



Tuomo Rinne & Jukka Vaari

# Uudet sammutteet ja sammutusteknologiat

| Kirjallisuustutkimus



# **Uudet sammutteet ja sammutusteknologiat**

## **Kirjallisuustutkimus**

Tuomo Rinne & Jukka Vaari  
VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

ISBN 951-38-6544-4 (nid.)

ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-6545-2 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

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

Copyright © VTT 2005

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT  
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT  
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FI-02044 VTT, Finland  
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 4374

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Kivimiehentie 4, PL 1803, 02044 VTT  
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4815

VTT Bygg och transport, Stenkarlsvägen 4, PB 1803, 02044 VTT  
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4815

VTT Building and Transport, Kivimiehentie 4, P.O.Box 1803, FI-02044 VTT, Finland  
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 4815

Kansikuvaan saatu lupa Marioff Corporation Oy:ltä.

Toimitus Anni Kääriäinen

Valopaino Oy, Helsinki 2005

Rinne, Tuomo & Vaari, Jukka. Uudet sammutteet ja sammutusteknologiat. Kirjallisuustutkimus [The new fire extinguishing agents and technologies]. Espoo 2005. VTT Tiedotteita – Research Notes 2290. 160 s.

**Avainsanat** fire extinguishers, fire extinguishants, halogenated compounds, replacement, foam extinguisher, dry powder extinguishers, carbon dioxide extinguishers, clean agent extinguishers, sprinklers, inert gases

## Tiivistelmä

Tähän kirjallisuustutkimukseen on koottu kattava selvitys liikuteltavien ja kiinteiden sammutusjärjestelmien nykytilanteesta käytetyn sammutusteknologian ja sammutteiden osalta. Lähtökohtana on käytetty EN- ja NFPA-standardeja. Jo vuosikymmenen ajan kestäneen tutkimustyön käynnistäjänä on ollut tarve kehittää kielletyille halonisammutteille korvaajia. Kehitystyö on ollut vilkasta varsinkin kaasusammutteiden osalta.

Työssä esitellään liikuteltavien ja kiinteiden sammutusjärjestelmien sekä itse sammutteiden toimintamekanismeja, toimivuuden todentamista (testejä ja niiden luonnetta) sekä käyttö- ja soveltamiskohteita. Selvityksessä käsitellään lisäksi sammutteiden myrkyllisyyttä ja sammutusjärjestelmien aiheuttamaa vaaraa ihmisille sekä ympäristöhaittoja ilmakehälle, vesistöille ja maaperälle. Työn lopussa luodaan katsaus tulevaisuuden sammutteisiin ja sammutusteknologioihin.

Rinne, Tuomo & Vaari, Jukka. Uudet sammutteet ja sammutusteknologiat. Kirjallisuustutkimus [The new fire extinguishing agents and technologies]. Espoo 2005. VTT Tiedotteita – Research Notes 2290. 160 s.

**Keywords** fire extinguishers, fire extinguishants, halogenated compounds, replacement, foam extinguisher, dry powder extinguishers, carbon dioxide extinguishers, clean agent extinguishers, sprinklers, inert gases

## **Abstract**

An extensive literature review of the fire extinguishants and the extinguishing systems (both portable and fixed) of present-day has been carried out. The basis of this work is collected from the EN- and the NFPA-standards.

Phase out of halons has been the main activator of the international research of last decade. The research is focused on finding suitable substituents for halons. There has come especially major part of new gas extinguishants during the development work.

This work deals with the operation mechanisms, verifying them (i.e. tests and nature of the tests), and potential applications of the fire extinguishants and the extinguishing systems. The concern of the toxicity of agents is also discussed related to living organisms and environmental views. Finally, there is a look to the future about the extinguishing agents and methods.

# Alkusanat

Halonien valmistuksen ja käytön lopettaminen lainsäädännön keinoin on johtanut intensiiviseen tutkimustyöhön korvaavien aineiden ja teknologioiden kehittämiseksi. Palontorjunnan alalla haloneja korvaavia aineita on ehditty kaupallistaa useita. Aiheeseen liittyvä tutkimustieto on varsin hajallaan pääosin englanninkielisessä lähdekirjallisuudessa. Tutkimus on yhtenäinen suomenkielinen katsaus tutkimuksen ja sammutusteknologian nykytilaan sekä tulevaisuuteen.

Tutkimuksesta saatu tieto on tarkoitettu ensisijaisesti pelastusviranomaisille tietopakettiksi erilaisten sammutteiden ja sammutusteknologioiden nykytilasta, mahdollisuuksista ja rajoituksista. Tutkimuksessa tarvittava tieto on yksissä kansissa. Tietoa voivat kuitenkin hyödyntää yhtä lailla esim. vakuutusala sekä palotekniset suunnittelutoimistot.

Hanketta on rahoittanut *Palosuojelurahasto*, ja hanke on toteutettu yhdessä *Pelastusopiston* kanssa.

Kiitämme rahoittajaa sekä Pelastusopiston tutkimuspäällikköä *Hannu Rantasta* tutkimuksen sisältöä koskevista kommentteista.

Espoossa, 15. joulukuuta 2004

*Tuomo Rinne*

*Jukka Vaari*

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	4
Alkusanat.....	5
1. Johdanto.....	9
2. Sammutteiden nykytila.....	10
2.1 Paloluokat.....	10
2.2 Sammutteet.....	10
2.2.1 Jauheet.....	11
2.2.2 Kaasut.....	15
2.2.2.1 Halogenoidut hiilivedyt.....	16
2.2.2.2 Inertit sammutteet.....	18
2.2.3 Vaahdot.....	18
2.2.3.1 Vahtokonsentraattien ominaisuuksista.....	20
2.2.4 Vesipohjaiset aineet.....	30
3. Käsisammuttimet ja liikuteltavat sammuttimet.....	32
3.1 Sammutintyyppit.....	32
3.2 Sammuttimille tehtävät testit.....	33
3.2.1 A-luokan sammutustestit.....	34
3.2.2 B-luokan sammutustestit.....	37
3.2.3 D-luokan testipalo.....	38
3.2.4 F-luokan testimenetelmä.....	40
3.2.5 Muut testit.....	43
3.2.6 Käsisammuttimet painelaitteena.....	43
3.3 Kaupallisia käsisammuttimia sekä liikuteltavia sammuttimia.....	45
3.3.1 Jauhesammuttimet.....	46
3.3.2 Vaaho-, neste- ja vesisammuttimet.....	52
3.3.3 Hiilidioksidisammuttimet.....	53
3.3.4 Clean Agents -sammuttimet.....	54
3.3.5 Muut sovellukset.....	54
3.4 Standardit.....	56
3.5 Sovelluskohteet.....	58
3.5.1 Halonisammuttimet.....	64
3.6 Suorituskyky.....	65



4.	Kiinteäasenteiset sammutusjärjestelmät .....	71
4.1	Sprinklerit .....	71
4.1.1	Vesilähteet .....	73
4.1.2	Sprinklereiden sijoituksesta .....	74
4.2	Vesipohjaiset järjestelmät .....	81
4.3	Vesivalelu .....	83
4.4	Vahtolaitteistot .....	84
4.4.1	Manuaalisesti säädellyn vahtoliuoksen valmistus .....	85
4.4.2	Automaattisesti säädellyn vahtoliuoksen valmistus .....	87
4.4.3	Vaahdon valmistus .....	89
4.5	Jauhejärjestelmät .....	93
4.6	Vesisumu .....	95
4.7	Inerttikaasut .....	97
4.8	Halogenoidut hiilivedyt .....	102
4.9	Aerosolit .....	105
4.10	Standardit .....	107
4.10.1	NFPA-standardit .....	107
4.10.2	EN-standardit .....	108
4.10.3	Muut .....	108
4.11	Sovelluskohteet ja suorituskyky .....	109
4.11.1	Sprinklerit .....	109
4.11.2	Sprinklerisuojausten laajuus .....	114
4.11.3	Sammutuslaitteistot P1- ja P2-luokan asuinrakennuksissa .....	115
4.11.4	Tilasuojaus .....	120
4.11.4.1	Miehitetyt tilat .....	121
4.11.4.2	Miehittämättömät tilat .....	127
4.11.5	Kohdesuojaus .....	129
5.	Sammutteiden ja sammutusjärjestelmien vaikutus ihmiseen ja ympäristöön .....	137
5.1	Sammutteiden ja niiden hajoamistuotteiden biologiset vaikutukset .....	137
5.1.1	Hengitystiet .....	137
5.1.2	Sydämen toiminta .....	138
5.1.3	Keskushermosto .....	139
5.1.4	Geneettiset vaikutukset, suvunjatkamiskyky ja kehityshäiriöt .....	140
5.2	Sammutusjärjestelmän toiminnan vaikutus ihmiseen .....	140
5.2.1	Lämpö .....	140
5.2.2	Savu .....	141
5.2.3	Näkyvyys .....	141
5.2.4	Palamistuotteet .....	142
5.2.5	Happipitoisuus .....	142
5.2.6	PBKP-malli .....	143
5.3	Ympäristövaikutukset .....	145

5.3.1	Ilmakehä.....	145
5.3.2	Vesistöt.....	147
5.3.3	Maaperä.....	147
5.4	Vaikutus laitteisiin, järjestelmiin ja rakenteisiin.....	148
5.4.1	Sähkölaitteet.....	148
5.4.2	Tilan tiiveys ja paineen kesto.....	148
6.	Tulevaisuuden sammutteet ja sammutusteknologiat.....	150
6.1	Termiset sammutteet.....	150
6.2	Kemialliset sammutteet.....	151
6.3	Sammuteseokset.....	152
7.	Yhteenveto.....	153
	Lähdeluettelo.....	155

# 1. Johdanto

Halonien kieltäminen on johtanut viime vuosikymmenen aikana laajoihin kansainvälisiin tutkimuksiin korvaavien sammutteiden löytämiseksi. Koska halonit olivat yleisesti käytetty sammutte niin kiinteissä kuin liikkuvissakin sammutusjärjestelmissä, on sovelusten 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 kuitenkin ei olisi otsonikerrosta heikentävää ominaisuutta. Halonien korvaajia kutsutaankin yhteisnimellä *clean agents*, joihin kuuluu, hieman harhaanjohtavasti, myös muita halogenoituja hiilivety-yhdisteitä, joiden vaikutusta ihmisiin ja muuhun ympäristöön vasta tutkitaan. Eräänä ryhmänä *clean agents* -sammutteita ovat inertit kaasut, joita on muutenkin ilmakehässämme ja jotka epäilemättä ovat aidosti puhtaita sammutteita. Inerttikaasujen käyttö tulevaisuudessa voi rajoittua käytännössä tilasuojauksen tarpeisiin niissä sovelluksissa, joissa veden käyttäminen on mahdotonta.

Ilmakehävaikutusten ohella myös sammutuskemikaalien vaikutukset vesistöihin, maaperään ja eliöihin ovat asettaneet uusia vaatimuksia sammutuksessa käytettäville aineille. Useimmilla, ellei kaikilla, uusilla synteettisillä sammutuskemikaaleilla voidaan osoittaa olevan eriasteisia ongelmia henkilöturvallisuudessa, ympäristöystävällisyydessä tai sammutustehossa. Tästä syystä uusien sammutteiden tutkimustyö jatkuu yhä intensiivisempänä ennen kaikkea kaasumaisten ja kaasuuntuvien sammutteiden mutta myös esim. sammutusvaahtojen kohdalla.

Kehittyvä standardisointi mm. aerosoli- ja vesisumujärjestelmien osalta tuo tulevaisuudessa enemmän käyttökohteita näille varsin uusille sammutusjärjestelmille myös maapuolen sovelluksiin. Aerosolijärjestelmät soveltuvat tällä hetkellä miehittämättömien tilojen suojaukseen. Vesisumujärjestelmät tulevat mukaan myös tilasuojaukseen, myöhemmin varsinkin kevyen riskiluokan sovelluksiin. Tällä hetkellä ainoastaan vain kansainvälisellä merenkulkujärjestöllä (IMO) on testimenetelmät myös uusille sammutusjärjestelmille laivojen konehuoneiden suojaukseen.

## 2. Sammutteiden nykytila

### 2.1 Paloluokat

Suomessa on käytössä virallisesti neljä paloluokkaa: A, B, C ja D. Vain luokille A ja B on olemassa testimenetelmät. Taulukossa 2.1 esitetään kyseiset paloluokat standardien EN 2 (Eurooppa) ja NFPA 10 (USA) mukaan. EN-standardissa on vasta hiljattain hyväksytty uusi F-paloluokka, joka myös Suomessa tullaan kohta virallistamaan.

*Taulukko 2.1. Paloluokat EN 2 ja NFPA 10 -standardien mukaan.*

Paloluokka		Kuvaus
EN 2:1992/A1:2004	NFPA 10 (2002)	
A	A	Kuitumaiset, pääasiallisesti orgaaniset aineet, jotka hehkuvat palaessaan, kuten puu, paperi, tekstiili ja hiili.
B	B	Nestemäiset tai nestettä muodostavat aineet, kuten bensiini, öljy, lakka, terva, eetteri, alkoholi, steariini ja parafiini.
C	B	Kaasupalot, kuten metaani, propaani, butaani, vety, asetyleeni ja maakaasu.
-	C	Sähköpalot.
D	D	Metallipalot, esim. Li, Na, Mg, Zr sekä niiden seokset.
F	K	Eläin- ja kasvirasvapohjaiset palot.

NFPA-standardissa on mainittu paloluokka myös sähköpaloille. Suomessa ei ole virallista paloluokkaa eikä määritelmää sähköpalolle, mutta sähköpalolla voidaan tarkoittaa [SVK, 2003] mm.

- paloa, joka on alkanut sähkölaitteesta tai -asennuksesta ja jossa palon mahdollistavana syttymislähteenä on ollut sähköenergia
- paloa, jossa palokuorman muodostaa pääosin sähkölaite, kuten muuntaja, kaapelit jne.
- paloa, jossa palon kehittymiseen ja leviämiseen on vaikuttanut sähkölaitteiston tai -asennuksen käyttövirhe tai kunnossapidon laiminlyönti, vaikka palon syy on jokin muu kuin sähköenergia.

### 2.2 Sammutteet

Sammutteiksi eli sammutusaineiksi luokitellaan kaikki ne aineet, joilla ensisijaisesti pyritään sammuttamaan alkanut palo joko suoraan (palopesäkkeiden sammutus) tai epäsuorasti (esim. palokaasujen jäähdyttäminen). Periaatteena on kuitenkin aina saada palava aine eristettyä hapestaa tai jäähdytettyä sitä niin, ettei palavia kaasuja enää muodostu.

Tyypillisimpiä sammutusaineita ovat

- jauheet
- kaasut
- vaahdot
- vesi ja vesipohjaiset aineet.

### 2.2.1 Jauheet

Jauheet voidaan jakaa niiden soveltuvuuden perusteella. On olemassa ABC-luokkien monikäyttöisiä sammutusjauheita, BC-luokkien jauheita sekä D-luokkien metallipaloille tarkoitettuja jauheita. Jauheet soveltuvat koostumuksensa takia varsin hyvin myös sähköpalojen sammuttamiseen.

Jauheet koostuvat yleensä yhdestä aktiivisesta komponentista, jonka sammutusmekanismi perustuu [Vaari, 2004]

- liekkivaikutukseen, joka voidaan edelleen jakaa sammutejauheen lämpenemisen ja hajoamisen aiheuttamaan jäähtyysvaikutukseen ja hajoamistuotteiden kemialliseen vaikutukseen. Mekanismit ovat pääosissa B- ja C- jauheilla.
- pintavaikutukseen, joka aiheutuu palavan aineen pinnalle muodostuvasta epäorgaanisesta polymeeristä. Mekanismit ovat oleelliset A-palojen sammutuksessa.

Sammuttimissa esiintyvät muut jauheen komponentit, esim. paakkuuntumisen estoaineet ja liukasteet, liittyvät jauheen koostumuksen säilymiseen ja virtausnopeuteen, joilla saavutetaan paras mahdollinen sammutusteho. Tyypillinen partikkelikoko jauheilla on n. 10–75 µm. Paras sammutusteho saavutetaan halkaisijaltaan n. 20–25 µm:n kokoisilla partikkeleilla. Tätä suuremmilla partikkeleilla sammutusteho heikkenee selvästi [Hague, 1997].

Metallipaloille on kehitetty aivan tiettytyyppisiä jauheita metallipalojen luonteen takia. Niissä palaminen tapahtuu pelkästään metallin pinnalla eikä palavaa metallia höyrysty kaasuun. Happi reagoi näin ollen pelkästään pinnassa olevan metallin kanssa. Palamis-mekanismien takia metallipalot voidaan sammuttaa vain tukahduttamalla [Vaari, 2004]. Veden käyttö sammutteena voi aiheuttaa räjähdysvaaran, sillä kuumen metallin (mm. Na, K, Li ja Ba) ja veden kemiallinen reaktio synnyttää vetyä [Tapscott, 1997].

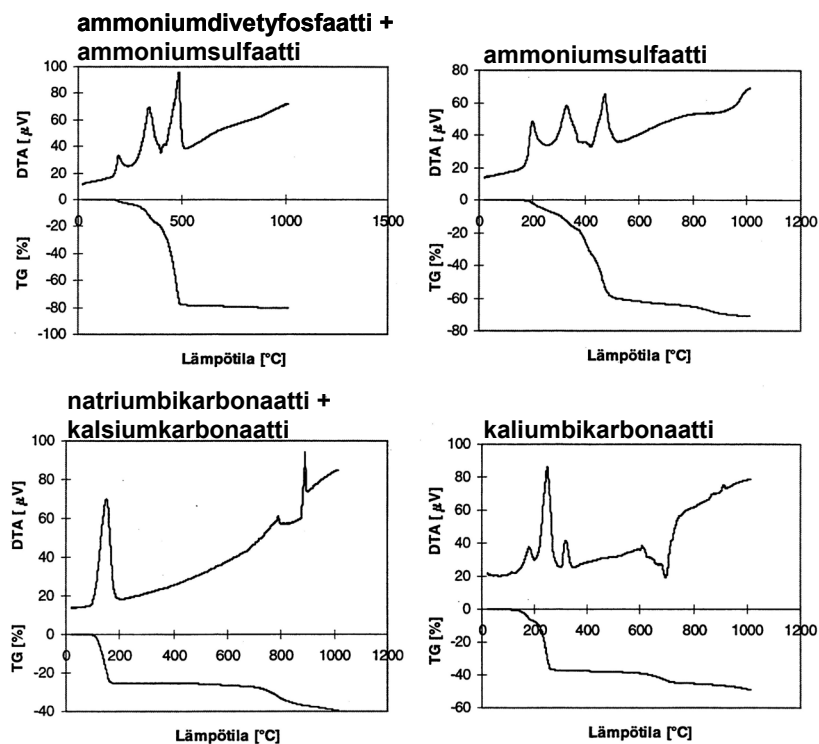
Kaupallisia ABC- ja BC-jauheita esitellään taulukossa 2.2.

Taulukko 2.2. Eräitä kaupallisia sammutusjauheita.

Paloluokka	Tuotenimi	Maahantuoja/valmistaja	Pääkomponentit
ABC	Adex	Mercantile Oy Ab	monoammoniumfosfaatti, ammoniumsulfaatti
ABC	Centrimax ABE 40 (Prestolit ABC 2000)	Oy Presto-Tuote Ab	ammoniumdivetyfosfaatti (35–45 %), ammoniumsulfaatti (55–65 %)
ABC	Centrimax ABE Plus (Prestolit ABC Ultra)	Oy Presto-Tuote Ab	ammoniumdivetyfosfaatti (80–90 %), ammoniumsulfaatti (10–20 %)
ABC	Chemguard ABC Dry Chemical	Chemguard (valmistaja)	monoammoniumfosfaatti, ammoniumsulfaatti
ABC	Foray	Ansul (valmistaja)	monoammoniumfosfaatti (65–82 %), ammoniumsulfaatti (12–25 %)
ABC	Glutex	Mercantile Oy Ab	monoammoniumfosfaatti, ammoniumsulfaatti
ABC	TARDEX Fire Retardant	Ansul (valmistaja)	ammoniumsulfaatti (>90 %)
ABC	Tropolar Forte	Mercantile Oy Ab	monoammoniumfosfaatti
ABC	Furex ABC Stan- dard	Caldic Deutschland GmbH & Co. (valmistaja)	monoammoniumfosfaatti, ammoniumsulfaatti
ABC	Furex 650	Caldic Deutschland GmbH & Co. (valmistaja)	monoammoniumfosfaatti, ammoniumsulfaatti
ABC	ABC Fire Extin- guisher	Kidde (valmistaja)	monoammoniumfosfaatti (25–95 %), ammoniumsulfaatti (0–70 %)
BC	Kidde Purple K Fire Extinguisher	Kidde (valmistaja)	kalsiumbikarbonaatti (78–95 %), natriumbikarbonaatti (0–15 %)
BC	Regular Dry Chemical (Regular BC)	Kidde (valmistaja)	natriumbikarbonaatti (90 %)
BC	Centrimax BC 25	Mercantile Oy Ab	natriumbikarbonaatti, kalsiumkarbonaatti
BC	Centrimax BE Standard	Oy Presto-Tuote Ab	natriumbikarbonaatti (98 %)
BC	Chemguard BC Dry Chemical	Chemguard (valmistaja)	natriumbikarbonaatti, natriumkloridi
BC	Chemguard Purple K Dry Chemical	Chemguard (valmistaja)	natriumbikarbonaatti
BC	Extin	Mercantile Oy Ab	natriumbikarbonaatti, kalsiumkarbonaatti
BC	Monnex	Mercantile Oy Ab	urea, kaliumbikarbonaatti
BC	Furex 80	Caldic Deutschland GmbH & Co. (valmistaja)	natriumbikarbonaatti (94 %)
BC	Furex 300	Caldic Deutschland GmbH & Co. (valmistaja)	natriumbikarbonaatti, kalsiumkarbonaatti (67 %)
BC	Plus-Fifty B	Ansul (valmistaja)	natriumbikarbonaatti (60–75 %), kalsiumkarbonaatti (20–30 %)
BC	Plus-Fifty C	Ansul (valmistaja)	natriumbikarbonaatti (90–92 %)
BC	Purple K	Ansul (valmistaja)	kaliumbikarbonaatti (90–93 %)

Taulukosta 2.2 voidaan havaita, että yhdisteen koostumuksella ja sen sopivuudella eri paloluokkien kanssa on selvä yhteys: fosfaatti- ja sulfaattipohjaiset yhdisteet ovat ABC-luokkien sammutteita ja karbonaattiyhdisteet ovat puolestaan BC-luokkien sammutteita.

VTT:ssä tehdyn tutkimuksen [Andstén ja Weckman, 1997] osana määritettiin termanalyysilaitteistolla sammutejauheiden massanmuutos (TG) ja energianmuutokset (DTA) lämpötila-alueella 20–1 000 °C. TG- ja DTA-käyrät eri jauhetyppeille esitetään kuvassa 2.1.



