiden käyttöön vaikuttavat osaksi ympäristösopimukset, jolloin vaihtoehdot voivat rajoittua pelkästään aidosti puhtaisiin sammutteisiin, kuten inerttikaasuihin ja veteen.

KIITOKSET

Hanketta on rahoittanut Palosuojelurahasto ja VTT. Hanke toteutettiin yhdessä Pelastusopiston kanssa. Kiitämme rahoittajaa sekä Pelastusopiston tutkimuspäällikköä Hannu Rantasta tutkimuksen sisältöä koskevista kommentteista.

LÄHDELUETTELO

1. NFPA 2001. Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems. Quincy: National Fire Protection Association. 2004. 106 s.
2. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus otsonikerrosta heikentävistä aineista (EY) N:o 2037/2000.
3. IMO. International Code for Fire Safety Systems (FSS Code). Lontoo: International Maritime Organisation. 2001. 261 s. ISBN: 92-801-5111-8.
4. Sheinson, R. S., Eaton, H. G. S., Black, B. H. S., Brown, R. H. S., Burchell, H. S., Maranghides, A., Mitchell, C. A., Salmon, G. C. A. & Smith, W. D. A. Halon 1301 Replacement Total Flooding Fire Testing, Intermediate Scale. Halon Options Technical Working Conference 1994. s.43 – 53.
5. Kashiwagi, H., Oshikawa, S., Yui, J. S. & Saso, Y. Effect of Fire Size on Suppression Characteristics of Halon Replacement Total-Flooding Systems. Halon Options Technical Working Conference. 2001. s. 272 -281.

6. Su, J. Z. & Kim, A. K. Suppression of Pool Fires Using Halocarbon Streaming Agents. *Fire Technology*. Vol. 38. 2002. s. 7 -32.
7. Connell, M. & Glockling, J. L. D. Large-Scale Tests of Pyrotechnically Generated Aerosol Fire Extinguishing Systems for the Protection of Machinery Spaces and Gas Turbine Enclosures in Royal Naval Warships. Halon Options Technical Working Conference 2003. 12 s.
8. NFPA 17A. Standard for Wet Chemical Extinguishing Systems. Quincy: National Fire Protection Association. 2002. 15 s.
9. BS 7937. Specification for portable fire extinguishers for use on cooking oil fires (class F). London, GB: British Standards Institution. 2000. 10 s.
10. Rinne, T. & Vaari, J. Uudet sammutteet ja sammutusteknologiati. Kirjallisuustutkimus. Espoo 2005. VTT Tiedotteita – Research Notes 2290. 160 s. ISBN 951-38-6544-4.
11. NFPA 750. Standard on Water Mist Fire Protection Systems. Quincy: National Fire Protection Association. 2003. 65 s.
12. prEN 14972. Fixed firefighting systems – Watermist systems – Design and installation. Brussels, BE: European Committee for Standardization. 2004.
13. Skaggs, R. R., Daniel, R. G., Miziolek, A. W., McNesby, K. L., Herud, C., Bolt, W. R. ja Horton, D. 1999. Diode Laser Measurements of HF Concentrations Produced from Heptane/Air Pan Fires Extinguished by FE-36, FM-200, FE-36 Plus APP, or FM-200 Plus APP U.S. Society for Applied Spectroscopy. Vol. 53, No. 9. 6 s.
14. Anon. The Cutting Extinguisher – concept and development. Swedish Rescue Services Agency. 2001. 36 s. ISBN: 91-7253-090-1.