Kuva 2.1. Tutkittujen sammutejauheiden massanmuutos- (TG-) ja energianmuutuskäyrät (DTA-käyrät) lämpötila-alueella 20–1 000 °C. Ylempi käyrä on TDA-käyrä ja alempi TG-käyrä [Andstén ja Weckman, 1997]. Jauheiden pääasiallinen koostumus on mainittu kunkin kuvan ylälaudassa.

TG- ja DTA-käyristä voitiin päätellä eri komponenttien osalta seuraavaa:

*Ammoniumdivetyfosfaatti- ja ammoniumsulfaattipohjainen jauhe:* Kokonaispainohäviö 1 000 °C:ssa oli noin 80 %. Kuitenkin pääasiallinen häviö tapahtui alueella 160–520 °C, jolla oli havaittavissa neljä erillistä endotermistä reaktiota. Reaktiohuiput olivat DTA-käyrässä lämpötiloissa 195, 342, 414 ja 485 °C. Ammoniumdivetyfosfaatin hajotessa siitä poistuu sekä vettä että ammoniakkia. Yhdiste sulaa noin 190 °C:ssa. Ammoniumsulfaatti hajoaa noin 336–339 °C:ssa, ja 355–357 °C:ssa se muuttuu ammoniakiksi ja ammoniumvetysulfaatiksi. Lämpötilan edelleen noustessa vapautuu typpeä, vettä, rikki-

dioksidia ja rikkiatrioksidia. DTA-käyrän tulkinta: kaksi ensimmäistä huippua voivat kuvata komponenttien sulamista, kolmas liittyy ammoniumdivetyfosfaatin hajoamiseen ja neljäs ammoniumsulfaatin muuttumiseen vetysulfaatiksi tai tämän hajoamiseen edelleen.

*Ammoniumsulfaattipohjainen jauhe:* Kokonaispainohäviö 1 000 °C:ssa oli noin 71 %. Pääosa painohäviöstä tapahtui lämpötila-alueella 160–530 °C, jossa oli havaittavissa neljä erillistä reaktiota. Endotermiset reaktiohuiput (DTA-käyrän maksimikohdat) olivat lämpötiloissa 199, 328, 397 ja 474 °C. Lämpötila-alueella 530–800 °C näytteen massa aleni tasaisesti noin 5 %:lla, minkä jälkeen voitiin havaita reaktio 857 °C:ssa. Neljälle ensimmäiselle reaktiohuipulle selitykset ovat samat kuin edellisessä, mutta viimeinen reaktio, joka oli luonteeltaan eksoterminen, liittyi mahdollisesti sulfaattihajoamiseen ja rikkidioksidin hapettumiseen tai ammoniumfosfaatin polymerisoitumiseen.

*Natriumbikarbonaatti- ja kalsiumkarbonaattipohjainen jauhe:* Kokonaispainohäviö 1 000 °C:ssa oli noin 39 %. Reaktiohuiput sijoittuivat lämpötiloille 150, 790 ja 890 °C. Kaikki reaktiot olivat luonteeltaan endotermisiä. Natriumbikarbonaatti hajoaa lämpötila-alueella 100–200 °C natriumkarbonaatiksi, vedeksi ja hiilidioksidiksi. Laskennallinen painohäviö on 36,9 %. Natriumkarbonaatti taas hajoaa edelleen natriumoksidiksi ja hiilidioksidiksi noin 660 °C:ssa. Natriumkarbonaatti lisäksi sulaa 800–900 °C:ssa. Kalsiumkarbonaatti puolestaan hajoaa kalsiumoksidiksi ja hiilidioksidiksi lämpötilan ollessa 600–900 °C mm. raekoon mukaan. Laskennallinen painohäviö on 44,0 %. DTA-käyrän tulkinta: Ensimmäinen reaktio merkitsee natriumbikarbonaatin hajoamista, ja toinen reaktio liittyy kalsiumkarbonaatin hajoamiseen. Käyrän loppuvaiheen tapahtumat liittyivät natriumkarbonaatin vähittäiseen hajoamiseen ja lopulta sen sulamiseen (viimeinen maksimi).

*Kaliumbikarbonaattipohjainen jauhe:* Kokonaispainohäviö 1 000 °C:ssa oli noin 48 %. Endotermiset reaktiohuiput olivat 178, 247, 317, 608 ja 913 °C:ssa ja yksi eksoterminen reaktio 696 °C:ssa. Kaliumbikarbonaatti hajoaa 100–200 °C:ssa kaliumkarbonaatiksi, vedeksi ja hiilidioksidiksi. Laskennallinen painohäviö on noin 31,0 %. Kaliumkarbonaatti taas hajoaa hiljalleen kaliumoksidiksi ja hiilidioksidiksi. Kaliumkarbonaatti lisäksi sulaa noin 880 °C:ssa. DTA-käyrän tulkinta: Ensimmäinen huippu liittyy kaliumbikarbonaatin hajoamiseen ja myöhemmät huiput kaliumkarbonaatin hajoamiseen ja lopulta sen sulamiseen noin 900 °C:ssa. Toinen ja neljäs reaktio liittyivät jauhenäytteen tunnistamattoman komponentin hajoamiseen.

Kuten edellisestä voidaan todeta, sammutejauheiden pääasiallinen hajoamisreaktio on endoterminen (lämpöä sitova), jolloin sammuttava vaikutus perustuu jäähtytykseen. Sulfaatti- ja fosfaattijauheiden soveltuminen A-paloihin johtuu niiden taipumuksesta muodostaa epäorgaanisia polymeerejä kuumalla pinnalla [Vaari, 2004].



D-luokan paloille soveltuvia jauheita esitellään taulukossa 2.3.

*Taulukko 2.3. Kaupallisia D-luokan metallipalojauheita.*

Tuotenimi / jauhe	Pääasiallinen sisältö	Käyttö	Lähde
MET-L-X	NaCl, Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Na	Ansul
MET-L-KYL	NaHCO <sub>3</sub> , silikageeli	alkyylimetallit	Ansul
Na-X	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , nylon	Na	Ansul
Lith-X	grafiitti (93 %), Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (4–6 %)	Li, Na, Mg, Zr	Ansul
NAVY 125S	Cu (>98,75 %)	Li	Ansul
Allinex	alkalikloridi, alkaliboraatti	Al, Mg, Ti, Li, Na, K, U ja metalliorgaaniset yhdisteet	Mercantile Oy Ab
TEC	KCl, NaCl, BaCl	Na, K, Mg	[Tapscott, 1997]
juokstejauhe	NaCl, KCl, MgCl, BaCl, CaF <sub>2</sub>	Mg	[Tapscott, 1997]
soodajauhe	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Na, K	[Tapscott, 1997]
litiumkloridi	LiCl	Li	[Tapscott, 1997]
zirkoniumsilikaatti	ZrSiO <sub>4</sub>	Li	[Tapscott, 1997]
talkki	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	Mg	[Tapscott, 1997]
MetalGuard / G-1	grafiitti ja orgaanisia fosfaatteja	Na, K, Mg (grafiitti) Al, U (fosfaatti)	[Tapscott, 1997]

## 2.2.2 Kaasut

Kaasut sammutusaineina voidaan jakaa niiden toimintaperiaatteen mukaan inertteihin (reagoimattomat) ja halogenoituihin hiilivetyihin. Inertit kaasut voidaan jakaa edelleen jalokaasuihin (esim. Ar ja He) ja kemiallisesti passiivisiin kaasuihin (esim. CO<sub>2</sub> ja N<sub>2</sub>).

Kaasuilla sammutteina on joukko yhteisiä ominaisuuksia, minkä takia ne ovat niin suosittuja sammutteita:

- Ne eivät johda sähköä.
- Ne eivät jätä ainejäämiä pinnoille.
- Ne ovat nesteytyviä kaasuja (halogenoidut hiilivedyt).
- Useimpia voidaan käyttää samoissa laitteistoissa kuin haloni 1301:tä.
- Ne ovat tilasuojuukseen käytettäviä sammutteita.

### 2.2.2.1 Halogenoidut hiilivedyt

Halogenoidut hiilivedyt eli halokarbonit on jaettu perinteisesti seuraaviin luokkiin:

- **CFC** eli täysin halogenoidut kloorifluorihiiilivedyt, joissa kaikki vetyatomit on korvattu kloori- ja fluoriatomeilla. Näiden yhdisteiden tuotanto on kielletty (EY-asetus 2037/2000 ja Montrealin pöytäkirja 1987 sekä siihen tulleet lisäykset).
- **HCFC** eli osittain halogenoidut kloorifluorihiiilivedyt. Näiden yhdisteiden tuotanto tullaan lopettamaan (EY-asetus 2037/2000 ja Montrealin pöytäkirja 1987 sekä siihen tulleet lisäykset).
- **HFC** eli osittain fluoratut hiilivedyt, joissa osa vetyatomeista on korvattu fluoriatomilla. Yhdisteet luokitellaan kasvihuonekaasuiksi, joiden käyttöä tullaan rajoittamaan (Kioton sopimus 1997 ja EY-päätös 358/2002).
- **PFC** eli täysin fluoratut hiilivedyt (perfluorihiiilivedyt). Yhdisteet luokitellaan kasvihuonekaasuiksi, joiden käyttöä tullaan rajoittamaan (Kioton sopimus 1997 ja EY-päätös 358/2002).
- **Klooratut ja bromatut hiilivedyt**. Näiden käyttöä rajoitetaan myös (EY-asetus 2037/2000 ja Montrealin pöytäkirja 1987 sekä siihen tulleet lisäykset).

Halonit ovat täysin halogenoituja kloori- tai bromiyhdisteitä. Haloneita on käytetty sammutusaineina niiden erinomaisen sammutustehokkuuden vuoksi.

Halonien kieltäminen on johtanut varsinkin kaasujen osalta mittaviin tuotekehityksiin: mm. Great Lakes Chemical Companyn kehittämä FM-200®-sammute on seulottu yli 3 000 yhdisteen joukosta. FM-200®-yhdisteellä pyrittiin korvaamaan haloni 1301 kiinteissä sammutusjärjestelmissä. Vastaavasti DuPontin kehittämä FE-36™-sammute on haloni 1211:n korvaaja käsisammuttimissa. Molemmat edellä mainitut yhdisteet ovat HFC-yhdisteitä. American Pacific Co.:n kehittämä Halotron I -sammute on puolestaan HCFC-yhdiste, jonka käyttöä on siis rajoitettu EU-maissa. Haloneja korvaavia aineita kutsutaan yhteisnimellä *clean agents*.

Taulukossa 2.4 luetellaan kaupallisia halonien korvaajia.

Taulukko 2.4. Kaupallisia halogenoituja hiilivetyjä entisten halonien korvikkeina [NFPA 2001, 2004 ja [www.epa.gov](http://www.epa.gov)].

Kauppainimi	ASHRAE-nimi	Kemiallinen nimi	Kaava
CEA-410	FC-3-1-10	perfluoributaani	C <sub>4</sub> F <sub>10</sub>
CEA-308	–	perfluoripropaani	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>
CEA-614	FC-5-1-14	perfluoriheksaani	C <sub>6</sub> F <sub>14</sub>
Novec 1230	FK-5-1-12	dodekafluori-2-metyylipentaani-3-oni	CF <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> C(O)CF(CF <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
NAF-SIII	HCFC-Blend A – HCFC-123 – HCFC-22 – HCFC-124	diklooritrifluorietaani (4,75 %) klooridifluorimetaani (82 %) klooritetrafluorietaani (9,5 %) isopropenyli-1-metyylisyklohekseeni (3,75 %)	CHCl <sub>2</sub> CF <sub>3</sub> CHClF <sub>2</sub> CHClFCF <sub>3</sub>
FE-241	HCFC-124	klooritetrafluorietaani	CHClFCF <sub>3</sub>
FE-25	HFC-125	pentafluorietaani	CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>
FM-200	HFC-227ea	heptafluoripropaani	CF <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>
FE-13	HFC-23	trifluorimetaani	CHF <sub>3</sub>
FE-36	HFC-236fa	heksafluoripropaani	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>
Triodide	FIC-131I	trifluorijodimetaani	CF <sub>3</sub> I
Halotron I	HCFC Blend B – HCFC-123	diklooritrifluorietaani (>93 %) muita hiilivetyjä (<7 %)	CHCl <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>
FE-232	HCFC-123	diklooritrifluorietaani (>93 %)	CHCl <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>
NAF PIII	HCFC Blend C – HCFC-123 – HCFC-124 – HCFC-134a	diklooritrifluorietaani klooritetrafluorietaani –	CHCl <sub>2</sub> CF <sub>3</sub> CHClFCF <sub>3</sub> –
Blitz III	HCFC Blend D – HCFC-123	diklooritrifluorietaani	CHCl <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>
NAF P-IV	HCFC Blend E – HCFC – HCF		
–	HFC-134a	–	–

Edellä olevan taulukon tiedot on kerätty pääosin NFPA 2001 -standardista sekä EPA:n (U.S Environmental Protection Agency) Internet-sivuilta. Jälkimmäinen päivittää listaa juuri mm. haloneja korvaavista sammutteista (muistakin kuin halokarboneista).

Käsisammutinstandardissa EN 3-7 mainitaan clean agents -yhdisteihin kuuluviksi seuraavat halogenoidut hiilivedyt:

- FC (FluoroCarbons)
- PFC (PerFluoroCarbons)
- FIC (FluoroIodoCarbons).

Näistä kaksi ensimmäistä ovat siis täysin fluorattuja hiilivetyjä ja FIC-yhdisteet puolestaan ovat osin fluorattuja ja jodioituja hiilivetyjä. Jälkimmäisiin yhdisteisiin kuuluvan esim. trifluorimetaanin (CF<sub>3</sub>I) käyttöä ei ole rajoitettu asetuksin, mutta sen on todettu olevan ihmiselle vaarallinen (kardiotoksinen aine), joten miehitetyissä tiloissa sitä ei saa käyttää.

### 2.2.2.2 Inertit sammutteet

Inerttien sammutteiden osalta puhutaan pääosin luonnostaan ilmakehässä olevien kaasujen kokoonpanoista. Taulukossa 2.5 listataan NFPA 2001 -standardissa mainitut inertit kaasusammutteet.

*Taulukko 2.5. Inertit sammutteet [NFPA 2001, 2004].*

Kauppanimi	ASHRAE-nimi	Koostumus	Kaava
Argotec	IG-01	argon	Ar
Typpi / NN100	IG-100	typpi	N <sub>2</sub>
Inergen	IG-541	typpi (52 %)	N <sub>2</sub>
		argon (40 %)	Ar
		hiilidioksidi (8 %)	CO <sub>2</sub>
Argonite	IG-55	typpi (50 %)	N <sub>2</sub>
		argon (50 %)	Ar

Hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>) on myös kemiallisesti passiivinen eli inertti sammute, mutta se luokitellaan Kioton sopimuksessa kasvihuonekaasuksi.

### 2.2.3 Vaahdot

Vaahdot jaetaan A- ja B-luokan vaahtoihin. Edellisten ominaisuutena on se, että ne alentavat veden pintajännitystä, jolloin vesi pystyy tunkeutumaan paremmin huokoiseen materiaaliin. Esimerkiksi 0,3 % A-luokan vaahtotetta alentaa veden pintajännitystä 2/3:lla [Andstén, 1998]. Jälkimmäisten vaahtojen ominaisuutena taas on se, että ne kelpuvat palavan nesteen päällä. Tällöin vaahto muodostaa kalvon, jolla eristetään ilman ja palavien kaasujen kontakti toisiinsa.

A-luokan vaahtoja muodostettaessa tarvitaan n. 0,1–1,0 % vaahtokonsentraattia, kun taas B-luokan (synteettiset ja proteiinivaahdot) vaahtoja valmistettaessa konsentraattia tarvitaan n. 1–6 % (AR-AFFF jopa 10 %) [NFPA 11, 2000 ja NFPA 1145, 2000].

Vaahtokonsentraatit luokitellaan EN 1568-1-4:2000 -standardeissa

- *proteiinivaahtoihin* (P): näissä raaka-aineena käytetään hydrolysoitua proteiinia
- *fluoroproteiinivaahtoihin* (FP): nämä ovat proteiinivaahtoja, joihin on lisätty fluorattuja pinta-aktiivisia hiilivetyjä
- *synteettisiin vaahtoihin* (S): vaahtot muodostetaan pinta-aktiivisten hiilivetyjen ja mahdollisesti fluorattujen pinta-aktiivisten aineiden seoksista
- *polaarisia liuottimia kestäviin vaahtoihin* (AR, Alcohol Resistant): näillä muodostetaan polymeereistä emulsio liuottimen pinnalle
- *AFFF-kalvovaahtoihin* (Aqueous Film-Forming Foam): pohjana tässä käytetään synteettisiä vaahtoja, mutta nämä kykenevät muodostamaan kalvon palavien hiilivetyjen pinnalle
- *FFFP-kalvovaahtoihin* (Film-Forming FluoroProtein): nämä ovat fluoroproteiinivaahtoja, joilla on sama kalvonmuodostuskyky, mutta nämä sisältävät hydrolysoitua proteiinia.

Vaikkakin standardeissa mainitaan synteettiset vaahtot (S) omana ryhmänään, myös FFFP- ja FP-vaahdot sisältävät synteettisiä komponentteja.

Vaahtojen ulkoista ominaisuutta kuvataan niiden vaahtoluvun perusteella, joka ilmoitetaan valmiin vaahton ja siihen käytetyn vaahtoliuoksen tilavuuksien suhteena seuraavasti:

- raskasvaahdot (low expansion foam): vaahtoluku <20
- keskivaahdot (medium expansion foam): vaahtoluku 20–200
- kevytvaahdot (high expansion foam): vaahtoluku >200.

Taulukossa 2.6 kuvataan mm. vaahtotyyppien fyysistä olomuotoa eri vaahtoluvuilla.

*Taulukko 2.6. Vaahtojen ominaisuuksia eri vaahtoluvuilla [NFPA 1145, 2000].*

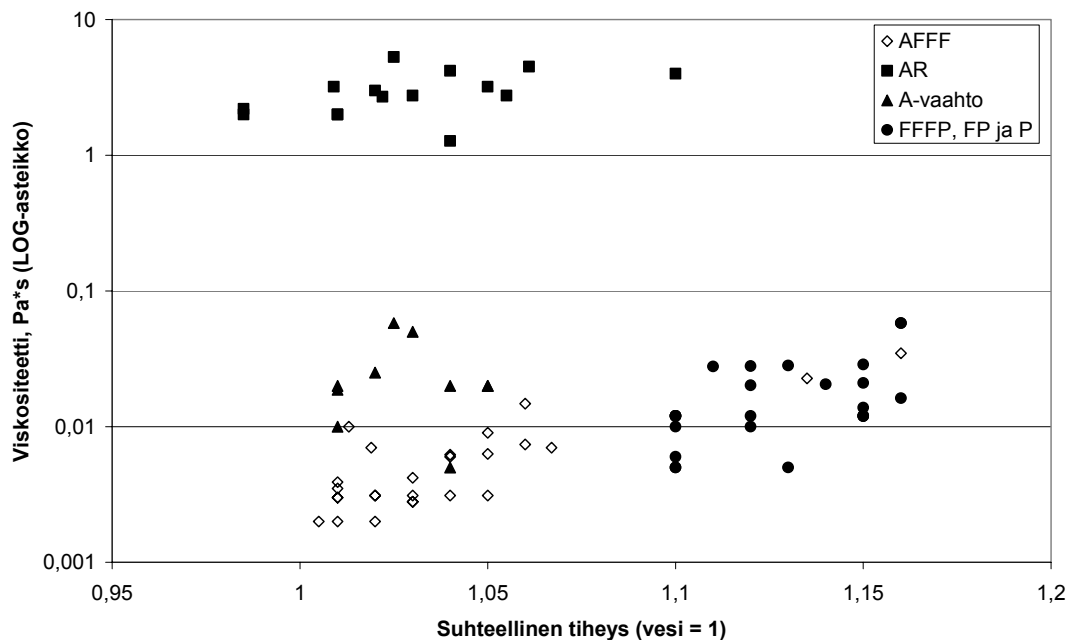
Vaahto	Raskasvaahto			Keskivaahto	Kevytvaahto
	Tyyppi	märkä	fluidi		
Vaahtoluku	1–5	5–10	10–20	20–200	200–1 000
Olomuoto	vetinen, siirappimainen	vetinen partavaahto	edellisiä jäykempi	kuiva vaahto, keskikokoiset kuplat	erittäin kuiva, suuret kuplat
Juoksutusaika <sup>1</sup> , s	<30	30–90	90–120	>120	>300
Sekoitustapa	ei-ilmaa sekoitettava, ilmasekoitteinen sekä CAFS	ilmaa sekoitava sekä CAFS	CAFS	isojen suuttimien avulla	kevytvaahdosekoittaja

<sup>1</sup> Luku ilmaisee ajan, kun 25 % vaahdosta on tullut ulos järjestelmästä.

Vaahtojen ja vaahtoliuosten muodostumistavasta kerrotaan lisää kohdassa 4.4, jossa käsitellään vaahtolaitteistoja.

### 2.2.3.1 Vaahtokonsentraattien ominaisuuksista

Vaahtokonsentraattien ominaisuuksia kuvataan kemiallisesti ja fysikaalisesti. Nämä tiedot saadaan usein selville valmistajien käyttöturvallisuustiedotteista (MSDS, Material Safety Data Sheet), joissa ilmoitetaan tuotetta kuvaavat parametrit: mm. tiheys, viskositeetti sekä käyttölämpötila. Konsentraatin kemiallista koostumusta ei useinkaan saada täysin selville, sillä mm. pinta-aktiivisten yhdisteiden koostumus on usein tuotesalaisuus. Kuvaan 2.2 on poimittu kaupallisten vaahtojen tiheys- ja viskositeettiarvoja.



Kuva 2.2. Kaupallisten vaahtokonsentraattien viskositeetti- ja tiheysarvot. Viskositeetti ja tiheys on määritetty 20 °C:n lämpötilassa. Huomaa pystyakselin log-asteikko. Lähteinä valmistajat Foam Pro, Ansul, Buckeye ja Kidde.

Kuvasta 2.2 nähdään, kuinka AR-vaahtojen viskositeettiarvot ovat noin 100-kertaisia muihin konsentraattityyppeihin nähden. Tämä johtuu pääosin AR-vaahtojen polysakkaridikerroksesta, jonka takia kyseiset konsentraatit ovat luonteeltaan tiksotrooppisia. Viskositeettia lisäämällä saadaan joissakin tapauksissa tehostettua veden sammutuskykyä, kun vesi ei juoksetu niin nopeasti pois palavilta pinnoilta.

Vaahtokonsentraattien pakkasenkestävyyttä voidaan parantaa lisäämällä niihin mm. glykoleja tai suoloja, joiden avulla saadaan LT-vaahdot (Low Temperature) kestämaan aina  $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ :seen asti. Vaahtonesteen käytettävyyden yläraja on n.  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kiehumislämpötila puolestaan vaihtelee  $(100 \pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n tienoilla.

3M-yhtiön ilmoitus lopettaa AFFF-vaahtonesteiden valmistus johtui vaahtonesteiden sisältämän PFOS-yhdisteen (PerFluoroOctyl Sulfonate) myrkyllisyydestä ihmiselle. Nykyään kaupallisia AFFF-vaahtonesteitä valmistavat yhtiöt, kuten Ansul, Chemguard ja Kidde, valmistavat AFFF-konsentraatteja eri fluorausmenetelmin (telomerisaatio).

Seuraavassa on selvitetty taulukkomuodossa markkinoilla olevien vaahtojen tilannetta nykyhetkellä. Vaahdot on listattu suurimpien valmistajien Internet-sivuilla, joissa on mainittu myös kyseisten tuotteiden käyttöturvallisuustiedot. Suomessa sammutusvaahtojen maahantuojina toimivat ainakin Oy Veljekset Kulmala Ab ja Oy Presto-Tuote Ab.

*Taulukko 2.7. Kaupallisia proteiinivaahtoja.*

Nimi	Valmistaja	Koostumus
Ansul 3 % P	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>sekoitus: hydrolysoitua proteiinia, epäorgaanisia suoloja ja vettä (93 %)</li> <li>heksyleeniglykoli (7 %)</li> <li>diklorofeeni (0,02 %)</li> </ul>
Ansul 3 % P – low temp.	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>sekoitus: hydrolysoitua proteiinia, glykolipohjaisia liuottimia, pinta-aktiivista fluoriyhdistettä, epäorgaanisia suoloja ja vettä (&gt;70 %)</li> <li>heksyleeniglykoli (17 %)</li> <li>etyleeniglykoli (13 %)</li> <li>diklorofeeni (0,02 %)</li> </ul>
Ansul 6 % P	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>sekoitus: hydrolysoitua proteiinia, epäorgaanisia suoloja ja vettä (93 %)</li> <li>heksyleeniglykoli (7 %)</li> <li>diklorofeeni (0,02 %)</li> </ul>
Ansul 6 % – low temp.	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>sekoitus: hydrolysoitua proteiinia, epäorgaanisia suoloja ja vettä (71 %)</li> <li>heksyleeniglykoli (17 %)</li> <li>etyleeniglykoli (12 %)</li> <li>diklorofeeni (0,02 %)</li> </ul>
Chemguard 3 % Protein	Chemguard	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä</li> <li>heksyleeniglykoli (1–10 %)</li> <li>natriumkloridia (5–10 %)</li> <li>sinkkioksidia (&lt;1 %) + biosidi</li> <li>hydrolysoitua proteiinia (15–25 %)</li> </ul>
Chemguard 6 % Protein	Chemguard	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä</li> <li>heksyleeniglykoli (1–10 %)</li> <li>natriumkloridia (5–10 %)</li> <li>sinkkioksidia (&lt;1 %) + biosidi (&lt;1 %)</li> <li>hydrolysoitua proteiinia (10–20 %)</li> </ul>

Nimi	Valmistaja	Koostumus
NICEROL HC 3 % Protein Foam	Kidde (Angus Fire)	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä</li> <li>hydrolysoitua proteiinia (15–40 %)</li> <li>heksyleeniglykolia (3–7 %)</li> <li>natriumkloridia (5–10 %)</li> <li>sinkkioksidia (0,5–1,5 %)</li> <li>säilyvyyttä parantavia ainesosia (0,1–1,0 %)</li> </ul>
NICEROL 6 % Protein Foam	Kidde (Angus Fire)	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä</li> <li>hydrolysoitua proteiinia (10–20 %)</li> <li>heksyleeniglykolia (3–7 %)</li> <li>natriumkloridia (5–10 %)</li> <li>sinkkioksidia (0,5–1,5 %)</li> <li>säilyvyyttä parantavia ainesosia (&lt;2 %)</li> </ul>
AER-O-FOAM 3 % Cold Foam	Kidde (National Foam)	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä (23–46 %)</li> <li>hydrolysoitua proteiinia (15–22 %)</li> <li>etyleeniglykolia (18–22 %)</li> <li>2-etoksietanolia (18–22 %)</li> <li>heksyleeniglykolia (2–5 %)</li> <li>ferrosulfaattia (0,5–2,0 %)</li> <li>monoetanoliamiinia (0,5–2,0 %)</li> <li>sinkkikloridia (0,5–2,0 %)</li> </ul>
AER-O-FOAM 3 % Regular	Kidde (National Foam)	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä (38–53 %)</li> <li>hydrolysoitua proteiinia (36–42 %)</li> <li>etyleeniglykolia (5–8 %)</li> <li>heksyleeniglykolia (5–8 %)</li> <li>ferrosulfaattia (0,5–2,0 %)</li> <li>sinkkikloridia (0–1 %)</li> </ul>

Taulukko 2.8. Kaupallisia fluoroproteiinivaahtoja.

Nimi	Valmistaja	Koostumus
Ansul 3 % FP	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>sekoitus: hydrolysoitua proteiinia, fluoripinta-aktiivisia yhdisteitä, epäorgaanisia suoloja ja vettä (&gt;90 %)</li> <li>heksyleeniglykoli (6,5 %)</li> <li>diklorofeeni (0,02 %)</li> </ul>
Ansul 3 % FP – low temp.	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>sekoitus: hydrolysoitua proteiinia, fluoripinta-aktiivisia yhdisteitä, epäorgaanisia suoloja ja vettä (70 %)</li> <li>etyleeniglykoli (15 %)</li> <li>heksyleeniglykoli (15 %)</li> <li>diklorofeeni (0,02 %)</li> </ul>
Ansul 6 % FP	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>sekoitus: hydrolysoitua proteiinia, glykolia, liuottimia, fluoripinta-aktiivisia yhdisteitä, epäorgaanisia suoloja ja vettä (&gt;90 %)</li> <li>heksyleeniglykoli (7,5 %)</li> <li>diklorofeeni (0,02 %)</li> </ul>



Nimi	Valmistaja	Koostumus
Ansul 6 % FP – low temp.	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>sekoitus: hydrolysoitua proteiinia, glykolia, pinta-aktiivista fluoriyhdistettä, epäorgaanisia suoloja ja vettä (71 %)</li> <li>heksyleeniglykoli (17 %)</li> <li>etyleeniglykoli (12 %)</li> <li>diklorofeeni (0,02 %)</li> </ul>
FP70 PLUS 3%	Kidde (Angus Fire)	<ul style="list-style-type: none"> <li>hydrolysoitua proteiinia (15–45 %)</li> <li>heksyleeniglykolia (3–7 %)</li> <li>pinta-aktiivisia yhdisteitä sekä pinta-aktiivisia fluoriyhdisteitä (1–5 %)</li> <li>sinkkioksidia (0,5–1,5 %)</li> <li>vettä</li> </ul>
BFC - 3FP 3 %	Buckeye	<ul style="list-style-type: none"> <li>hydrolysoitua proteiinia (80–90 %)</li> <li>heksyleeniglykoli (2–6 %)</li> <li>natriumkloridi (4–8 %)</li> <li>magnesiumkloridi (4–8 %)</li> <li>rauta(II)sulfaatti heptahydraatti (0–2 %) + pinta-aktiivista fluoriyhdistettä (0,1–0,5 %)</li> </ul>
BFC - 3FP 6 %	Buckeye	<ul style="list-style-type: none"> <li>hydrolysoitua proteiinia (80–90 %)</li> <li>heksyleeniglykoli (2–6 %)</li> <li>natriumkloridi (4–8 %)</li> <li>magnesiumkloridi (4–8 %)</li> <li>rauta(II)sulfaatti heptahydraatti (0–2 %) + pinta-aktiivista fluoriyhdistettä (0,1–0,5 %)</li> </ul>
Chemguard 6 % Fluoro-protein	Chemguard	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä (50–70 %)</li> <li>heksyleeniglykoli (1–4 %)</li> <li>sinkkioksidia (0,5–1 %)</li> <li>hydrolysoitua proteiinia (10–20 %)</li> <li>pinta-aktiivista fluoriyhdistettä</li> </ul>
3 % Fluoroprotein	Chemguard	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä</li> <li>heksyleeniglykoli (1–10 %)</li> <li>natriumkloridia (5–10 %)</li> <li>sinkkioksidia (&lt;1 %) + biosidi (&lt;1 %)</li> <li>pinta-aktiivinen fluoriyhdiste (&lt;5 %)</li> </ul>
AER-O-FOAM XLX-6	Kidde (National Foam)	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä (57–70 %)</li> <li>hydrolysoitua proteiinia (25–30 %)</li> <li>etyleeniglykolia (2–5 %)</li> <li>heksyleeniglykolia (2–5 %)</li> <li>ferrosulfaattia (1–2 %)</li> <li>sinkkikloridia (0,1–0,5 %)</li> </ul>
AER-O-FOAM XLX-3	Kidde (National Foam)	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä (57–70 %)</li> <li>hydrolysoitua proteiinia (25–30 %)</li> <li>etyleeniglykolia (2–5 %)</li> <li>heksyleeniglykolia (2–5 %)</li> <li>ferrosulfaattia (1–2 %)</li> <li>sinkkikloridia (0,1–0,5 %)</li> </ul>
AER-O-FOAM XL-3	Kidde (National Foam)	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä (42–56 %)</li> <li>hydrolysoitua proteiinia (35–40 %)</li> <li>etyleeniglykolia (4–7 %)</li> <li>heksyleeniglykolia (4–7 %)</li> <li>ferrosulfaattia (0,5–2 %)</li> <li>sinkkikloridia (0–1 %)</li> <li>pinta-aktiivisia fluoriyhdisteitä (0,1–0,5 %)</li> </ul>

Taulukko 2.9. Kaupallisia A-vaahoja.

Nimi	Valmistaja	Koostumus
RESPONDER	Kidde (National Foam)	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä (69–83 %)</li> <li>sekoitus synteettisiä detergenttejä (12–18 %)</li> <li>propyleeniglykoli (4–7 %)</li> <li>(2-metoksimetyylietoksi)-propanoli (1–3 %)</li> <li>korroosionestoaineita (0–3 %)</li> </ul>
KNOCKDOWN	Kidde (National Foam)	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä (48–70 %)</li> <li>sekoitus synteettisiä detergenttejä (20–30 %)</li> <li>propyleeniglykoli (8–12 %)</li> <li>(2-metoksimetyylietoksi)-propanoli (2–4 %)</li> <li>korroosionestoaineita (0–3 %)</li> </ul>
FOREXPAN S 3 %	Kidde (Angus Fire)	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä</li> <li>2-(2-butoksietoksi)etanoli (10–30 %)</li> <li>dinatriumin suola (1–5 %)</li> <li>etoksyloidun alkyyliesterisulfaatin natriumsuola (7–13 %)</li> </ul>
FOREXPAN S 0.1-1 %	Kidde (Angus Fire)	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä</li> <li>2-(2-butoksietoksi)etanoli (10–30 %)</li> <li>dinatriumin suola (7–15 %)</li> <li>etoksyloidun alkyyliesterisulfaatin natriumsuola (10–30 %)</li> <li>dodekan-1-oli (lauryylialkoholi) (1–5 %)</li> </ul>
Firepower 0.1-1 %	Kidde (Angus Fire)	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä</li> <li>sekoitus synteettisiä detergenttejä (10–20 %)</li> <li>propyleeniglykoli (5–10 %)</li> <li>(2-metoksimetyylietoksi)-propanoli (1–5 %)</li> <li>korroosionestoainetta (1–3 %)</li> </ul>
HiCombat A	Kidde (Angus Fire)	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä (49–68 %)</li> <li>sekoitus synteettisiä detergenttejä (20–30 %)</li> <li>propyleeniglykoli (10–15 %)</li> <li>(2-metoksimetyylietoksi)-propanoli (2–5 %)</li> <li>korroosionestoainetta (0,2–1,0 %)</li> </ul>
Chemguard class "A" Plus	Chemguard	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä (54–72 %)</li> <li>heksyleeniglykoli (4–8 %)</li> <li>1-tert-butoksiopropan-2-oli (4–8 %)</li> <li>pinta-aktiivisia hiilivety-yhdisteitä (20–30 %)</li> </ul>

Taulukko 2.10. Kaupallisia synteettisiä (S) vaahtoja.

Nimi	Valmistaja	Koostumus
Ansul Target 7 Foam Concentrate	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä (68–84 %)</li> <li>sekoitus: pinta-aktiivisia yhdisteitä ja suurmolekulaarisia polymeerejä (8–16 %)</li> <li>propyleeniglykoli (8–16 %)</li> <li>natrium-2-bifenylaatti (0,04 %)</li> </ul>
Ansul Training Foam - Formula 1549-58	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä (87–95 %)</li> <li>sekoitus: pinta-aktiivista hiilivetyä ja epäorgaanisia suoloja (4–8 %)</li> <li>propyleeniglykoli (2–5 %)</li> <li>natrium-2-bifenylaatti (0,02 %)</li> </ul>
FULL-EX	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>sekoitus: rasva-alkoholin natrium- ja ammonium-suoloja, eetterisulfaatteja (C<sub>8</sub>-C<sub>18</sub>), pitkäketjuisia alkoholeja ja vettä (83 %)</li> <li>2-(2-butoksietoksi)etanoli (12 %)</li> <li>etanoli (5 %)</li> </ul>
FULL-EX – low temp	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>sekoitus: rasva-alkoholin natrium- ja ammonium-suoloja, eetterisulfaatteja (C<sub>8</sub>-C<sub>18</sub>), pitkäketjuisia alkoholeja ja vettä (70 %)</li> <li>etyleeniglykoli (15 %)</li> <li>heksyleeniglykoli (15 %)</li> </ul>
JET-X (High Expansion Foam)	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>sekoitus: rasva-alkoholin natrium- ja ammonium-suoloja, eetterisulfaatteja (C<sub>8</sub>-C<sub>18</sub>), pitkäketjuisia alkoholeja ja vettä (&gt;95 %)</li> <li>etanoli (4 %)</li> </ul>
SILV-EX	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>sekoitus: rasva-alkoholin natrium- ja ammonium-suoloja, eetterisulfaatteja (C<sub>8</sub>-C<sub>18</sub>), pitkäketjuisia alkoholeja ja vettä (&gt;70 %)</li> <li>2-(2-butoksietoksi)etanoli (18 %)</li> <li>etanoli (8 %)</li> </ul>

Taulukko 2.11. Kaupallisia AR-AFFF-vaahoja.

Nimi	Valmistaja	Koostumus
Chemguard 3 %/6 % AR-AFFF C-363	Chemguard	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä (70–80 %)</li> <li>2-(2-butoksietoksi)etanoli (4–7 %)</li> <li>pinta-aktiivista hiilivetyä</li> <li>pinta-aktiivista fluoriyhdistettä</li> <li>polysakkarideja (1–2 %)</li> </ul>
Chemguard 3 %/6 % AR-AFFF C-361	Chemguard	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä (70–80 %)</li> <li>1-tert-butoksipropan-2-oli (4–7 %)</li> <li>pinta-aktiivista hiilivetyä</li> <li>pinta-aktiivista fluoriyhdistettä</li> <li>polysakkarideja (1–2 %)</li> </ul>
Chemguard 3 %/6 % AR-AFFF, SG36HE	Chemguard	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä (85–90 %)</li> <li>1-tert-butoksipropan-2-oli (2–4 %)</li> <li>magnesiumsulfaatti (1–2 %)</li> <li>pinta-aktiivista hiilivetyä</li> <li>pinta-aktiivista fluoriyhdistettä ja polysakkarideja</li> </ul>
Ansulite ARC	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>sekoitus: pinta-aktiivista hiilivetyä, pinta-aktiivista fluoriyhdistettä, epäorgaanisia suoloja, suurmolekyyllisiä polysakkarideja ja vettä (84,9 %)</li> <li>2-(2-butoksietoksi)etanoli (15 %)</li> <li>Dowacil 75 (0,015 %)</li> </ul>
Ansulite 3x3 (AR consentrate)	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>sekoitus: pinta-aktiivista hiilivetyä, pinta-aktiivista fluoriyhdistettä, epäorgaanisia suoloja, suurmolekyyllisiä polysakkarideja ja vettä (&gt;85 %)</li> <li>2-(2-butoksietoksi)etanoli (10 %)</li> <li>2-metyyli-2-propanoli (0,7 %)</li> <li>heksyleeniglykoli (0,4 %)</li> <li>natrium-2-bifenylaatti (0,015 %)</li> </ul>
Ansulite 3x3 low viscosity	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>sekoitus: pinta-aktiivista hiilivetyä, pinta-aktiivista fluoriyhdistettä, epäorgaanisia suoloja, suurmolekyyllisiä polysakkarideja ja vettä (&gt;85 %)</li> <li>2-(2-butoksietoksi)etanoli (10 %)</li> <li>heksyleeniglykoli (0,4 %)</li> <li>natrium-2-bifenylaatti (0,015 %)</li> </ul>
Ansulite 3x6	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>sekoitus: pinta-aktiivista hiilivetyä, pinta-aktiivista fluoriyhdistettä, epäorgaanisia suoloja, suurmolekyyllisiä polysakkarideja ja vettä (94–98 %)</li> <li>2-(2-butoksietoksi)etanoli (5 %)</li> <li>Dowacil 75 (0,02 %)</li> </ul>

Taulukko 2.12. Kaupallisia AR-FFFP-vaahoja.

Nimi	Valmistaja	Koostumus
NIAGARA 1-3	Kidde (Angus Fire)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vettä</li> <li>• hydrolysoitua proteiinia (20-40 %)</li> <li>• heksyleeniglykolia (&lt;10 %)</li> <li>• natriumkloridia (5–10 %)</li> <li>• pinta-aktiivisia fluoriyhdisteitä (&lt;5 %)</li> <li>• säilyvyyttä parantavia ainesosia (&lt;2 %)</li> </ul>
NIAGARA 3-3	Kidde (Angus Fire)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vettä</li> <li>• hydrolysoitua proteiinia (20–40 %)</li> <li>• heksyleeniglykolia (&lt;10 %)</li> <li>• natriumkloridia (5–10 %)</li> <li>• pinta-aktiivisia fluoriyhdisteitä (&lt;5 %)</li> <li>• säilyvyyttä parantavia ainesosia (&lt;2 %)</li> </ul>
HiCombat 3/6%	Kidde (Angus Fire)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vettä</li> <li>• hydrolysoitua proteiinia (15–45 %)</li> <li>• heksyleeniglykolia (3–7 %)</li> <li>• pinta-aktiivisia fluoriyhdisteitä sekä muita pinta-aktiivisia yhdisteitä (1–5 %)</li> <li>• säilyvyyttä parantavia ainesosia (1–5 %)</li> </ul>
ALCOSEAL 3-6%	Kidde (Angus Fire)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vettä</li> <li>• hydrolysoitua proteiinia (21–31 %)</li> <li>• heksyleeniglykolia (5–10 %)</li> <li>• pinta-aktiivisia fluoriyhdisteitä (3–7 %)</li> <li>• 1,2 bentsoisotiats-3-oni (1–5 %)</li> </ul>
ALCOSEAL 3-3%	Kidde (Angus Fire)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vettä</li> <li>• hydrolysoitua proteiinia (21–31 %)</li> <li>• heksyleeniglykolia (5–10 %)</li> <li>• pinta-aktiivisia fluoriyhdisteitä (3–7 %)</li> <li>• 1,2-bentsoisotiatsoni (1–5 %)</li> </ul>

Taulukko 2.13. Kaupallisia AFFF-vaahtoja.

Nimi	Valmistaja	Koostumus
Chemguard 6 % AFFF	Chemguard	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä (85–90 %)</li> <li>1-tert-butoksiopropan-2-oli (1–3 %)</li> <li>magnesiumsulfaatti (1–2 %)</li> <li>pinta-aktiivista hiilivetyä</li> <li>pinta-aktiivista fluoriyhdistettä</li> </ul>
Chemguard 6 % AFFF C-601MS	Chemguard	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä (70–80 %)</li> <li>2-(2-butoksietoksi)etanoli (4–7 %)</li> <li>magnesiumsulfaatti (0,25–0,75 %)</li> <li>etyleenidiamiinitetraetikkahappo (0,25–0,75 %)</li> <li>pinta-aktiivista hiilivetyä ja pinta-aktiivista fluoriyhdistettä</li> </ul>
Chemguard 1 % AFFF C-103	Chemguard	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä (35–40 %)</li> <li>2-(2-butoksietoksi)etanoli (25–30 %)</li> <li>pinta-aktiivista hiilivetyä</li> <li>pinta-aktiivista fluoriyhdistettä</li> </ul>
Chemguard 3 % AFFF C-303	Chemguard	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä (85–90 %)</li> <li>1-tert-butoksiopropan-2-oli (2–4 %)</li> <li>magnesiumsulfaatti (1–2 %)</li> </ul>
Chemguard 3 % AFFF C3LT	Chemguard	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä (55–65 %)</li> <li>2-(2-butoksietoksi)etanoli (3–6 %)</li> <li>etyleeniglykoli (18 %)</li> <li>pinta-aktiivista hiilivetyä</li> <li>pinta-aktiivista fluoriyhdistettä ja polysakkarideja</li> </ul>
Chemguard 3 % AFFF C-301MS	Chemguard	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä (70–80 %)</li> <li>magnesiumsulfaatti (0,5–1,5 %)</li> <li>etyleenidiamiinitetraetikkahappo (0,5–1,5 %)</li> <li>pinta-aktiivista hiilivetyä</li> <li>pinta-aktiivista fluoriyhdistettä</li> </ul>
Chemguard 3 % AFFF, SG3HE	Chemguard	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä (85–90 %)</li> <li>1-tert-butoksiopropan-2-oli (3–5 %)</li> <li>magnesiumsulfaatti (1–2 %)</li> <li>pinta-aktiivista hiilivetyä</li> <li>pinta-aktiivista fluoriyhdistettä</li> </ul>
Chemguard 6 % AFFF C-603	Chemguard	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä (87–95 %)</li> <li>1-tert-butoksiopropan-2-oli (1–2 %)</li> <li>magnesiumsulfaatti (0,5–1 %)</li> <li>pinta-aktiivista hiilivetyä</li> <li>pinta-aktiivista fluoriyhdistettä</li> </ul>
Ansulite 1 % AFFF	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>sekoitus: pinta-aktiivista hiilivetyä, pinta-aktiivista fluoriyhdistettä, epäorgaanisia suoloja ja vettä (&lt;90 %)</li> <li>2-(2-butoksietoksi)etanoli (5 %)</li> <li>2-metyyli-2-propanoli (0,2 %)</li> <li>heksyleeniglykoli (0,2 %)</li> </ul>
Ansulite 1 % Freeze Protected AFFF Con- centrate	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>vettä (40–45 %)</li> <li>etyleeniglykoli (30 %)</li> <li>2-(2-butoksietoksi)etanoli (17 %)</li> <li>sekoitus: pinta-aktiivista hiilivetyä, pinta-aktiivista fluoriyhdistettä, epäorgaanisia suoloja (10–15 %)</li> <li>2-metyyli-2-propanoli (0,95 %) ja heksyleeniglykoli (0,77 %)</li> </ul>

Nimi	Valmistaja	Koostumus
Ansulite 3 % AFFF (AFC-3-A)	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sekoitus: pinta-aktiivista hiilivetyä, pinta-aktiivista fluoriyhdistettä, epäorgaanisia suoloja ja vettä (&gt;85 %)</li> <li>• 2-(2-butoksietoksi)etanoli (10 %)</li> <li>• 2-metyyli-2-propanoli (0,4 %)</li> <li>• heksyleeniglykoli (0,3 %)</li> </ul>
Ansulite 3 % AFFF (AFC-5-A)	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sekoitus: pinta-aktiivista hiilivetyä, pinta-aktiivista fluoriyhdistettä, epäorgaanisia suoloja ja vettä (80 %)</li> <li>• 2-(2-butoksietoksi)etanoli (17 %)</li> <li>• propan-1-oli (0,4 %)</li> <li>• heksyleeniglykoli (0,5 %)</li> </ul>
Ansulite 3 % AFFF Freeze Protected	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sekoitus: pinta-aktiivista hiilivetyä, pinta-aktiivista fluoriyhdistettä, epäorgaanisia suoloja ja vettä (55 %)</li> <li>• 2-(2-butoksietoksi)etanoli (15 %)</li> <li>• etyleeniglykoli (30 %)</li> </ul>
Ansulite 6 % AFFF (AFC-3)	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sekoitus: pinta-aktiivista hiilivetyä, pinta-aktiivista fluoriyhdistettä, epäorgaanisia suoloja ja vettä (&gt;80 %)</li> <li>• 2-(2-butoksietoksi)etanoli (19 %)</li> <li>• 2-metyyli-2-propanoli (0,2 %)</li> <li>• heksyleeniglykoli (0,3 %)</li> </ul>
Ansulite 6 % AFFF (AFC-5)	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sekoitus: pinta-aktiivista hiilivetyä, pinta-aktiivista fluoriyhdistettä, epäorgaanisia suoloja ja vettä (&gt;80 %)</li> <li>• 2-(2-butoksietoksi)etanoli (19 %)</li> <li>• propan-1-oli (0,2 %)</li> <li>• heksyleeniglykoli (0,3 %)</li> </ul>
Tridol S 6 AFFF	Kidde (Angus Fire)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2-(2-butoksietoksi)etanoli (10–19 %)</li> <li>• pinta-aktiivista hiilivetyä (&lt;5 %)</li> <li>• pinta-aktiivinen fluoriyhdiste (&lt;5 %)</li> <li>• magnesiumsulfaatti (&lt;5 %)</li> <li>• vettä</li> </ul>
FC 201AF Light Water 1 % AFFF	Mercantile Oy Ab	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2-(2-butoksietoksi)etanoli (19 %)</li> <li>• etyleeniglykoli (14 %)</li> <li>• trietanoliamiini (3 %)</li> <li>• alkyylisulfaattisuoloja (14–16 %)</li> <li>• perfluorialkyylisulfaattisuoloja (1–5 %) sekä amfo- teerinen fluorialkyylisulfaattisuoloja (5–10 %)</li> </ul>

Taulukko 2.14. Kaupallisia FFFP-vaahtoja.

Nimi	Valmistaja	Koostumus
PETROSEAL 3%	Kidde (Angus Fire)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vettä</li> <li>• hydrolysoitua proteiinia (15–45 %)</li> <li>• heksyleeniglykoli (3–7 %)</li> <li>• säilyvyyttä parantavia ainesosia (1–5 %)</li> <li>• pinta-aktiivista fluoriyhdisteitä sekä muita pinta-aktiivisia yhdisteitä (1–5 %)</li> <li>• natriumkloridia (5–10 %)</li> <li>• sinkkioksidia (0,1–1,0 %)</li> </ul>
Chemguard 3 % FFFP	Chemguard	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sekoitus: vettä, pinta-aktiivisia fluorattuja hiilivetyjä, hydrolysoitua proteiinia, pinta-aktiivisia synteettisiä hiilivetyjä, luottimia, vaahdon stabilisointia ja säilyvyyttä parantavia aineita</li> </ul>
Chemguard 6 % FFFP	Chemguard	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vettä</li> <li>• heksyleeniglykoli (1–3 %)</li> <li>• hydrolysoitua proteiinia (10–20 %)</li> <li>• pinta-aktiivista fluoriyhdistettä</li> </ul>

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. MSDS-tiedoissa on mainittuna ainoastaan 2-(2-butoksietoksi)etanoliyhdiste. Pinta-aktiivisen komponentin tarkempaa rakennetta ei kerrota. Oy Veljekset Kulmala Ab toimii maahantuojana BIO FOR- ja ECOPOL -konsentraateille. ECOPOL-vaahtoa voidaan 6 %:n konsentraattipitoisuuksilla käyttää myös AR-vaahtona.

## 2.2.4 Vesipohjaiset aineet

Vesipohjaisten aineiden kehitys on viime vuosina edistynyt paljon, sillä uuden paloluokituksen F (eläin- ja kasvirasvapohjaiset palot) myötä käytetään näiden palojen sammuttamiseen yhä enemmän nestemäisiä sammutteita, niin kiinteissä sammutusjärjestelmissä kuin käsisammuttimissakin. Perinteisesti nestesammutteet ovat olleet jauhesammutteiden vaihtoehto lähinnä alkusammutuksessa.

Nestesammutteet eroavat vaahtosammutteista siinä määrin, että ne ovat sammutettavalla pinnalla edelleen nestemäisinä eivätkä vaahtona. Kuitenkin F-luokan paloihin suunnitelluilla sammutteilla kemiallinen reaktio saa aikaan vaahtoa palavan pinnan päälle, jolloin sammuttavana mekanismina on palokaasujen eristäminen sekä tukahdutus. Nestesammutteet sisältävät veden lisäksi yleensä kaliumkarbonaatti-, kaliumasettaatti- tai kaliumsitraattipohjaisia yhdisteitä tai näiden sekoituksia [NFPA 17A, 2002]. Lisäksi veteen lisätään pintajännitystä alentavia, juoksettuvuutta parantavia ja pakkasenkestävyyttä



parantavia ainesosia vaahtojen tapaan [Andstén ja Weckman, 1999]. Taulukossa 2.15 esitetään eräitä kaupallisia nestesammutteita.

*Taulukko 2.15. Kaupallisia nestesammutteita.*

<b>Kauppanimi</b>	<b>Valmistaja</b>	<b>Koostumus</b>
Gloria RC 50	Rühl Feuerlöschmittel GmbH	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kaliumsuoloja</li> </ul>
Imprex F 20	Weinstock & Siebert GmbH	<ul style="list-style-type: none"> <li>• neutraalien natrium- ja ammoniumsuolojen sekoitus</li> <li>• etyleeniglykoli (&lt;22 %)</li> </ul>
Imprex	ALPHA Chemie GmbH	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ammoniumsuolojen, tensidien ja ruosteen-suoja-aineiden sekoitus</li> <li>• butaani</li> <li>• asetoni</li> <li>• ksyleeni</li> <li>• propaani</li> </ul>
Imprex PLUS	Gloria-Werke	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fostaattien, sulfaattien ja tensidien sekoitus</li> </ul>
Ansul AR-33-D Recharge	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2-(2-butoksietoksi)etanoli (6 %)</li> <li>• Dowicil 75 (0,08 %)</li> <li>• sekoitus: pinta-aktiivisia hiilivetyjä ja -fluoriyhdisteitä, epäorgaanisia suoloja, suur-molekyylisiä polysakkarideja ja vettä</li> </ul>
Ansulex-R-102	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kaliumkarbonaatti (30–40 %)</li> <li>• kaliumasettaatti (15–20 %)</li> <li>• vettä</li> </ul>
Ansulex Low pH – Liquid Fire Suppressant	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sekoitus: orgaanisia ja epäorgaanisia suoloja sekä vettä (99 %)</li> <li>• polypeptidiä (1,4 %)</li> <li>• kaliumnitriitti (0,05 %)</li> </ul>
PRX	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sekoitus: epäorgaanisia suoloja sekä karbok-syylihappojen suoloja (20–25 %)</li> <li>• vettä</li> </ul>
LVS Wet Chemical Agent	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sekoitus: pinta-aktiivisia hiilivetyjä ja -fluoriyhdisteitä, epäorgaanisia ja orgaanisia suoloja ja vettä (81 %)</li> <li>• 2-(2-butoksietoksi)etanoli (2 %)</li> <li>• etyleeniglykoli (17 %)</li> </ul>
R-102 Flushing Concentrate	Ansul	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kaliumkarbonaatti (&gt;30 %)</li> <li>• kaliumasettaatti (18 %)</li> <li>• vettä (52 %)</li> </ul>
AC-50	Kidde	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kaliumasettaatti</li> </ul>
Karboloy	Badger Fire Protection	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kaliumkarbonaatti &gt;40 %</li> <li>• vesi</li> </ul>
Wet Chemical	Buckeye	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kaliumasettaatti (&gt;90 %)</li> <li>• kaliumsitraatti (&lt;10 %)</li> </ul>

### 3. Käsiammuttimet ja liikuteltavat sammuttimet

Standardien EN 3-7 ja EN 1866 mukaan käsiammuttimen ja liikuteltavan sammuttimen (esim. pyörillä kulkevan) ero määräytyy painon mukaan: korkeintaan 20 kg:n painoisia sammuttimia kutsutaan yleisnimellä käsiammuttimet. Liikuteltavien sammuttimien nimellistäyttö on

- 50 kg sammutejauhetta
- 45 tai 50 litraa vesipohjaista sammutetta.

NFPA 10 -standardin mukaan liikuteltavia sammuttimia (engl. *wheeled fire extinguishers*) ovat

- 125 litran vaahtosammuttimet
- 13,6 kg–158,8 kg:n muut sammuttimet.

Liikuteltavat sammuttimet määritellään niin, että sammuttimet ovat pyörillä varustetuissa vaunuissa olevia sammuttimia, jotka voidaan yhden miehen voimin siirtää paloalueelle [NFPA 10, 2002].

Sammuttimia on joko paineellisena tai erillisellä ponnepullolla varustettuna. Ponnepullo voi olla joko sammuttimen sisällä tai sen ulkopuolella. Paineellisten sammuttimien ponneaineena käytetään tavallisimmin tyyppiä (N<sub>2</sub>) ja ponnepullojen ponnekaasuna hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>). Liikuteltavat sammuttimet on yleensä varustettu pelkästään ulkoisella ponnepullolla. Käyttöpainet sammuttimilla ovat noin 6–15 barin luokkaa.

#### 3.1 Sammutintyytit

Käsiammuttimiin kuuluvat EN 3-7 -standardin mukaan

- vesipohjaiset sammuttimet (mukaan lukien vaahtosammuttimet)
- jauhesammuttimet
- halonisammuttimet
- hiilidioksidisammuttimet
- clean agent -sammuttimet.

Liikuteltaviin sammuttimiin kuuluvat EN 1866:n mukaan

- jauhesammuttimet
- vesisammuttimet
- vesipohjaiset sammuttimet
- vaahdosammuttimet.

Taulukossa 3.1 esitellään NFPA 10:n mukaiset sammuttimet sekä niiden teholuokat.

*Taulukko 3.1. NFPA 10 -standardissa mainitut käsisammuttimet ja liikuteltavat sammuttimet.*

Sammutin	Käsisammutin		Liikuteltava sammutin	
	Luokka	Sammutteen määrä	Luokka	Sammutteen määrä
Paineellistettu vesi	2-A	9,46 l	-	-
Paineellistettu vesi + jäänesto	-	14 kg <sup>1</sup>	-	-
Paineellistettu neste (vesi + alkalimetallin suola)	1-A-3-A	3,8–9,46 l	10-A-40-A	64–125 l
Sankoruisku	1-A-4-A	5,7–19 l	-	-
Selässä kuljetettava (vesi)	-	19 l <sup>2</sup>	-	-
Nestesammuttimet (vesi + pinta-aktiiviset aineet)	2-A	5,7 l	30-A-40-A	170–228 l
AFFF ja FFFP (vaahto)	2-A:10-B ja 3-A:20-B	6 l ja 9,46 l	20-A:160-B	125 l
CO <sub>2</sub> -sammuttimet	1-B:C-10-B:C	1,1–9,1 kg	10-B:C-20-B:C	23–45 kg
Haloni 1211	2-B:C-4-A:80-B:C	0,91–10 kg	30-A:160-B:C	68 kg
Sekoite haloneista 1211 ja 1301	1-B:C-4-A:80-B:C	0,45–9 kg	-	-
Jauhe (BC)	1-B:C - 160-B:C	0,5–14 kg <sup>3</sup> 1,8–14 kg <sup>4</sup>	80-B:C-640-B:C	57–113,5 kg <sup>3</sup> 20–159 kg <sup>4</sup>
Jauhe (ABC)	1-A:10-B:C 20-A:120-B:C		20-A:60-B:C 40-A:320-B:C	
Jauhe (D)	-	14 kg	-	68 ja 159 kg
Nestesammuttimet (K)	-	6 l	-	-
Vesisumu	2-A:C	6,6 ja 9,5 l	-	-

<sup>1</sup> kokonaispaino

<sup>2</sup> kokonaispaino 23 kg

<sup>3</sup> paineellinen

<sup>4</sup> ponnepullo

## 3.2 Sammuttimille tehtävät testit

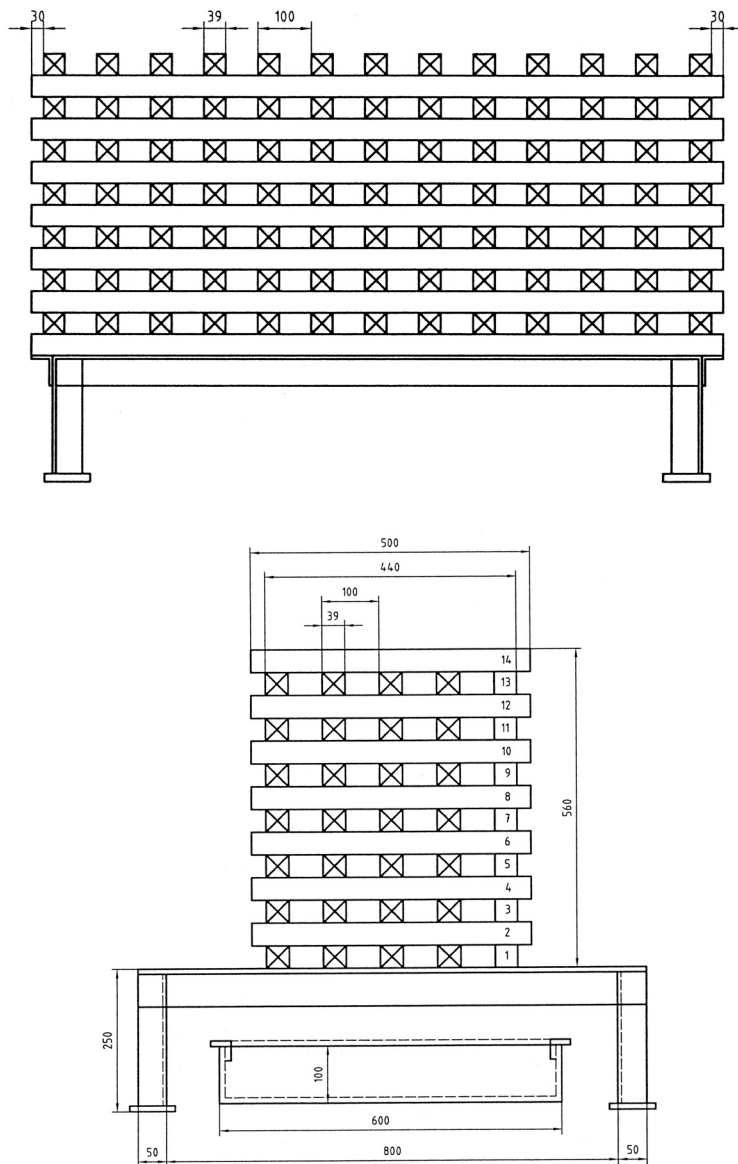
Vuonna 1997 Suomessa siirryttiin uuteen EN-standardijärjestelmään, jonka myötä myös käsisammuttimien luokitus vaihtui. Uusien luokkien mukaiset palotestit suoritetaan vain A- ja B-paloluokille. Turvatekniikan keskus (TUKES) on tehnyt vertailua vanhojen ja uusien teholuokkien välillä, taulukko 3.2.

Taulukko 3.2. Vanhan ja uuden käsisammutinluokituksen vertailua. EN 3-7 -standardin mukaiset teholuokat ovat pienimmät kyseeseen tulevat verrattuna vanhoihin teholuokkiin [www.tukes.fi].

<b>Jauhesammuttimet</b>			
Vanha teholuokka	Sammutteen määrä	A-tyypin palo (EN 3-7)	B-tyypin palo (EN 3-7)
I	1 kg	5 A	21 B
II	2 kg	13 A	55 B
III	6 kg	27 A	144 B
III	9 kg	34 A	183 B
III	12 kg	43 A	233 B
<b>Nestesammuttimet</b>			
Vanha teholuokka	Sammutteen määrä	A-tyypin palo (EN 3-7)	B-tyypin palo (EN 3-7)
III	6 l	13 A	144 B
III	9 l	21 A	183 B

### 3.2.1 A-luokan sammutustestit

A-luokan testipalossa sammuttimen tulee pystyä sammuttamaan puutapuli, jonka pituus vaihtelee testitulen mukaan. Puutapulin alle laitetaan heptaaniallas, jonka avulla tapuli sytytetään. Kun heptaani on palanut 2 min, heptaaniallas vedetään pois. Tämän jälkeen tapulin annetaan vielä palaa 6 min, minkä jälkeen sammutus voidaan aloittaa. Sammuttaja voi liikkua ja sammuttaa tulen oman taktiikkansa mukaan ja yrittää näin saada mahdollisimman hyvän sammutustuloksen [EN 3-7, 2004]. Maksimisammutusaika ei saa olla pitempi kuin 5 min testitulikoolle 21A tai sitä pienemmille. Suuremmille testitulille 7 min on suurin sallittu sammutusaika. Onnistuneeksi luokiteltavassa testissä on oleellista, että kaikki liekit on sammutettu eivätkä ne ilmesty uudelleen 3 minuutin tarkkailuaikana. Kuvassa 3.1 on esimerkki 13A-teholuokan testipalosta, sekä taulukkoon 3.3 on kuvattu kaikkien A-luokan testipalojen rakenteet.



*Kuva 3.1. Puutapulin rakenne sivusta (ylhällä) ja päädystä (alhaalla) käsisammuttimen A-teholuokan määrittämiseksi. Kuvassa 13A-luokan puutapulin rakenne. Mitat millimetreinä. [EN 3-7, 2004.]*

Taulukko 3.3. A-luokan testipalojen rakenne sekä minimivaatimukset sammuttimille [EN 3-7, 2004].

Testituli	Kalikoiden lukumäärä kerroksessa <sup>1</sup>	Testitulen pituus, m	Tulen rakenne	Minimi toiminta-aika, s		Sammuttimen koko	
				Jauhe, kg	Neste tai Vaahdo, l	Jauhe, kg	Neste tai Vaahdo, l
5A	5	0,5	5A	6	6	1	2, 3
8A	8	0,8	8A	6	9	1, 2	2, 3, 6
13A	13	1,3	13A	9	9	1, 2, 3, 4	2, 3, 6, 9
21A	21	2,1	21A	9	9	1, 2, 3, 4, 6	2, 3, 6, 9
27A	27	2,7	27A	9	12	1, 2, 3, 4, 6, 9	2, 3, 6, 9
34A	34	3,4	21A+13A	12	15	1, 2, 3, 4, 6, 9	2, 3, 6, 9
43A	43	4,3	8A+27A+8A	15	15	1, 2, 3, 4, 6, 9, 12	2, 3, 6, 9
55A	55	5,5	21A+13A+21A	15	15	1, 2, 3, 4, 6, 9, 12	2, 3, 6, 9

<sup>1</sup> Kunkin puukalikan dimensio on (500 x 39 x 39) mm.

Liikuteltavien sammuttimien osalta käytettävän jauheen tulee olla hyväksytysti testattu 9 kg:n käsiammuttimella standardissa EN 3-7 mainitulla testitulella 34A. Vesipohjaisille sammuttimille ei määritetä sammutustestejä. Käytettävän sammutteen tulee olla hyväksytysti testattu 9 litran käsiammuttimella standardissa EN 3-7 määritetyllä testitulella [EN 1866, 1998].

NFPA 10 -standardissa A-luokan testit tehdään standardien ANSI/UL 711 tai CAN/ULC-S508-M90 mukaan. Taulukossa 3.4 kuvataan ANSI/UL 711:n A-luokan testipalon rakenne. Testien mukaan määräytyvät myös suurempien liikuteltavien sammuttimien teholuokat.

Taulukko 3.4. ANSI/UL 711 -standardin mukainen A-luokan testipalo. Testipalot 1-A – 20-A tehdään sisätiloissa, muut ulkona.

Luokitus	Puukalikoiden lukumäärä	Puukalikoiden dimensiot (pituus x leveys x korkeus), mm	Kerrokset x kalikoiden lukumäärä
1-A	50	508 x 38 x 38	10 x 5
2-A	78	651 x 38 x 38	13 x 6
3-A	98	781 x 38 x 38	14 x 7
4-A	120	848 x 38 x 38	15 x 8
6-A	153	848 x 38 x 38	17 x 9
10-A	209	1207 x 38 x 38	19 x 11
20-A	160	1581 x 38 x 89	10x15 + 1x10 ylin kerros
30-A	192	1895 x 38 x 89	10x18 + 1x12 ylin kerros
40-A	224	2213 x 38 x 89	10x21 + 1x14 ylin kerros

### 3.2.2 B-luokan sammutustestit

B-luokan testituleet tehdään erikokoisissa, levystä hitsatuissa sylinterimäisissä altaissa, joiden mitat annetaan taulukossa 3.5. Altaita käytetään vesipohjaisina seuraavassa suhteessa: 1/3 vettä ja 2/3 polttoainetta. Altaassa oleva heptaani sytytetään ja sen annetaan palaa ensin 1 min, minkä jälkeen sammuttaminen on aloitettava 10 s:n aikana [EN 3-7, 2004].

*Taulukko 3.5. B-luokan testipalojen rakenne sekä minimivaatimukset sammuttimille [EN 3-7, 2004].*

Testiallas	Nestetilavuus (1/3 vettä + 2/3 polttoainetta), l	Tulen pin- ta-ala, m <sup>2</sup>	Minimi toiminta- aika, s	Sammuttimen koko			
				Haloni, kg	CO <sub>2</sub> , kg	Neste tai vaahto, l	Jauhe, kg
21B	21	0,66	6	1	2	-	1
34B	34	1,07	6	1, 2	2	2	1, 2
55B	55	1,73	9	1, 2, 4	2, 5	2, 3	1, 2, 3
70B	70	2,2	9	1, 2, 4, 6	2, 5	2, 3	1, 2, 3, 4
89B	89	2,8	9	1, 2, 4, 6	2, 5	2, 3	1, 2, 3, 4
113B	113	3,55	12	1, 2, 4, 6	2, 5	2, 3, 6	1, 2, 3, 4, 6
144B	144	4,52	15	1, 2, 4, 6	2, 5	2, 3, 6	1, 2, 3, 4, 6, 9
183B	183	5,75	15	1, 2, 4, 6	2, 5	2, 3, 6, 9	1, 2, 3, 4, 6, 9, 12
233B	233	7,32	15	1, 2, 4, 6	2, 5	2, 3, 6, 9	1, 2, 3, 4, 6, 9, 12

Liikuteltavilla sammuttimilla on pystyttävä sammuttamaan ainakin yksi B-luokan testitilityyppi taulukon 3.6 mukaan [EN 1866, 1998].

*Taulukko 3.6. B-luokan testitilityypit liikuteltaville sammuttimille [EN 1866, 1998].*

Tyyppi	233B lukumäärä	21B lukumäärä
I B	1	1
II B	1	2
III B	1	3
IV B	1	4

21B-altaat sijoitetaan 233B-altaan vierelle seuraavalla tavalla:

- II B: 233B-altaaseen nähden 0° ja 180°:n kulmassa
- IIIB: 233B-altaaseen nähden 0°, 120° ja 240°:n kulmassa
- IVB: 233B-altaaseen nähden 0°, 90°, 180° ja 270°:n kulmassa.

Sammuttimella tulee voida sammuttaa ainakin kaksi koetta kolmen kokeen sarjasta tiettytyyppisellä B-testitulella. Kunkin sammutuksen jälkeen mitataan sammutteen jäännösmassa [EN 1866, 1998].

NFPA 10 -standardissa myös B-luokan testipalot käsi- ja liikuteltaville sammuttimille tehdään standardien ANSI/UL 711 tai CAN/ULC-S508-M90 mukaisesti. Taulukossa 3.7 kuvataan ANSI/UL 711:n mukainen B-luokan testipalon rakenne.

*Taulukko 3.7. ANSI/UL 711 -standardin mukainen B-luokan testipalo. Testipalot 1-B – 20-B tehdään sisätiloissa, muut ulkona.*

Luokitus	Tulen pinta-ala, m <sup>2</sup>	Heptaanin määrä, l
1-B	0,25	12,5
2-B	0,45	23,5
5-B	1,15	58,5
10-B	2,3	117
20-B	4,65	245
30-B	6,95	360
40-B	9,3	475
60-B	13,95	720
80-B	18,6	950
120-B	27,85	1420
160-B	37,2	1895
240-B	55,75	2840
320-B	74,3	3790
480-B	111,5	5680
640-B	148,6	7570

### 3.2.3 D-luokan testipalo

EN 3-7 -standardin mukaista testipaloa ei ole, mutta kansainvälisen standardin ISO/FDIS 7165 mukaan on kehitetty D-luokan testipalojen koesarja. Testi on tarkoitettu nimellispainoltaan 13,6 kg:n sammuttimelle. Tätä pienempiä määriä käytettäessä täytyy testitulalta pienentää samassa suhteessa. Alle 8 kg nimellispainoltaan olevia sammuttimia ei testissä käytetä. Testissä poltetaan neljällä eri menetelmällä pääosin magnesiumista tehtyjä partikkeleita sekä Mg-öljy-seosta. Partikkelikoko vaihtelee testin mukaan.

Metallilastujen ja -pölyn syttymistä kuvaava testituli rakennetaan 1 m x 1 m leveän ja 5 mm paksun teräslevyn päälle, johon levitetään 600 mm x 600 mm levyiselle alueelle (käyttämällä apuna siirrettävää kehikkoa) metallilastuja. Lastujen sytyttämiseen käytetään kaasusoihtua, joka sytyttää metallin 30 s:n kuluessa.



1. Metallilastuista koostuvia testitulua on kaikkiaan neljä:

- Metalliseos (Al-pitoisuus 8,5 %, Zn-pitoisuus 2,5 % ja loput Mg), jossa partikkelit koostuvat 10 mm–25 mm pitkistä, 6 mm–13 mm leveistä ja 0,05 mm paksuista lastuista. Metalliseoksen paino 18,0 kg.
- Metalliseoksen ja leikkuuöljyn seos (metalliseosta 16,2 kg ja öljyä 1,8 kg). Öljyn tiheyden tulee olla  $0,86 \text{ kg/m}^3$  ja leimahduspisteen  $146 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Reagenssimagnesiumia (vähintään 99,5 % 18,0 kg:sta), jonka partikkelit koostuvat 6 mm–9 mm pitkistä, 3 mm leveistä ja 0,25 mm paksuista lastuista.
- Reagenssimagnesiumin ja leikkuuöljyn seos (Mg:a 16,2 kg ja öljyä 1,8 kg). Öljyn tiheyden tulee olla  $0,86 \text{ kg/m}^3$  ja leimahduspisteen  $146 \text{ }^\circ\text{C}$ .

2. Metallipölystä koostuva testituli:

Rakenne koostuu puolestaan Mg-jauheesta (99,5 %), jossa partikkelien on läpäistävä  $387 \text{ }\mu\text{m}$ :n seula ja vähintään 80 % tämän läpäisseistä vielä  $150 \text{ }\mu\text{m}$ :n seula. Tämän jälkeen suoritetaan kaksi koetta testitulilla, joiden koostumus on

- pelkkä Mg-jauhe (11 kg)
- Mg-jauheen ja leikkuuöljyn seos (Mg-jauhetta 9,9 kg ja öljyä 1,1 kg).

Testituli sytytetään soihdulla neliön keskeltä. Sammuttaminen voidaan aloittaa, kun arviolta 25 % öljystä on palanut tai kun tuli peittää 50 % koko rakennetun testitulen pinta-alasta. Sammuttaja voi valita sammutustaktiikkansa vapaasti tai sammuttimen valmistajan ohjeen mukaan. Tulen sammuttua tulee odottaa joko valmistajan ilmoittama aika tai vähintään 60 min. Tällöin kuitenkin 10 % palavasta materiaalista pitää olla vielä jäljellä.

3. Sulan metallin testituli

Testitulua on kaksi, joista ensimmäinen suoritetaan pyöreässä (halkaisija 540 mm ja 150 mm syvä) altaassa, jossa on tiivis kansi. Tätä astiaa käytetään sulattamaan metalli ulkoisella lämmönlähteellä. Toisessa kokeessa sulanut metalli kaadetaan neliönmuotoiseen valumuottiin, jonka sivun pituus on 600 mm ja syvyys 155 mm. Metallina molemmissa kokeissa käytetään kaupallista natriumia, jota on ensimmäisessä kokeessa 1,36 kg ja toisessa 25 mm:n korkuinen kerros. Sulavan metallin lämpötilaa seurataan termoparilla.

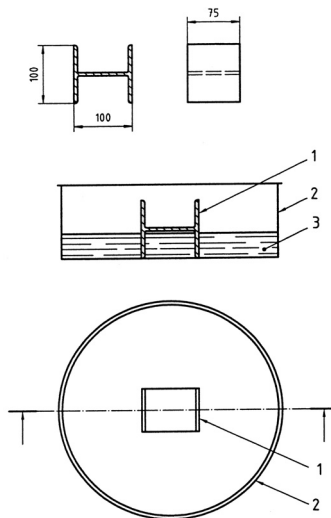
Koe 1: Kun sulatusastiassa lämpötila on kohonnut  $520 \text{ }^\circ\text{C}$ :seen, poistetaan astian kansi, jolloin sula metalli pääsee kosketuksiin ilman kanssa. Tällöin metalli syttyy palamaan. Kuumennusta jatketaan, kunnes lämpötila on  $550 \text{ }^\circ\text{C}$ . Tämän jälkeen sula metalli kaadetaan valumuottiin, minkä jälkeen sammuttaja voi ryhtyä sammuttamaan testitulua.

Koe 2: alku menee kokeen 1 tavoin, mutta 550 °C:n jälkeen sulatusastia asetetaan lattialle, pois lämmönlähteestä, jolloin sammuttaminen voi alkaa.

Sammutuksen jälkeen odotetaan sammuttimen valmistajan mukainen aika tai 4 h. Tämän jälkeen mitataan polttoaineen lämpötila, joka ei saa olla 20 °C ympäröivän ilman lämpötilaa korkeampi. Lisäksi 10 % polttoaineesta pitää olla sammutuksen jälkeen vielä jäljellä.

#### 4. Simuloitu valupalo

Testitulta varten käytetään kohdan 3 mukaista valumuottia, jonka keskellä on I-palkki, kuva 3.2. Polttoaineena käytetään kohdan 1 mukaista Mg-seosta (11,3 kg). Mg-seosta kuumennetaan kohdan 3 mukaisessa sulatusastiassa, kunnes lämpötila on 650 °C. Tämän jälkeen poistetaan sulatusastian kansi, jolloin Mg-seoksen pitäisi syttyä spontaanisti. Jos näin ei käy, sytytetään seos kohdan 1 mukaisella soihdulla. Kun metalliseos on syttynyt, kaadetaan se valumuottiin (kuva 3.2, keskellä), minkä jälkeen sammutus voi alkaa. I-palkin alle jäävä sula metalli ei ole luonnollisesti sammutettavissa suoraan, vaan se tuottaa ylimääräistä lämpöä ympärilleen ja näin vaikeuttaa sammuttamista.



Kuva 3.2. ISO/FDIS 7165 -standardissa esitetty D-luokan valupalon simulointi. 1) I-palkki, 2) valumuotti ja 3) sulanut metalliseos. Mitat ovat millimetreinä.

### 3.2.4 F-luokan testimenetelmä

Elintarvikerasvapalot ovat luonteeltaan hyvin erilaisia kuin muut palot. Tämä johtuu niiden korkeasta palamislämpötilasta, joka saattaa nousta jopa 400 °C:seen. Tämän vuoksi uudelleensyttymisriski on suurempi kuin muilla materiaaleilla.

Brittiläinen standardi BS 7937 määrittelee F-luokan käsisammuttimille minimitoiminta-ajat sekä testipalot, joiden pohjalta sammuttimen teholuokitus määräytyy. Minimitoiminta-ajat luetellaan taulukossa 3.8 ja testipalon rakenne esitetään taulukossa 3.9.

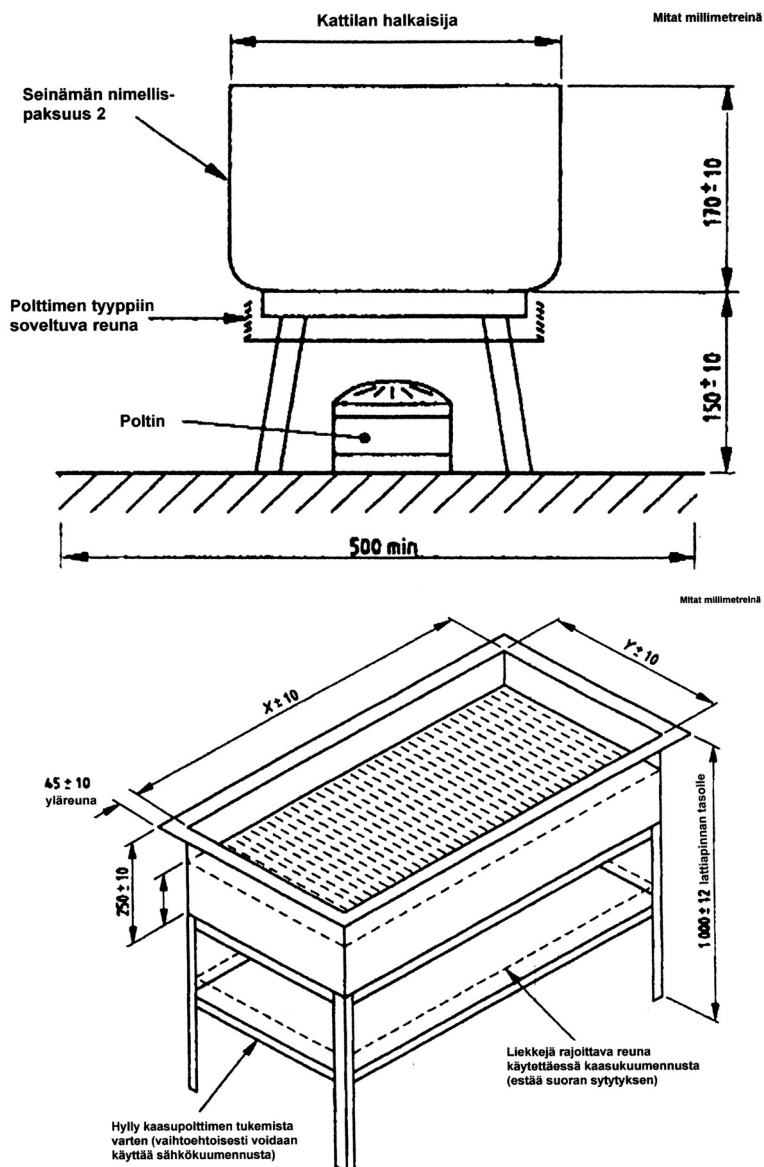
*Taulukko 3.8. F-luokan käsisammuttimien minimitoiminta-ajat [BS 7937, 2000].*

Sammuttimen koko, l tai kg	Minimitoiminta-aika, s
$\leq 1$	15
$> 1 \leq 3$	25
$> 3 \leq 6$	40
$> 6$	60

*Taulukko 3.9. F-luokan käsisammuttimille tehtävän testipalon rakenne sekä sammuttimien teholuokitukset [BS 7937, 2000].*

Teholuokitus	Ruokaöljyn määrä testissä, l	Testilaitte, mm	Sammutteen määrä, l tai kg
5F	$5_0^{+1}$	A-tyyppi, halkaisija 300	2
15F	$15_0^{+1}$	B-tyyppi, x=448 ja y=224	3
25F	$25_0^{+1}$	B-tyyppi, x=578 ja y=289	6
75F	$25_0^{+1}$	B-tyyppi, x=1000 ja y=500	9

Huom. Nestemäiset sammutteet mitataan litroina. A-tyypin ja B-tyypin laitteet esitetään kuvassa 3.3. A-tyypin testilaitteen valmistustoleranssi on  $\pm 10$  mm.



Kuva 3.3. BS 7937:2000 -standardin mukainen F-luokan testipalon rakenne. Yllä on kuvattu A-tyyppin 5F-teholuokan testilaite ja alla teholuokkien 15F, 25F ja 75 F B-tyyppin testilaite.

F-luokan sammutustesti menee pääpiirteittäin seuraavasti:

Ruokaöljynä käytetään tavallista auringonkukkaöljyä, jonka itsesyttymislämpötila on 340 °C. Ruokaöljyä kuumennetaan tarvittaessa (3 ± 0,5) tuntia, kunnes öljy syttyy. Öljyn annetaan palaa 120<sub>0</sub><sup>+10</sup> s ennen kuin sammuttaminen voidaan aloittaa. Ruokaöljyn lämpötilaa mitataan termoparilla, joka on sijoitettu (25 ± 5) mm öljypinnan alapuolelle.

Kokeen aikana kiinnitetään huomio seuraaviin seikkoihin:

- uudelleensyttymisaika sammuttimen täydellisen tyhjenemisen jälkeen
- altaan mahdollinen ylitulviminen
- polttoaineen säilyminen altaassa ja sammutuksen onnistuminen
- polttoaineen lämpötila itsesyttymishetkellä
- sammuttimen tyhjenemisaika.

Sammutustestivaatimukset ovat seuraavat:

- Mikäli palavaa nestettä lentää ulos altaasta, koe hylätään.
- Sammutte ei saa aiheuttaa palavan nesteen lentämistä pois polttoaltaasta.
- Uudelleensyttymistä ja ylivuotoa ei saa tapahtua 10 min:n kuluessa siitä, kun sammutin on tyhjentynyt.

### **3.2.5 Muut testit**

Sammuttimelle tehdään lisäksi seuraavat muut testit:

- toiminta-aikatesti
- tiiviystesti
- eristävyystesti
- täristystesti
- iskutesti
- toimintalämpötilarajan testaus
- komponenteille, kuten letkuille, liittimille ja suihkunlevittimille, tehtävät testit.

### **3.2.6 Käsiammuttimet painelaitteena**

Käsiammuttimesta painelaitteena sanotaan sisäasiainministeriön asetuksessa (790/2001) mm. seuraavaa: "Käsiammuttimen vaatimustenmukaisuus painelaitteena osoitetaan siten, kuin painelaitteista annetussa kauppaja- ja teollisuusministeriön päätöksessä (938/1999) säädetään. Käsiammuttimen vaatimustenmukaisuutta valvoo pelastustoimen laitteiden teknisistä vaatimuksista ja tuotteiden paloturvallisuudesta annetun lain (562/1999) 9§:n mukaisesti turvatekniikan keskus."

Turvatekniikan keskus tiedottaa käsisammuttimien vaatimuksista painelaitteina seuraavaa (ohjeet on tarkoitettu käsisammuttimien maahantuojille ja käsisammutinliikkeille [www.tukes.fi]):

"Käsisammuttimiin sovelletaan painelaitteina kauppaja- ja teollisuusministeriön päätöstä painelaitteista (938/1999) ja painelaiteturvallisuudesta (953/1999):

- käsisammutin on painelaitteista kuten säiliöstä, käyttölaitteesta ja painemittarista koottu laitekokonaisuus
- käsisammuttimelle tehdään määräaikaistarkastuksia painelaitteena.

Käsisammuttimien käyttö- ja sammutusominaisuuksista sekä merkinnöistä on säädetty sisäasiainministeriön asetuksessa käsisammuttimista (790/2001). Käsisammuttimien toimintakunnon ylläpidon menettelyistä on säädetty sisäasiainministeriön määräyksessä käsisammuttimien tarkastuksesta ja huollosta (A:64, 1999).

#### *CE-merkintä, käyttöohjeet ja EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus*

Uusissa käsisammuttimissa on oltava päätöksen (938/1999) edellyttämä laitekokonaisuuden vaatimustenmukaisuutta osoittava CE-merkintä. Sen yhteydessä on oltava laitekokonaisuuden arvioinnissa mukana olleen ilmoitetun laitoksen tunnusnumero. CE-merkintä on pakollinen 29.5.2002 jälkeen markkinoille saatetuissa käsisammuttimissa.

CE-merkintä on tehtävä näkyvästi, helposti luettavasti ja kestävästi käsisammuttimeen. Se voi olla mukana käsisammuttimeen tulevassa standardin EN 3 mukaisessa merkinnässä.

Standardin EN 3 mukaisia käsisammuttimien merkintöjä voidaan tarvittaessa täydentää erillisillä käyttöohjeilla. Käyttöohjeiden on oltava suomen ja ruotsin kielellä. Käyttöohjeissa on otettava huomioon, että käsisammuttimet tarkastetaan ja huolletaan Turvatekniikan keskuksen (TUKES) rekisteröimässä käsisammutinliikkeessä sisäasiainministeriön määräyksen (A:64, 1999) mukaisesti.

Käsisammuttimen valmistajan on laadittava päätöksen (938/1999) liitteen IV mukainen EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus. Se voidaan liittää käsisammuttimen käyttöohjeisiin.

#### *Hiilidioksidikäsisammuttimet*

Hiilidioksidikäsisammuttimiin sovelletaan päätöstä (938/1999). Hiilidioksidikäsisammuttimen säiliön venttiilipään hartia on maalattava harmaalla tunnusvärillä, jotta se voidaan tunnistaa käytössä ja täytössä.

### *Käsiammuttimien punneainepullot*

Joissakin käsiammuttimissa on paineeton sammutetta sisältävä säiliö, joka tyhjenetään säiliöön liitettyllä punneainepullolla. Punneainepulloihin sovelletaan liikenne- ja viestintäministeriön asetusta kuljetettavista painelaitteista (393/2001).

Uusissa punneainepulloissa on oltava  $\pi$ -merkintä ("pii"-merkintä), tarkastuslaitoksen tunnusnumero sekä materiaalin haurasmurtumakestävyyttä osoittava merkintä  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , joka merkitään tarkastuslaitoksen tunnusnumeron jälkeen. Punneainepulloissa on lisäksi oltava ADR-merkinnät. Punneainepullot voidaan saattaa markkinoille 30.6.2003 saakka liikenneministeriön asetuksen (579/2000) mukaisella hyväksymismenettelyllä ilman  $\pi$ -merkintää.

### *Käsiammuttimien määräaikaistarkastukset painelaitteina*

Käsiammuttimet tarkastetaan painelaitteina päätöksen (953/1999) 6 luvun mukaisesti. Tarkastusväli määräytyy ADR:n mukaan ja se on käsiammuttimilla 10 vuotta. Määräaikaistarkastuksia tekeviä tarkastuslaitoksia ovat Inspecta Oy ja Polartest Oy.

Määräaikaistarkastukset tehdään käytännössä siten, että käsiammutinliike toimittaa käsiammuttimet tarkastuslaitoksen arvioimaan tarkastuspaikkaan. Tarkastuspaikka valmistelee käsiammuttimet tarkastusta varten ja pyytää tarkastuslaitoksen tekemään tarkastuksen. Tarkastus tehdään yleensä sarjatarjoustarkastuksena. Käsiammutinliike saattaa olla myös tarkastuspaikka."

## **3.3 Kaupallisia käsiammuttimia sekä liikuteltavia sammuttimia**

Käsiammuttimia ja liikuteltavia sammuttimia on maailman markkinoilla valtaisa määrä niiden monikäyttöisyyden takia. Suomessa Turvatekniikan keskukselle on voinut ilmoitautua käsiammuttimia maahantuovana yrityksenä.

Seuraavassa käydään taulukkomuodossa läpi suurimpien yhtiöiden käsiammuttimia ja liikuteltavia sammuttimia. Taulukkoihin on listattu sammuttimien tärkeimpiä ominaisuuksia, kuten teholuokka, sammuttimen dimensiot, kokonaispaino jne. Euroopassa myytävien sammuttimien teholuokat määräytyvät EN 3-7 -standardin mukaisesti, kun taas amerikkalaiset yhtiöt (mm. Ansul, Buckeye) noudattavat kansallista UL-standardin mukaista luokitusta (ks. kohta 0). Sammuttimissa käytettävien sammutusaineiden koostumuksia on puolestaan selvitetty aiemmin kohdassa 2.2.

### 3.3.1 Jauhesammuttimet

Gloria-Werke-yhtiö on Euroopan suurin käsisammutinvalmistaja, joka valmistaa tuotteitaan ISO 9001 -laatu järjestelmän mukaan. Yhtiön valmistamia sammuttimia esitellään taulukossa 3.10.

*Taulukko 3.10. Gloria-Werke-yhtiön valmistamat sammuttimet. Harmaalla merkityt ovat liikuteltavia sammuttimia.*

Malli	Palo- ja teholuokka	Sammutusaine	Sammutemäärä, kg	Kokonaispaino, kg	Toimintaperiaate	Tyhjenemisaika, s	Suihkun pituus, m	Sammuttimen mitat, mm		
								korkeus	leveys	syvyys
P 2 GM	13A 89BC	Glutex	2	-	P <sup>1</sup>	10	4	322	111	145
PD 6 TF	43A 233BC	Tropolar Forte	6	-	P	16	6	500	270	160
PS 6 G	43A 233BC	Glutex	6	10,5	PP <sup>2</sup>	16	5	495	295	180
PS 9 G	55A 233BC	Glutex	9	15	PP	16	6	480	300	210
PS 12 G	55A 233BC	Glutex	12	19,3	PP	20	7	595	295	210
PS 6 GA	34A 183BC	Adex	6	10,5	PP	15	5	495	295	180
PS 9 GA	43A 233BC	Adex	9	15	PP	17	6	480	300	210
PS 12 GA	55A 233BC	Adex	12	19,3	PP	20	7	595	295	210
Pi 6 G	34A 233BC	Glutex	6	10,5	PP	20	5	485	200	170
Pi 12 G	55A 233BC	Glutex	12	19,2	PP	22	7	580	230	210
F 2 GM	13A 89BC	Glutex	2	3,4	P	10	4	316	115	160
F 2 G	13A 89BC	Glutex	2	3,4	P	10	4	316	115	160
F 1 G	8A 34BC	Glutex	1	1,6	P	8	4	275	95	130
F 1 G Excl.	8A 34BC	Glutex	1	1,6	P	8	4	180	280	100
F 6 G	43A 233BC	Glutex	6	11	PP	20	5	568	216	183
F 6 G Excl.	43A 233BC	Glutex	6	11	PP	20	5	568	216	183
F 6 GX AL	55A 233BC	Glutex-X	6	11	PP	20	5	568	216	183
F 6 G AL	43A 233BC	Glutex	6	11	PP	20	5	568	216	183
F 6 G AL Excl.	43A 233BC	Glutex	6	11	PP	20	5	568	216	183
F 2000-6 X	55A 233BC	Glutex-X	6	11,8	P	16	6	453	487	158
PSP 6 GA	34A 183BC	Adex	6	10,5	PP	17	5	495	300	160
PSP 12 GA	55A 233BC	Adex	12	19,3	PP	24	7	597	345	210
P 6 G	34A 233BC	Glutex	6	10,9	PP	16	5	480	280	170
P 9 G	43A 233BC	Glutex	9	15,5	PP	16	6	460	295	210
P 12 G	55A 233BC	Glutex	12	19,8	PP	21	7	560	295	210
P 6 SV	233BC	Extin SV	6	10,9	PP	16	5	460	260	170
PD 4 GA	34A 183BC	Adex	4	6,4	P	12	6	410	300	160
PD 6 GA	43A 233BC	Adex	6	8,8	P	18	6	500	270	160
PD 9 GA	55A 233BC	Adex	9	13,3	P	15	7	500	265	200
PD 12 GA	55A 233BC	Adex	12	16,9	P	20	7	590	265	200
P 50 G/5/10	ABC	Adex	50	99	PP	50	12	1070	495	615
P 50/5/10	BC	Extin	50	99	PP	50	12	1070	495	615
P 50 SV/5/10	BC	Extin SV	50	99	PP	50	12	1070	495	615

<sup>1</sup> P = paineellinen. <sup>2</sup> PP = ponnepullo



Muiden valmistajien, kuten MAKO Oy, Kidde, Ansul ja Buckeye, sammuttimet esitellään taulukoissa 3.11–3.14.

*Taulukko 3.11. MAKO Oy:n valmistamat sammuttimet. Harmaalla merkityt ovat liikuttavia sammuttimia.*

Malli	Palo- ja teholuokka	Sammutusaine	Sammutemäärä, kg	Kokonaispaino, kg	Toimintaperiaate	Tyhjenemisaika, s	Suihkun pituus, m	Säiliön tilavuus, l
APU 6JPA	27A 183BC	Furex ABC	6	10,6	P <sup>1</sup>	14	6	6,7
APU 12JPA	43A 233BC	Furex ABC	12	18,4	P	22	8	11,9
TURVA 25J	BC	Furex 80 BE	25	55	PP <sup>2</sup>	16	20	30
TURVA 25JA	ABC	Furex 650 ABE	25	55	PP	16	20	30
TURVA 50J	BC	Furex 80 BE	50	85	PP	25	20	56
TURVA 50JA	ABC	Furex 650 ABE	50	85	PP	22	20	56
TURVA 20JM	BC	Monnex BE	18	48	PP	16	20	30
TURVA 40JM	BC	Monnex BE	37	82	PP	25	20	56
TURVA 80JM	BC	Monnex BE	80	217	PP	40	20	115
TURVA 100J	BC	Furex 80 BE	100	237	PP	45	20	115

<sup>1</sup> P = paineellinen. <sup>2</sup> PP = ponnepullo

Taulukko 3.12. Kidde-yhtiön valmistamat sammuttimet. Harmaalla merkityt ovat liikuttavia sammuttimia.

Malli	Palo- ja teholuokka	Sammutusaine	Sammutemäärä, kg	Kokonaispaino, kg	Toimintaperiaate	Tyhjenemisaika, s	Suihkun pituus, m	Sammuttimen mitat, mm		
								korkeus	leveys	syvyys
250MB-1-KFF *	1-A:10B:C	ABC	1,3	2,4	P <sup>1</sup>	9,5	3,1 - 4,6	377,8	139,7	76,2
5MB-6H-KFF *	3-A:40B:C	ABC	2,27	4,5	P	14	3,7 - 5,5	387,4	184,1	108
5MB-6HB-KFF *	3-A:40B:C	ABC	2,27	4,5	P	14	3,7 - 5,5	387,4	184,1	108
10MB-8H-KFF *	4-A:80B:C	ABC	4,54	7,7	P	22	4,9 - 6,1	481,1	196,8	133,3
20MB-6H-KFF *	20-A:120B:C	ABC	9,07	15	P	28	4,9 - 6,1	536,7	234,9	184,1
275RB-1-KFF *	10B:C	Reg. BC	1,25	2,4	P	9	3,1 - 4,6	377,8	139,7	76,2
5RB-4H-KFF *	40B:C	Reg. BC	2,49	4,5	P	13,5	3,7 - 5,5	387,4	184,1	108
10RB-7H-KFF *	60B:C	Reg. BC	4,54	7,7	P	18	4,9 - 6,1	481,1	196,8	133,3
20RB-7H-KFF *	120B:C	Reg. BC	9,07	15	P	29	4,9 - 6,1	536,7	234,9	184,1
250PB-2-KFF *	10B:C	Purple K	1,3	2,4	P	9,5	3,1 - 4,6	377,8	139,7	76,2
5PB-4H-KFF *	30B:C	Purple K	2,27	4,5	P	14	3,7 - 5,5	387,4	184,1	108
10PB-5H-KFF *	80B:C	Purple K	4,54	7,7	P	22	4,9 - 6,1	481,1	196,8	133,3
20PB-2H-KFF *	120B:C	Purple K	9,07	15	P	28	4,9 - 6,1	536,7	234,9	184,1
B-10-A-KFF *	4-A:40B:C	ABC	4,83	11,6	PP <sup>2</sup>	17 - 20	4,6 - 7,6	463,6	241,3	130
B-10-A-HF-KFF *	1-A:20B:C	ABC	4,83	11,6	PP	10	4,6 - 7,6	463,6	241,3	130
B-10-RG-KFF *	40B:C	Reg. BC	5,44	12,3	PP	17 - 21	4,6 - 7,6	463,6	241,3	130
B-10-PK-KFF *	60B:C	Purple K	4,76	11,6	PP	17 - 20	4,6 - 7,6	463,6	241,3	130
B-10-PK-HF-KFF *	20B:C	Purple K	4,76	11,6	PP	9	4,6 - 7,6	463,6	241,3	130
B-20-A-KFF *	20-A:60B:C	ABC	9,53	20,6	PP	20 - 24	4,6 - 9,1	599,4	285,8	158,8
B-20-A-HF-KFF *	2-A:40B:C	ABC	9,53	20,6	PP	15	4,6 - 9,1	599,4	285,8	158,8
B-20-RG-KFF *	60B:C	Reg. BC	10,43	21,6	PP	20 - 26	4,6 - 9,1	599,4	285,8	158,8
B-20-PK-KFF *	80B:C	Purple K	9,98	21,1	PP	20 - 26	4,6 - 9,1	599,4	285,8	158,8
B-20-PK-HF-KFF *	20B:C	Purple K	9,98	21,1	PP	12	4,6 - 9,1	599,4	285,8	158,8
B-30-A-KFF *	20-A:80B:C	ABC	11,34	23,1	PP	29 - 35	4,6 - 10,7	599,4	311,2	182,9
B-30-A-HF-KFF *	3-A:40B:C	ABC	11,34	23,1	PP	15	4,6 - 10,7	599,4	311,2	182,9
B-30-RG-KFF *	120B:C	Reg. BC	13,15	25	PP	20 - 31	4,6 - 10,7	599,4	311,2	182,9
B-30-PK-KFF *	120B:C	Purple K	12,93	24,7	PP	26 - 31	4,6 - 10,7	599,4	311,2	182,9
B-30-PK-HF-KFF *	40B:C	Purple K	12,93	24,7	PP	14	4,6 - 10,7	599,4	311,2	182,9
50MB-KFF	30-A:160B:C	ABC	22,6	63,5	P	36	7,6 - 10,6	1175	584	584
50RB-KFF	160B:C	Reg. BC	22,6	63,5	P	36	7,6 - 10,6	1175	584	584
50PB-KFF	160B:C	Purple K	22,6	63,5	P	36	7,6 - 10,6	1175	584	584
150MB-KFF *	40-A:240B:C	ABC	56,7	136	P	45	9,1 - 12,2	1473	711	997
150RB-KFF *	240B:C	Reg. BC	68,7	170	P	55	9,1 - 12,2	1473	711	997
150PB-KFF *	240B:C	Purple K	56,7	136	P	48	9,1 - 12,2	1473	711	997
B150A-1-KFF	40-A:240B:C	ABC	65,7	197	P	43	7,6 - 10,7	1321	686	990
B150R-1-KFF	240B:C	Reg. BC	68	199	P	43	7,6 - 10,7	1321	686	990
B150K-1-KFF	240B:C	Purple K	56,7	188	P	43	7,6 - 10,7	1321	686	990
WB491-KFF *	40-A:320B:C	ABC	136	337	P	60	9,1 - 12,2	1450	864	990
WB492-KFF *	320B:C	Reg. BC	159	360	P	70	9,1 - 12,2	1450	864	990
WB493-KFF *	320B:C	Purple K	136	337	P	67	9,1 - 12,2	1450	864	990

<sup>1</sup> P = paineellinen. <sup>2</sup> PP = ponnepullo. \* Sammuttimilla on myös USCG:n hyväksyntä (U.S Coast Guard)

Taulukko 3.13. Ansul-yhtiön valmistamat jauhesammuttimet. Harmaalla merkityt ovat liikuteltavia sammuttimia. Kaikki sammuttimet ovat U.S.C.G.:n hyväksymiä.

Malli	Palo- ja teho- luokka	Sammutusaine	Sammutemäärä, kg	Kokonaispaino, kg	Toimintaperiaate	Tyhjenemisaika, s	Suihkun pituus, m	Sammuttimen mitat, mm		
								korkeus	leveys	syvyys
5 *	10-B:C	Plus-Fifty C	2,3	5,2	PP <sup>2</sup>	10	3,7	483	140	140
A-5 *	2-A:10-B:C	Foray	1,9	4,9	PP	13,5	3,7	483	140	140
K-5 *	20-B:C	Purple-K	2	5	PP	9,5	3,7	483	140	140
I-10-G *	30-B:C	Plus-Fifty C	4,5	10	PP	11	6,4	410	210	133
I-A-10-G *	4-A:40-B:C	Foray	3,7	9,3	PP	14	5,2	410	210	133
I-K-10-G *	60-B:C	Purple-K	4,1	9,5	PP	19	7,6	410	210	133
I-20-G *	40-B:C	Plus-Fifty C	9,1	17,2	PP	13	7,3	521	264	178
I-A-20-G *	10-A:60-B:C	Foray	7,7	15,9	PP	20	6,1	521	264	178
I-K-20-G *	80-B:C	Purple-K	8,2	16,3	PP	21	9,1	521	264	178
I-30-G *	60-B:C	Plus-Fifty C	13,6	24,7	PP	17	7	572	283	203
I-A-30-G *	20-A:80-B:C	Foray	11,3	22,5	PP	25	6,1	572	283	203
I-K-30-G *	120-B:C	Purple-K	12,3	23,4	PP	27	9,1	572	283	203
A10I **	10-A:60-B:C	Foray	4,54	8,8	P <sup>1</sup>	20	5,8	470	216	148
PK10I **	60-B:C	Purple-K	4,54	8,8	P	19	5,8	470	216	148
C10I **	40-B:C	Plus-Fifty C	4,54	8,8	P	16	5,8	470	216	148
A20I **	20-A:80-B:C	Foray	9,07	14,9	P	28	6,7	572	241	183
PK20I **	120-B:C	Purple-K	9,07	14,9	P	29	6,7	572	241	183
C20I **	60-B:C	Plus-Fifty C	9,07	14,9	P	21	6,7	572	241	183
A02/A02VB **	1-A:10-B:C	Foray	1,13	2,27	P	9	3,4	362	140	86
C02VB **	10-B::C	Plus-Fifty C	1,13	2,27	P	10	3,4	362	140	86
AA05/AA05VB **	3-A:40-B:C	Foray	2,27	4,15	P	14	4,3	432	216	113
A05/A05VB **	3-A:10-B:C	Foray	2,27	4,15	P	15	4,3	432	216	113
PK05 **	60-B:C	Purple-K	2,27	4,15	P	17	4,3	432	216	113
C05 **	40-B:C	Plus-Fifty C	2,27	4,15	P	14	4,3	432	216	113
A10H **	10-A:60-B:C	Foray	4,54	8,13	P	21	5,8	470	216	148
A10T **	10-A:60-B:C	Foray	4,54	8,13	P	21	5,8	553	216	127
PK10 **	80-B:C	Purple-K	4,54	8,13	P	24	5,8	470	216	148
C10 **	40-B:C	Plus-Fifty C	4,54	8,13	P	17	5,8	470	216	148
AA20 **	20-A:120-B:C	Foray	9,07	14,6	P	28	6,7	572	241	183
PK20 **	120-B:C	Purple-K	9,07	14,6	P	30	6,7	572	241	183
C20 **	80-B:C	Plus-Fifty C	9,07	14,6	P	21	6,7	572	241	183
CR-I-150-C *	160-B:C	Plus-Fifty C	68	212	PP	40	7,6	1321	737	1067
CR-I-A-150-C *	40-A:160-B:C	Foray	56,7	201	PP	35	7,6	1321	737	1067
CR-I-K-150-C *	320-B:C	Purple-K	56,7	201	PP	51	7,6	1321	737	1067
CR-I-350-C *	240-B:C	Plus-Fifty C	158,8	430	PP	40	9,1	1524	902	1181
CR-I-A-350-C *	40-A:240-B:C	Foray	136,1	407	PP	45	9,1	1524	902	1181
CR-I-K-350-C *	480-B:C	Purple-K	136,1	407	PP	67	9,1	1524	902	1181
CR-I-150-D *	240-B:C	Plus-Fifty C	68	160,6	PP	47	7,6	1156	609	914
CR-I-A-150-D *	40-A:240-B:C	Foray	56,7	149,2	PP	45	7,6	1156	609	914
CR-I-K-150-D *	320-B:C	Purple-K	56,7	149,2	PP	51	7,6	1156	609	914
CR-I-350-D *	320-B:C	Plus-Fifty C	158,8	335,7	PP	59	9,1	1448	864	1194
CR-I-A-350-D *	40-A:320-B:C	Foray	136,1	313	PP	52	9,1	1448	864	1194
CR-I-K-350-D *	640-B:C	Purple-K	136,1	313	PP	80	12,2	1448	864	1194

<sup>1</sup> P = paineellinen. <sup>2</sup> PP = ponnepullo. \* merkityt kuuluvat "Red Line" -sarjaan. \*\* merkityt kuuluvat "Sentry"-sarjaan

Taulukko 3.14. Buckeye-yhtiön valmistamat sammuttimet. Harmaalla merkityt ovat liikuteltavia sammuttimia.

Malli	Palo- ja teho- luokka	Sammutusaine	Sammutemäärä, kg	Kokonaispaino, kg	Toimintaperiaate	Tyhjenemisaika, s	Suihkun pituus, m	Sammuttimen mitat, mm		
								korkeus	leveys	syvyys
2,5 ABC *	1-A:10B:C	ABC Dry Chem.	1,13	2,38	P <sup>1</sup>	9	4,6	375	124	86
2,5 ABC V/B *	1-A:10B:C	ABC Dry Chem.	1,13	2,49	P	9	4,6	375	142	86
4 ABC *	2-A:10B:C	ABC Dry Chem.	1,81	2,9	P	14	4,6	419	159	89
4 ABC V/B *	2-A:10B:C	ABC Dry Chem.	1,81	3,1	P	14	4,6	419	159	89
5 ABC *	3-A:40B:C	ABC Dry Chem.	2,27	4,3	P	14	5,5	416	184	108
5 ABC V/B *	3-A:40B:C	ABC Dry Chem.	2,27	4,4	P	14	5,5	416	184	108
10 ABC TALL *	4-A:80B:C	ABC Dry Chem.	4,54	8,1	P	22	6,4	533	197	130
10 ABC SHORT *	4-A:80B:C	ABC Dry Chem.	4,54	8,1	P	19	6,4	425	210	152
20 ABC *	20-A:120B:C	ABC Dry Chem.	9,07	15	P	26	6,4	538	222	191
30 ABC *	20-A:160B:C	ABC Dry Chem.	13,5	23,7	P	32	9,1	694	222	191
2 PK V/B *	5B:C	Purple K	0,91	1,5	P	9	4,6	343	114	73
2,5 PK V/B *	10B:C	Purple K	1,13	2,49	P	9	4,6	375	124	86
5 PK *	20B:C	Purple K	2,27	4,3	P	9	5,5	416	184	108
5 PK V/B *	20B:C	Purple K	2,27	4,4	P	9	5,5	416	184	108
10 PK TALL *	80B:C	Purple K	4,54	8,1	P	22	6,4	533	197	130
10 PK SHORT *	80B:C	Purple K	4,54	8,1	P	22	6,4	425	210	152
20 PK *	120B:C	Purple K	9,07	15	P	26	6,4	538	222	191
30 PK *	160B:C	Purple K	13,6	23,7	P	32	9,1	694	222	191
2 STD V/B *	5B:C	STD Dry Chem.	0,91	1,5	P	9	4,6	343	114	73
2,5 STD V/B *	10B:C	STD Dry Chem.	1,13	2,49	P	9	4,6	375	124	86
5,5 STD *	40B:C	STD Dry Chem.	2,5	4,5	P	14	5,5	416	184	108
5,5 STD V/B *	40B:C	STD Dry Chem.	2,5	4,7	P	14	5,5	416	184	108
10 STD TALL *	40B:C	STD Dry Chem.	4,54	8,1	P	14	6,4	533	197	130
10 STD SHORT *	40B:C	STD Dry Chem.	4,54	8,1	P	14	6,4	425	210	152
20 STD *	120B:C	STD Dry Chem.	9,07	15	P	26	6,4	538	222	191
W-30HI SB-ABC *	20-A:160B:C	ABC Dry Chem.	13,6	44	P	35	9,1	939	483	483
W-30HI SB PK *	160B:C	Purple K	13,6	44	P	35	9,1	939	483	483
A-50-SP *	30-A:160B:C	ABC Dry Chem.	22,7	88	P	35	10,6	1194	610	673
K-50-SP *	160B:C	Purple K	22,7	88	P	34	10,6	1194	610	673
A-150-SP *	40-A:240B:C	ABC Dry Chem.	56,7	156	P	47	12,2	1283	660	965
K-150-SP *	320B:C	Purple K	56,7	156	P	54	12,2	1283	660	965
A-150-RG	40-A:240B:C	ABC Dry Chem.	56,7	188	PP <sup>2</sup>	43	12,2	1270	610	1054
S-150-RG	240B:C	STD Dry Chem.	68	199	PP	48	12,2	1270	610	1054
K-150-RG	320B:C	Purple K	56,7	188	PP	57	12,2	1270	610	1054
A-150-RG	40-A:240B:C	ABC Dry Chem.	56,7	204	PP	43	12,2	1385	813	1168
S-150-RG	240B:C	STD Dry Chem.	68	215	PP	48	12,2	1385	813	1168
K-150-RG	320B:C	Purple K	56,7	204	PP	57	12,2	1384	813	1168
A-150-PT	40-A:240B:C	ABC Dry Chem.	56,7	157	PP	45	12,2	1270	609	1054
S-150-PT	240B:C	STD Dry Chem.	68	168	PP	43	12,2	1270	609	1054
K-150-PT	320B:C	Purple K	56,7	157	PP	54	12,2	1270	609	1054
A-350-RG	40-A:320B:C	ABC Dry Chem.	136,1	368	PP	53	12,2	1473	914	1219
S-350-RG	320B:C	STD Dry Chem.	158,8	391	PP	59	12,2	1473	914	1219
K-350-RG	320B:C	Purple K	136,1	368	PP	56	12,2	1473	914	1219
A-350-PT	40-A:320B:C	ABC Dry Chem.	136,1	318	PP	57	12,2	1473	914	1219
S-350-PT	320B:C	STD Dry Chem.	158,8	341	PP	50	12,2	1473	914	1219
K-350-PT	320B:C	Purple K	136,1	318	PP	84	12,2	1473	914	1219

<sup>1</sup> P = paineellinen. <sup>2</sup> PP = ponnepullo. \* Sammuttimilla on myös USCG:n hyväksyntä (U.S Coast Guard).

Kaupalliset D-luokan paloille soveltuvat sammuttimet esitellään taulukossa 3.15.

Taulukko 3.15. Kaupallisia D-luokan sammuttimia. Harmaalla merkityt ovat liikuteltavia sammuttimia.

Malli	Valmistaja	Sammutusaine	Sammutemäärä, kg	Kokonaispaino, kg	Toimintaperiaate	Tyhjenemisaika, s	Suihkun pituus, m	Sammuttimen mitat, mm		
								korkeus	leveys	syvyys
I-MX-30-G	Ansul	MET-L-X	13,6	24,7	PP <sup>2</sup>	23	2,4	572	283	203
I-LX-30-G	Ansul	LITH-X	11,3	23,4	PP	30	2,4	572	283	203
I-ML-30-G	Ansul	MET-L-KYL	13,6	24,7	PP	19	2,4	572	283	203
I-NX-30-G	Ansul	NA-X	12,3	23,4	PP	17	2,4	572	283	203
I-CU-AG-20-G	Ansul	NAVY 125S	13,6	21,7	PP	26	2,4	572	283	203
CR-MX-150-C *	Ansul	MET-L-X	68	212	PP	65	4,3	1321	737	1067
CR-NX-150-C *	Ansul	NA-X	60,3	204	PP	58	4,3	1321	737	1067
CR-I-LX-150-C *	Ansul	LITH-X	61,2	205	PP	-	6,1	1321	737	1067
CR-I-ML-150-C *	Ansul	MET-L-KYL	68	212	PP	-	7,6	1321	737	1067
CR-I-CU-AG-150-C *	Ansul	NAVY 125S	113	258	PP	125	2,4	1321	737	1067
CR-MX-350-C *	Ansul	MET-L-X	158,8	427	PP	145	4,3	1524	902	1181
CR-NX-350-C *	Ansul	NA-X	142,4	401	PP	137	4,3	1524	902	1181
CR-I-LX-350-C *	Ansul	LITH-X	142,9	414	PP	-	7,6	1524	902	1181
CR-I-ML-350-C *	Ansul	MET-L-KYL	158,8	430	PP	-	9,1	1524	902	1181
P12M	Gloria-Werke	Allinex M	12	21	PP	35	7	860	285	215
P 50 M/5/10	Gloria-Werke	Allinex M	50	102	PP	50	-	1070	495	615
WB570-KFF	Kidde	NaCl	13,6	24	P <sup>1</sup>	28	3,1	705	406	177

<sup>1</sup> P = paineellinen. <sup>2</sup> PP = ponnepullo. \* merkityt kuuluvat Ansul-yhtiön "Red Line" -sammutinsarjaan.

### 3.3.2 Vaahto-, neste- ja vesisammuttimet

Taulukossa 3.16 esitellään kaupallisia vaahto-, neste- sekä vesisammuttimia.

Taulukko 3.16. Kaupallisia vaahto-, neste- sekä vesisammuttimia. Harmaalla merkityt ovat liikuteltavia sammuttimia.

Malli	Valmistaja	Palo- ja teho- luokka	Sammutusaine	Määrä, l	Kokonaispaino, kg	Toimintaperiaate	Tyhjenemisaika, s	Käyttölämpötila, °C	Suihkun pituus, m	Sammuttimen mitat, mm		
										korkeus	leveys	syvyys
S6DLWB	Gloria-Werke	13A183B	AFFF	6	-	P <sup>1</sup>	30	-	4	540	290	180
F 6 SKK	Gloria-Werke	21A233B	AFFF	6	11,2	PP <sup>2</sup>	25	0/+60	5	630	216	183
F 6 SKK Excl.	Gloria-Werke	21A233B	AFFF	6	11,2	PP	25	0/+60	5	630	216	183
F 6 SKK AL	Gloria-Werke	21A233B	AFFF	6	11,2	PP	25	0/+60	5	630	216	183
F 6 SKK AL Excl.	Gloria-Werke	21A233B	AFFF	6	11,2	PP	25	0/+60	5	630	216	183
Presto S6	Presto-Tuote	13A144B	AFFF	6	9,5	P	20	0/+60	5	520	240	160
Presto S9	Presto-Tuote	21A183B	AFFF	9	13,5	P	30	0/+60	5	520	250	185
F-100-KFF	Kidde	1-A:20-B	AR-AFFF	6	4,5	P	50	2/+49	4,6	495	222	177
F-250-KFF	Kidde	1-A:30-B	AR-AFFF	9,4	5,4	P	90	2/+49	4,6	622	222	177
SKK 9 LW	Gloria-Werke	27A233B	LW 100	10	15,7	PP	36	0/+60	5	575	270	210
SKK 6 LW	Gloria-Werke	21A233B	LW 100	6	10,9	PP	26	0/+60	5	555	270	160
SKK 6 APS	Gloria-Werke	13A113B	Moussol APS	6	10,9	PP	26	0/+60	5	555	270	160
F 6 WNI	Gloria-Werke	27A	Imprex A	6	11,7	PP	52	-5/+60	4	630	216	183
F 6 WNI AL	Gloria-Werke	27A	Imprex A	6	11,7	PP	52	-5/+60	4	630	216	183
Wi 6 ENI	Gloria-Werke	27A	Imprex A	6	11,5	PP	47	-5/+60	4	610	290	160
Wi 9 ENI	Gloria-Werke	34A	Imprex A	9	17	PP	62	-5/+60	5	635	250	210
Si 9 FI 20	Gloria-Werke	21A233B	Imprex F20	9	16,2	PP	48	-20/+60	4	610	255	210
Si 6 NI	Gloria-Werke	27A233B	Imprex Plus	6	11,2	PP	29	0/+60	4	590	270	160
Si 9 NI	Gloria-Werke	34A233B	Imprex Plus	9	16,5	PP	48	0/+60	4	610	255	210
F 6 NI	Gloria-Werke	27A233B	Imprex Plus	6	11,7	PP	30	0/+60	4	630	216	183
F 6 NI AL	Gloria-Werke	27A233B	Imprex Plus	6	11,7	PP	30	0/+60	4	630	216	183
Si 9 FI	Gloria-Werke	21A233B	Imprex	9	-	PP	41	-	4	630	255	210
WC-100-KFF	Kidde	K	kaliumasetaatti	6	6,4	P	55	4/+49	3,6	495	222	177
WC-250-KFF	Kidde	K	kaliumasetaatti	9,4	8,6	P	75	4/+49	3,6	622	222	177
F 6 RC	Gloria-Werke	13A (F)	RC 50	6	13	PP	30	-10/+60	4	630	216	183
Wi 6 RC	Gloria-Werke	13A (F)	RC 50	6	12,3	PP	30	-30/+60	4	610	270	160
F 6 RC AL	Gloria-Werke	13A (F)	RC 50	6	-	PP	30	-30/+60	4	630	216	183
Water WP-61- KFF	Kidde	2A	vesi	9,5	3,6	P	55	1/+49	14	628	228	177
Wi 9 EF 30	Gloria-Werke	21A	vesi (+jäänesto)	9	17,2	PP	35	-30/+60	5	635	250	210
Wi 9 EN	Gloria-Werke	13A	vesi (+ kostute)	9	15,9	PP	45	0/+60	4	635	250	210
Wi 6 EN	Gloria-Werke	13A	vesi (+ kostute)	6	11	PP	33	0/+60	4	610	290	160
F 6 WN	Gloria-Werke	13A	vesi (+ kostute)	6,2	11,2	PP	52	0/+60	4	630	216	183
F 6 WN AL	Gloria-Werke	13A	vesi (+ kostute)	6,2	11,2	PP	52	0/+60	4	630	216	183
Softex 6E	Softonex Oy	13A144B	vesi + Soft-Drops E	6	9,5	P	35	0/+60	6	-	-	-
SKK 50 LW	Gloria-Werke	AB	LW AFFF	50	102	PP	65	0/+60	6	1070	600	660
S 50 NI	Gloria-Werke	AB	Imprex Plus	50	112	PP	65	0/+60	12	1070	600	660
S 50 FI 20	Gloria-Werke	AB	Imprex F	50	113	PP	120	-20/+60	5	1070	600	660

<sup>1</sup> P = paineellinen. <sup>2</sup> PP = ponnepullo.

### 3.3.3 Hiilidioksidisammuttimet

Eräitä kaupallisia hiilidioksidisammuttimia esitellään taulukossa 3.17.

Taulukko 3.17. Kaupallisia CO<sub>2</sub>-sammuttimia. Harmaalla merkityt ovat liikuteltavia sammuttimia.

Malli	Valmistaja tai Maa-hantuaja	Luokitus	Sammutemäärä, kg	Kokonaispaino, kg	Käyttöpaine, bar	Suihkun kantama, m	Toiminta-aika, s	Korkeus, mm	Leveys, mm	Syvyys, mm
K2	Presto-Tuote	34B	2	5,8	58	2	8	600	265	102
K5	Presto-Tuote	89B	5	13,6	58	2	11	670	360	152
KS 2 SBS	Gloria-Werke	34B	2	6,3	58	3	8,5	551	265	117
KS 5 S	Gloria-Werke	89B	5	15,1	-	5	13,5	780	480	150
KS 5 SE	Gloria-Werke	89B	5	15	-	5	13,5	780	480	150
KS 5 SE	Gloria-Werke	89B	5	14	-	5	13,5	770	480	160
Ks 5 AM	Gloria-Werke	89B	5	15,1	-	5	13,5	780	480	150
Turva 5 HAP	MAKO	55B	5	13,9	-	6	13	6,7 L (säiliön tilavuus)		
Finalert 5	Fin-Alert Oy	-	5	14,2	-	-	-	680	350	-
Turenko K2	Turenko Oy	34B	2	-	-	-	-	-	-	-
Turenko K5	Turenko Oy	89B	5	-	-	-	-	-	-	-
Sentry (CD05-1) **	Ansul	5-B:C	2,3	7,6	139	-	-	470	187	135
Sentry (CD05A-1) **	Ansul	5-B:C	2,3	6,1	124	-	-	464	184	136
Sentry (CD10-1) **	Ansul	10-B:C	4,6	15,4	124	-	-	591	276	175
Sentry (CD10A-1) **	Ansul	10-B:C	4,6	12,1	124	-	-	527	278	178
Sentry (CD15-1) **	Ansul	10-B:C	6,9	20,2	124	-	-	711	276	175
Sentry (CD15A-1) **	Ansul	10-B:C	6,9	16,2	124	-	-	692	278	178
Sentry (CD20-1) **	Ansul	10-B:C	9,2	24,3	124	-	-	711	302	201
Sentry (CD20A-1) **	Ansul	10-B:C	9,2	21,2	124	-	-	699	305	206
Model no. 5CD **	Buckeye	5-B:C	2,27	6,3	-	2,4	8	441	210	133
Model no. 10CD **	Buckeye	10-B:C	4,54	12,6	-	2,4	10	502	305	176
Model no. 15CD **	Buckeye	10-B:C	6,8	17,1	-	2,4	15	670	305	175
Model no. 20CD **	Buckeye	10-B:C	9,07	22,2	-	2,4	20	682	330	203
B5V-KFF **	Kidde	5-B:C	2,27	6,8	26,7	2,4	9	432	216	133
B10V-KFF **	Kidde	10-B:C	4,54	13,6	26,7	2,4	10	492	277	175
B15V-KFF **	Kidde	10-B:C	6,8	18,1	26,7	2,4	14	660	277	175
B20-KFF **	Kidde	10-B:C	9,07	23,1	26,7	2,4	17	660	305	203
CD-50-D *	Ansul	20-B:C	22,7	95,3	-	3,7	35	1300	600	700
CD-100-D *	Ansul	20-B:C	45,4	188,2	-	3,7	70	1300	600	800
KS 10	Gloria-Werke	113B	10	45	58	5	15	1040	480	480
KS 20	Gloria-Werke	144B	20	72,4	58	5,5	20	1210	480	480
KS 30	Gloria-Werke	-	30	110	58	5	78	1520	520	1540
KS 40	Gloria-Werke	5x144B	50	149	58	5,5	50	1573	522	1068
Turva 30 HL	MAKO	-	30	118	-	8	70	40 L (säiliön tilavuus)		
Model no. 50 **	Buckeye	20-B:C	22,68	113,4	-	4,6	40	1524	762	533
Model no. 100 **	Buckeye	20-B:C	45,36	176,9	-	4,6	80	1651	762	533
CD50-1-KFF **	Kidde	20B:C	22,7	122,9	26,7	3,9	30	1421	546	838
CD100-1-KFF **	Kidde	20B:C	45,4	202,3	26,7	4,6	60	1321	813	838

\* merkityillä on vain U.L.-hyväksyntä. \*\* merkityillä sammuttimilla on sekä U.L.- että U.S.C.G.-hyväksynnät

### 3.3.4 Clean Agents -sammuttimet

Kaupalliset clean agent -sammuttimet esitetään taulukossa 3.18. Taulukossa ei ole EU:ssa kiellettyjä HCFC-yhdisteitä (esim. Halotron I) sisältäviä sammuttimia.

Taulukko 3.18. Kaupallisia clean agents -käsisammuttimia.

Malli	Valmistaja	Palo- ja teholuokka	Sammutusaineen kaupan nimi	Sammutemäärä, kg	Kokonaispaino, kg	Käyttöpaine, bar	Tyhjenemisaika, s	Suihkun pituus, m	Sammuttimen mitat, mm		
									korkeus	leveys	syvyys
FE02VB	Ansul	2-B:C	FE-36	1,1	2,3	41,4	9	3,1	362	146	86
FE05	Ansul	5-B:C	FE-36	2,2	4,3	41,4	8,6	3,7	432	216	113
FE09	Ansul	1-A:10-B:C	FE-36	4,3	4,65	41,4	9,5	4,9	476	229	178
FE13	Ansul	2-A:10-B:C	FE-36	6	11,63	41,4	13,5	4,9	572	241	178
C-20	Sea Fire	2:BC	FM-200	1,3	-	-	-	-	-	-	-
C-50	Sea Fire	5:BC	FM-200	2,6	-	-	-	-	-	-	-
C-100	Sea Fire	5:BC	FM-200	4,8	-	-	-	-	-	-	-

### 3.3.5 Muut sovellukset

Valmistajan mukaan CCS COBRA (kuva 3.4) on laite, jolla pystytään leikkaamaan useimpia materiaaleja nopeasti ja tarkasti. Koska leikkuri toimii vedellä, myös sen sammuttavat ja jäädyttävät ominaisuudet ovat merkittävät. CSS-COBRAlla voi tehdä reiän kattoon, seinään tai oveen savunpoiston tai muun toiminnan vuoksi. Leikkaamalla jäädytetään samanaikaisesti kohdetta sekä kulutetaan palosta syntyvää energiaa.

Lisäksi veden kulutus on vähäistä, joten mahdolliset vesivauriot jäävät pieniksi. Vesisuihku muodostetaan erityisellä suokappaleella. 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 hioivia partikkeleita, käyttämällä voidaan leikata mm. öljysäiliöitä ja kaasuputkia.





Kuva 3.4. CCS-COBRA, leikkaava sammutusjärjestelmä [www.ccs-cobra.com].

Ruotsalaisen tutkimuksen mukaan [Anon., 2001] järjestelmä soveltuu mainiosti sisätilojen sammutukseen. On arvioitu, että sammuttimen suorituskyky riittäisi sammuttamaan 600 m<sup>3</sup> kokoisen rakennuksen, jossa aukkopinta-ala olisi pienempi kuin 5–8 m<sup>2</sup>. Tällä tavoin asetetut reunaehdot tarkoittaisivat 10–12 MW:n paloa (vastaa n. 3–4 m<sup>2</sup>:n petrolipaloa). Taulukossa 3.19 mainitaan laitteen turvallisuuteen ja leikkaustehoon liittyviä tietoja.

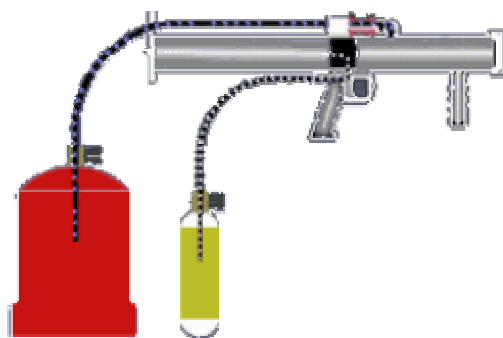
Taulukko 3.19. CCS-COBRA:n leikkausnopeus ja turvallisuus [Anon., 2001].

Etäisyys, m	Paine, MPa	Leikkausteho / turvallinen etäisyys
0	47,7	Hiovat ainesosat mukana: 0,4 m/min (2 mm vahvuinen duralumiini <sup>1</sup> )
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 käsinettä)
7–14	-	Sumu, josta ei vaaraa ihmiselle

<sup>1</sup> Käytetään lentokoneissa.

### Impulssisammutuslaite

IFEX-impulssisammutuslaite (kuva 3.5) on uusi tulipalojen sammutusjärjestelmä. Siinä sekä sammutte 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.



Kuva 3.5. IFEX-impulssisammutuslaite [www.ifextechnologies.com]. Suuremmissä säiliöissä on sammutetta ja pienemmässä paineilmaa.

#### *FIREXPRESS-mikropisararasammutin*



Kuva 3.6. FIREXPRESS-mikropisararasuutin [www.firexpress.com].

FIREXPRESS-sammuttimen (kuva 3.6) tehokkuus perustuu mikropisaroiden ja vaahdon käyttöön. E. Virta & Co.:n mukaan FIREXPRESS-sammuttimella peitetään yhdellä vesilitralla noin 100 m<sup>2</sup>:n pinta-ala pienten (7–100 µm) pisaroiden avulla. Erikoisrakenteisen suuttimen avulla mikrosumun ja kalvovaahdon kantamaksi saadaan yli 10 metriä. Suutinkahvaa kääntämällä käyttäjä voi valita mikrosumun tai vaahdon. EN 3-7 standardin sammutustesteissä FIREXPRESS saavutti 43 A -luokituksen 24 litralla ja 233 B -luokituksen 10 litralla vesi-vahto -seosta.

### **3.4 Standardit**

Uusi EN 3-7:2003 -standardi pitää sisällään ja samalla myös korvaa vuoden 1996 EN 3 -standardeista seuraavat:

1. EN 3-1:1996 (kuvaus, toiminta-aika, A- ja B-luokkien sammutustestit)
2. EN 3-2:1996 (tiiviyys, eristävyystesti, täristystesti, erityisvaatimukset)

3. EN 3-4:1996 (täytökset, minimisammutusvaatimukset)
4. EN 3-5:1996 (lisävaatimukset ja -testit).

Seuraavassa vertaillaan standardien sisällön mukaan eurooppalaista EN 3-7- ja amerikkalaista NFPA 10 -standardia.

EN 3-7 -standardin sisältö:

1. Soveltamisala
2. Velvoittavat viittaukset
3. Termit ja määritelmät
4. Yleistä
5. Testivalmistelut
6. Täytökset, täyttötoleranssit sekä minimisammutusvaatimukset
7. Toiminta-aika, tyhjenemisaste sekä käyttölämpötilat
8. Tiiviys
9. Eristävyystesti vesipohjaisille sammuttimille
10. Vaatimukset komponenteille
11. Paineen ilmaisu
12. Hiilidioksidisammuttimien suihkunlevittimet
13. Sammuttimen asennusteline
14. Korroosionkestävyys
15. Sammutustestit (A- ja B-luokka)
16. Sammuttimen tunnistaminen
17. Huolto

*Liite A: Testit toiminta-ajalle sekä tyhjenemisasteelle*

*Liite B: Käyttölämpötilan testaaminen*

*Liite C: Eristävyystesti*

*Liite D: Voimien ja energian mittaukset*

*Liite E: Letkun ja sen liitosten murtopaine*

*Liite F: Säätöventtiilin testaus*

*Liite G: Testit suihkunlevittimille*

*Liite H: Korroosionkestävyys*

*Liite I: Sammutustestit*

*Liite J: Puun kosteuden mittaaminen*

*Liite K: Täristystesti*

*Liite L: Iskutesti*

NFPA 10 -standardin sisältö:

1. Yleistä (mm. soveltamisalasta, tarkoituksesta, luokituksesta, sammuttimien suorituskyvystä sekä yleisiä vaatimuksia)
2. Viittaukset
3. Määritelmät
4. Sammuttimien valinta
5. Sammuttimien sijoittaminen
6. Tarkastus, huolto ja uudelleentäyttö
7. Vesipainekoestus

*Liite A: Selittävä osa*

*Liite B: Sammuttimien merkinnät*

*Liite C: Sammuttimien valinta*

*Liite D: Sammuttimien toiminta ja käyttö*

*Liite E: Sammuttimien sijoittaminen*

*Liite F: Kotitalouksissa tarvittavien sammuttimien valinta*

*Liite G: Sammuttimien teholuokat sekä paloluokat*

*Liite H: Sammuttimien valintaan vaikuttavia tekijöitä*

*Liite I: Huoltotoimenpiteet*

*Liite J: Informatiiviset viittaukset*

NFPA-standardissa kerrotaan paljon yleisiä asioita mm. sammutteen ja sammuttimien valinnoista sekä sammuttimien sijoittelusta. Standardissa tulee esiin selvästi sammuttimien ja ympäristön vuorovaikutus. NFPA-standardi ei sisällä testejä, vaan mm. sammutustestit tehdään ANSI/UL 711 -standardin mukaan. Standardi pitää sisällään sammuttimille tehtävät huoltotoimenpiteet (mm. painelaitetta koskevat) sekä liikuteltavat sammuttimet, jotka mainitaan samoissa yhteyksissä käsisammuttimien kanssa. EN-standardi on selvästi näistä kahdesta teknisempi standardi, jossa eri testit on otettu myös mukaan. Liikuteltavien sammuttimien standardit ovat omassa standardissaan [EN 1866, 1998].

Seuraavaan on kerätty NFPA 10 -standardissa mainittuja asioita sammutteen valintaan liittyvistä periaatteista:

- syttyvän ja palonaran materiaalin määrän ja laadun arvioiminen
- palon vakavuus (koko, intensiteetti, leviämisenopeus)
- sammutteen soveltuvuus kullekin paloluokalle
- käsisammuttimen helppokäyttöisyys
- henkilökunnan sammuttamistaito, psyykinen olotila ja muut reaktiot tilanteessa
- ympäristön lämpötila (myös tuuli)
- sammutteen sopivuus ympäristön kannalta
- mahdollisen reaktion syntyminen sammutteen ja palavan materiaalin välillä.

Sammuttimen valintaan tai kuljetukseen voivat vaikuttaa myös seuraavat asiat:

- sammuttimen paino
- sammuttimen ja kohteen välinen matka
- mahdollinen kuljetus eri kerroksesta toiseen
- sammutettavien tilojen ahtaus
- sammuttajan fyysinen toimintakunto.

### 3.5 Sovelluskohteet

Käsisammuttimet on suunniteltu vain tietyn kokoisille paloille, mutta niiden käyttö alkusammutuksessa on perusteltua, vaikka kohde olisikin muuten suojattu kiinteillä sammutusjärjestelmillä. Tilanteen ollessa päällä päätökset on tehtävä nopeasti mm. oikean sammutteen löytämiseksi. Oikeantyyppisen sammutteen tulisi sijaita sellaisella paikalla, jossa mahdollinen tulipalo saattaa esiintyä. Sammuttimen sijainnin merkitseminen ja henkilökunnan koulutus ovat myös keskeisiä asioita.

Jauhesammuttimet muodostavat suurimman joukon käytössä olevista sammuttimista. Jauhesammuttimet ovat monikäyttöisiä – myös sähköpaloille – soveltuvia sammuttimia. Ainoana haittapuolena voitaneen pitää jälkisiivouksen suurta osuutta, koska pölymäinen jauhe jää pinnoille ja kantautuu ilman mukana kauaksi. Tämä asettaakin luonnollisesti käytännön rajoituksia jauhesammuttimien käytölle.

Sammutusnesteet soveltuvat yleensä A- ja B-luokan palojen sammutukseen. Teholtaan nestesammuttimet ovat jauhesammuttimien veroisia. Tämän vuoksi nestesammuttimia käytetään tiloissa, joissa jauhepöly olisi muuten haitaksi ympäristölle (sairaalat, laboratoriot, konttorit, keittiöt jne.). Nestesammuttimet eivät sovellu kaasupalojen tai sähköpalojen sammuttamiseen. On kuitenkin olemassa nestesammuttimia, jotka soveltuvat sähköpalojen sammuttamiseen turvaetäisyyden ollessa 1 000 V/m. Soveltuvuudesta sähköpaloihin on ilmoitettava erikseen sammuttimessa.

Viime aikoina on tullut uuden paloluokituksen F myötä esille myös erinäisiä eläin- ja kasvirasvapaloihin soveltuvia sammuttimia. Näiden sammuttimien käyttökohteet rajoittuvat käytännössä ravintoloiden keittiöihin niin maalla kuin merellä.

Halokarboneiden käyttö käsisammutteissa on sallittua käytännössä vain miehittämättömissä tiloissa, koska sammutteille altistava pitoisuus voi vaihdella kohteen, tilan koon, purkausajan ja sammuttajan sijoittumisen myötä. Sama sammute voi olla sallittu kiinteiden sammutusjärjestelmien puolella miehitettyjen tilojen suojauksessa, jossa suunniteltupitoisuudet on mitoitettu ennakkoon.

Suomessa ympäristöministeriö on antanut paloturvallisuuteen liittyen määräykset ja ohjeet Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa E: *Rakenteellinen paloturvallisuus*. Tämän kokoelman eri osissa mainitaan alkusammutuskaluston ja käsisammuttimien tarpeellisuudesta seuraavasti:

- E1: Rakennusten paloturvallisuus 2002 (määräykset ja ohjeet). *Määräys*: Rakennus tulee tarvittaessa varustaa tarkoituksenmukaisilla alkusammutusvälineillä siten, että rakennuksessa olevat voivat käynnistää sammutustoimet palon alkuvaiheessa. *Ohje*: Alkusammutusvälineiden tarpeen ja laadun määrittelee paikallinen pelastusviranomainen.
- E2: Tuotanto- ja varastorakennusten paloturvallisuus 1997 (ohjeet). *Suojaustaso 1*: Tavallinen alkusammutuskalusto (mm. käsisammuttimet), kun on kyseessä palovaarallisuusluokka 1. *Suojaustasot 2 ja 3* edellyttävät automaattisen paloilmoinnin (taso 2) ja automaattisen sammutuslaitteiston (taso 3) lisäksi myös suojaustason 1 mukaisen alkusammutuskaluston.

- E4: Autosuojien paloturvallisuus 1997 (ohjeet). *Suojaustasot 1, 2 ja 3*: samat periaatteet kuin osassa E2. Opastavina tietoina mainitaan, että yli 200 m<sup>2</sup>:n autosuoja varustetaan tavallisella alkusammutuskalustolla. Tavallisella alkusammutuskalustolla tarkoitetaan tässä joko vähintään A-BIII-E-teholuokan käsisammuttimia (jauhe vähintään 27A 144B ja neste vähintään 13A 144B) tai palopostia. Sammuttimia tulee olla 1 kpl kutakin alkavaa 300 m<sup>2</sup> kohti. Vuoden 2004 ehdotuksessa mainitaan vain yhden teholuokan (27A 144B) käsisammuttimesta.

Muita valtakunnallisia määräyksiä tai ohjeita käsisammuttimen käytöstä ovat antaneet eri ministeriöt sekä mm. Suomen vakuutusyhtiöiden keskusliitto. Esimerkkeinä näistä mainittakoot seuraavat:

KTM:n päätös palavista nesteistä (313/1985): "Huonetilassa, jossa valmistetaan, teknillisesti käytetään, käsitellään tai varastoidaan I tai II luokan palavaa nestettä, tulee olla A-BIII-E-luokan (jauhe vähintään 27A 144B ja neste vähintään 13A 144B) käsisammuttimia siten sijoitettuna, että käsisammuttimien keskinäinen etäisyys on enintään 30 m.

Huonetilassa, jossa valmistetaan, teknillisesti käytetään, käsitellään tai muussa kuin suljetussa irtosäiliössä varastoidaan III luokan palavaa nestettä, tulee olla vähintään yksi A-BIII-E-luokan (jauhe vähintään 27A 144B ja neste vähintään 13A 144B) käsisammuttimin enintään 3 m etäisyydellä uloskäytävästä.

Ulkona olevassa valmistuslaitoksessa, teknillisessä käyttölaitoksessa ja palavan nesteen ammattimaista käsittelyä varten varatussa paikassa tulee olla vähintään yksi A-BIII-E-luokan (jauhe vähintään 27A 144B ja neste vähintään 13A 144B) pakkasenkestävä käsisammuttimin helposti ja turvallisesti saatavissa lähellä kohdetta, josta palavaa nestettä saattaa vuotaa ulos.

Erityisen vaarallisiin kohteisiin kunnan palopäällikkö tai palopäällikön määräämä henkilö voi määrätä käsisammuttimia suurempia irrallisia sammuttimia. Irrallisten sammuttimien lisäksi tulee tässä pykälässä tarkoitetuissa tiloissa ja paikoissa sekä varastopaikalla tarvittaessa olla pikapaloposteja letkuineen.

Mitä 1 ja 2 momentissa on määrätty, ei koske tapauksia, joissa palavan nesteen käsittelyyn ei tarvita lupaa tai katsastusta."

Suomen vakuutusyhtiöiden keskusliitto [SVK, 2002] määrää mm. tulitöiden suojeleuksessaan käsisammuttimien osalta seuraavaa:

Jos tulityöluvassa ei ole toisin määrätty, on tulityöpaikalla oltava vähintään:

- kaksi 43A 183BC -teholuokan käsिसammutinta (2 kpl 12 kg:n A-BIII-E)
- toinen edellä mainituista käsिसammuttimista voidaan korvata kahdella 27A 144BC -teholuokan vastaavalla käsिसammuttimella (2 kpl 6 kg:n A-BIII-E) tai pikapalopostilla.

Yhteiseurooppalaisissa ilmailuvaatimuksissa [JAR-OPS, 2003] puolestaan mainitaan seuraavaa: "Lentotoiminnan harjoittaja ei saa käyttää lentokonetta, ellei siinä ole käsिसammuttimia, jotka on varattu käytettäväksi miehistö- ja matkustajatiloiissa sekä mahdollisissa rahtitiloissa ja tarjoomoissa seuraavien vaatimusten mukaisesti:

- a) Sammutusaineen on oltava tyypiltään ja määrältään soveltuva sellaisiin paloihin, joita todennäköisimmin syttyy siinä tilassa, jossa sammutinta on tarkoitus käyttää. Ihmisten oleskeluun tarkoitetuissa tiloissa on käytettävä ainetta, jolla myrkyllisten kaasujen ilmaan kertymisen vaara on mahdollisimman pieni.
- b) Ohjaamoon on tarkoituksenmukaisesti sijoitettava ohjaamomiehistön käyttöön vähintään yksi käsिसammutin, jossa sammutusaineena on haloni 1211 (bromikloridifluorimetaani, CBrClF<sub>2</sub>) tai vastaava aine.
- c) Jokaiseen tarjoomoon, joka sijaitsee muualla kuin päämatkustamon tasolla, on sijoitettava tai siinä käytettäväksi on oltava helposti saatavilla vähintään yksi käsिसammutin.
- d) Jokaista luokan A tai B rahti- tai matkatavaratilaa ja jokaista luokan E rahtitilaa varten, johon miehistön jäsenet pääsevät lennon aikana, on oltava helposti saatavilla vähintään yksi käsिसammutin.
- e) Matkustamoon tai matkustamoihin on tarkoituksenmukaisesti sijoitettava vähintään taulukossa 3.20 esitetty määrä käsिसammuttimia.
- f) Vähintään yhdessä vaadituista sammuttimista, joka on sijoitettu suurimmalta hyväksytyltä matkustajapaikkaluvultaan vähintään 31-paikkaisen, mutta kuitenkin enintään 60-paikkaisen lentokoneen matkustamoon, ja vähintään kahdessa sammuttimessa, jotka on sijoitettu suurimmalta hyväksytyltä matkustajapaikkaluvultaan vähintään 61-paikkaisen lentokoneen matkustamoon, on oltava sammutusaineena Halon 1211 (bromikloridifluorimetaani, CBrClF<sub>2</sub>) tai vastaava aine."

Taulukko 3.20. Lentokoneen matkustamossa vaaditut käsisammuttimet [JAR-OPS, 2003].

Suurin hyväksytty matkustajapaikkaluku	Sammuttimien määrä
7–30	1
31–60	2
61–200	3
201–300	4
301–400	5
401–500	6
501–600	7
601 tai enemmän	8

Jos sammuttimia on vaatimusten mukaan oltava kaksi tai enemmän, ne on sijoitettava matkustamoon tasaisesti.

Liikenne- ja viestintäministeriö on asettanut (313/2003) vaarallisten aineiden kuljetuksessa (VAK) käsisammuttimien kohdalta seuraavaa:

Kuljetusyksikössä on oltava vähintään 2 kg:n käsisammutin, ja sen lisäksi vaaditaan käsisammuttimia siten, että kokonaissammutemäärä on vähintään seuraava (taulukko 3.21):

Taulukko 3.21. Liikenne- ja viestintäministeriön asetuksen (313/2003) mukaiset kokonaissammutemäärät eri kuljetusyksikön massan mukaan.

Kuljetusyksikön massa, tonnia	Kokonaissammutemäärä
enintään 3,5	4 kg
3,5–7,5	8 kg (yksi sammutin vähintään 6 kg)
yli 7,5	12 kg (yksi sammutin vähintään 6 kg)

Sammuttimien on oltava pakkasenkestäviä sammuttimia, jotka on tarkoitettu A-, B- ja C-palotyyppien sammuttamiseen. Vapaarajakuljetuksissa vaaditaan vähintään 2 kg:n käsisammutin.

Siirtymäsäännöksen mukaan kuljetusyksiköt saavat olla varustettuja 1.5.2002 voimaantulleen LVM-asetuksen 277/2002 mukaisesti 31. päivään joulukuuta 2007 saakka.

Vesiliikenneasetuksessa (124/1997) vesikulkuneuvon perusvarustukseen käsisammuttimien osalta kuuluu yksi AB- tai ABE-luokan hyväksytty käsisammutin, jossa sammutusainetta on vähintään kaksi kiloa, kuitenkin vain, jos vesikulkuneuvossa on liekillä toimiva polttolaite, sisäkone tai yli 25 kilowatin perämoottori. Eräiden kalastusalusten



turvallisuudesta koskevassa asetuksessa (65/2000) mainitaan käsisammuttimien osalta, että luokkaan I (pituus alle 15 m) kuuluvassa kalastusaluksessa tulee olla kaksi vähintään 6 kg:n AB-luokan käsisammutinta, joista toinen tulee sijoittaa koneistotilan läheisyyteen. Luokkaan II (pituus vähintään 15 m mutta alle 24 m) kuuluvassa kalastusaluksessa tulee olla vähintään kolme käsisammutinta, joiden yhteinen sammutusainemäärä on vähintään 24 kg. Yksi käsisammuttimista tulee sijoittaa koneistotilan läheisyyteen. Luokkaan III (pituus vähintään 24 m) kuuluvan kalastusaluksen paloturvallisuusjärjestelyjen tulee täyttää kalastusalusdirektiivissä (97/70/EY sekä siihen tulleet muutokset) säädetyt vaatimukset.

Merenkulkulaitos noudattaa käsisammuttimien osalta EN 3 -standardia niin kotimaan kuin kansainvälistenkin meriliikenteen matkustaja-aluksissa. Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO (*International Maritime Organization*) on laatinut paloturvallisuusjärjestelyjen säännöt *Fire Safety Systems Code* [IMO, 2001], joissa mainitaan, että kaikkien CO<sub>2</sub>- ja jauhesammuttimien nimellispainon on oltava vähintään 5 kg ja kaikkien vaahtosammuttimien nimellistilavuuden on oltava vähintään 9 l, kuitenkin niin, ettei 23 kg:n kokonaispaino ylitä. Sammutusteholtaan sammuttimien tulee vastata vähintään 9 l:n nestesammutinta. Liikuteltavien vaahtosammutinyksiköiden osalta sanotaan, että yksikön tulee tuottaa öljypaloon soveltuvaa vaahtoa vähintään 1,5 m<sup>3</sup>/min. Vaahtoyksikköön tulee lisäksi kuulua kaksi säiliötä, joista käytössä olevassa on vaahtoliuosta vähintään 20 l – toinen säiliö toimii varasäiliönä. Näitä sääntöjä sovelletaan mm. EU:n matkustaja-alusten turvallisuutta koskevassa direktiivissä (98/18/EY).

Suomen pelastusalan keskusjärjestön julkaisussa [SPEK, 2001] on tehty kattava selvitys vaadittavasta alkusammutuskalustosta eri tahoilla. Taulukossa 3.22 on pääpiirteittäinen jaottelu siitä, mitkä kohteet Suomessa ovat kunkin tahon määräysten tai ohjeiden alaisia.

Taulukko 3.22. Eri tahojen määräyksiin, ohjeisiin tai harkintaan perustuva alkusammuttimien käyttö [SPEK, 2001].

<b>Valtakunnallisiin määräyksiin ja ohjeisiin perustuva alkusammuttimien<sup>1</sup> käyttö</b>	Arkistot Autosuojat ja autohallit Huoltoasemat Junat ja ratapihat Kaivokset – Kaivosten turvallisuus – Panostusajoneuvot Laivat – Kalastusalukset – Kansainvälisen meriliikenteen alukset – Kotimaan liikenteen alukset Lentokoneet Lossit Lämminilmakehittimet ja viljankuivaimot Maalaustyöt Maatalousrakennukset	Moottoriajoneuvot – Linja-autot – Matkailuajoneuvot – Sammutusautot – Säiliöautot Nestekaasut Palavat nesteet Räjähdystarvikkeet Tuotanto- ja varastorakennukset Turvetuotantoalueet Työkoneet Vaarallisten aineiden kuljettaminen tiellä Vaarallisten kemikaalien käsittely ja varastointi jakeluasemalla Vaarallisten kemikaalien teollinen käsittely ja varastointi Veneet Öljylämmityslaitetilat
<b>Vakuutusyhtiöiden suojeleohjeisiin perustuva alkusammuttimien käyttö</b>	ATK-tilat Linja-autot ja kuorma-autot Lämpökeskukset Rakennustyömaat	Tularityöt Työkoneet Yritykset
<b>Viranomaisen harkintaan perustuva alkusammuttimien käyttö</b>	Asuinhuoneistot Kattilahuoneet Kokoontumishuoneistot Leirintäalueet Oppilaitokset Päivähoitohuoneistot	Radio- ja TV-asemat Rangaistuslaitokset Sairaalat Sähkölaitokset Työpaikat

<sup>1</sup> Alkusammuttimella tarkoitetaan tässä kaikkia yhden henkilön käytössä olevia, alkupalojen sammuttamiseen suunniteltuja laitteita, kuten pikapaloposteja ja käsiammuttimia.

### 3.5.1 Halonisammuttimet

Perinteisesti käsiammuttimissa käytetyn haloni 1211:n ja kiinteistä sammutusjärjestelmistä tutun haloni 1301:n käyttö on sallittua ainoastaan taulukkoon 3.23 kirjatuissa kohteissa (EY 2037/2000 sekä siihen tulleet muutokset). Myös HCFC-sammutteet ovat sallittuja ainoastaan taulukon 3.23 sovelluksissa halonien korvaajina.

Taulukko 3.23. Halonien ja HCFC-yhdisteiden käytön sallivat kohteet [EY 2037/2000].

Aine	Käyttö
Haloni 1301  HCFC- yhdisteet	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. lentokoneissa miehistötilojen, moottorikotelojen, polttoainesäiliöiden ja kuivan tilan suo- jaukseen sekä polttoainesäiliöiden räjähtämisen estoon</li> <li>2. sotilasmaakulkuneuvoissa ja laivaston aluksissa miehistö- ja moottoritilojen suojelemiseksi</li> <li>3. sotilasalalla, öljyalalla, kaasualalla ja petrokemian alalla sekä nykyisissä rahtialuksissa suojakaasuna tiloissa, joissa oleskelee ihmisiä ja joissa saattaa esiintyä tulenarkoja nestei- den tai kaasujen päästöjä</li> <li>4. tilojen suojaamiseen puolustusvoimien tai muissa kansallisen turvallisuuden kannalta vält- tämättömissä miehitetyissä olemassa olevissa viesti- ja johtokeskuksissa</li> <li>5. niiden tilojen suojaamiseen, joissa radioaktiivisen aineen leviäminen on mahdollista</li> <li>6. Englannin kanaalin tunnelissa ja siihen liittyvissä tiloissa ja laitteissa sekä liikkuvassa ka- lustossa.</li> </ol>
Haloni 1211  HCFC- yhdisteet	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. sotilasmaakulkuneuvoissa ja laivaston aluksissa miehistö- ja moottoritilojen suojelemiseksi</li> <li>2. lentokoneiden käsisammuttimissa ja moottoreita varten tarkoitetuissa kiinteissä sammut- timissa</li> <li>3. lentokoneissa miehistötilojen, moottorikotelojen, polttoainesäiliöiden ja kuivan tilan suo- jaukseen</li> <li>4. palokunnan käyttämissä henkilökohtaisen turvallisuuden kannalta välttämättömissä al- kusammuttimissa, ihmisiä varten tarkoitetuissa armeijan ja poliisin sammuttimissa.</li> </ol>
Haloni 2402  HCFC- yhdisteet	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. lentokoneissa miehistötilojen, moottorikotelojen, rahtitilojen ja kuivan tilan suojaukseen sekä polttoainetankkien räjähtämisen estoon</li> <li>2. sotilasmaakulkuneuvoissa ja laivaston aluksissa miehistö- ja moottoritilojen suojelemiseksi</li> <li>3. sotilasalalla, öljyalalla, kaasualalla ja petrokemian alalla sekä nykyisissä rahtialuksissa suojakaasuna tiloissa, joissa oleskelee ihmisiä ja joissa saattaa esiintyä tulenarkoja nestei- den tai kaasujen päästöjä</li> <li>4. tilojen suojaamiseen puolustusvoimien tai muissa kansallisen turvallisuuden kannalta vält- tämättömissä miehitetyissä olemassa olevissa viesti- ja johtokeskuksissa</li> <li>5. niiden tilojen suojaamiseen, joissa radioaktiivisen aineen leviäminen on mahdollista</li> <li>6. lentokoneissa käytettävissä käsisammuttimissa ja moottoreita varten tarkoitetuissa kiin- teissä sammuttimissa</li> <li>7. palokunnan käyttämissä henkilökohtaisen turvallisuuden kannalta välttämättömissä al- kusammuttimissa</li> <li>8. ihmisiä varten tarkoitetuissa armeijan ja poliisin sammuttimissa.</li> </ol>

Huomautus: Haloni-2402:n käyttö ainoastaan Tšekissä, Virossa, Kyproksessa, Latviassa, Liettuassa, Unkarissa, Maltassa, Puolassa, Sloveniassa ja Slovakiassa.

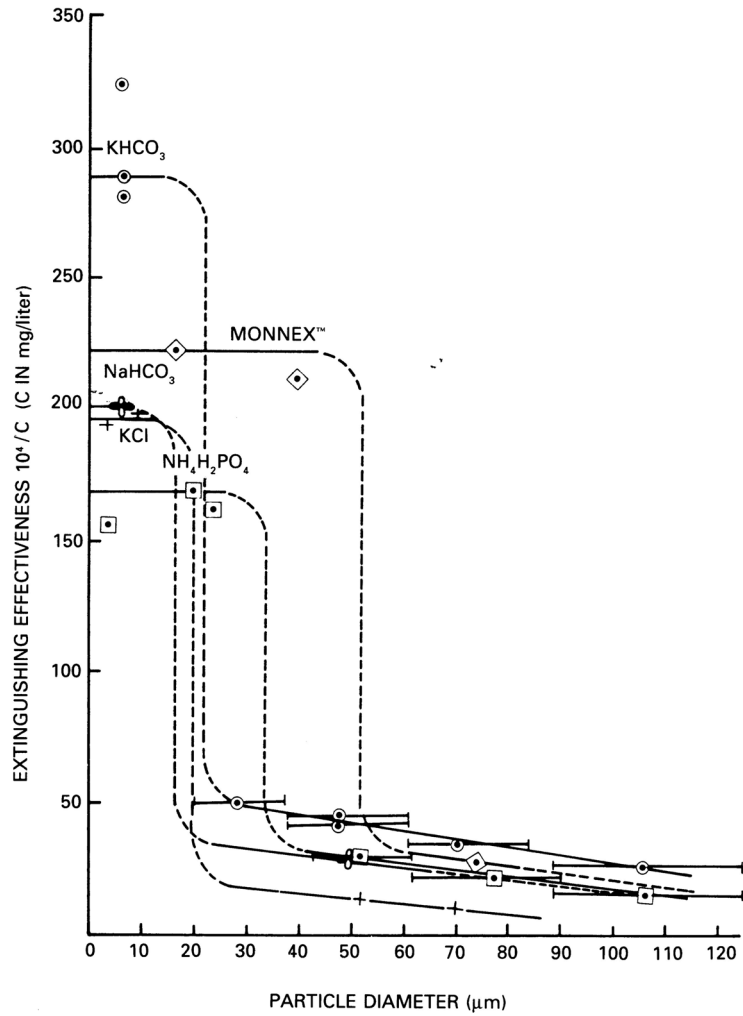
### 3.6 Suorituskyky

Sammuttimien suorituskyky määräytyy ensisijaisesti palo- ja teholuokan mukaan, jossa kullekin sammutemäärälle on olemassa minimisammutusvaatimukset. Näissä tapauksissa kyseeseen tulevat siis A-, B- ja C-luokkien sammuttimet. Erikoistapausten (esim. palavat metallit ja sähköpalot) tullessa kyseeseen on sammuttimissa ilmoitettava sammutteen soveltuvuus erikseen.

Kokemattoman ja kokeneen käyttäjän ero käsisammuttimissa näkyy mm. mahdollisena sammutettavana pinta-alana. Esimerkiksi Ansul-yhtiö on maininnut tuotteissaan moilemmat pinta-alat, jotka sammuttimilla voidaan sammuttaa. Käsisammutinesitteissä pinta-alaero kokemattoman ja kokeneen sammuttajan välillä on 2,5-kertainen.

Seuraavassa on hieman yksityiskohtaisemmin selvitetty ABC-luokkien sammuttimien (käsisammuttimet sekä liikuteltavat sammuttimet) potentiaalisia käyttökohteita ja suorituskykyä. Selvitys perustuu alan kirjallisuuteen sekä valmistajilta saatuihin tietoihin.

Sammutteiden tehokkuutta ovat tutkineet mm. Ewing ym. [1989], jotka vertailivat vielä nykyisinkin käytössä olevia sammutejauheita: kaliumbikarbonaattia ( $\text{KHCO}_3$ ), natriumbikarbonaattia ( $\text{NaHCO}_3$ ), kaliumkloridia ( $\text{KCl}$ ), monoammoniumfosfaattia ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ) sekä Monnex<sup>TM</sup>-jauhetta. Testilaitteistossa sammutettiin tietynkokoinen heptaaniallaspalo, minkä tuloksena saatiin kriittinen raekoko kullekin jauhetypille, kuva 3.7. Kriittisellä partikkelikoolla tarkoitetaan rajatapausta, jossa rajaa pienemmät partikkelit kaasuuntuvat liekkialueella ja rajaa suuremmat säilyvät lähes hajoamattomina. Kuva 3.7 osoittaa selvästi, kuinka pienemmillä partikkeleilla saavutetaan suurempi sammutusteho.



Kuva 3.7. Partikkelikoon vaikutus eri jauheiden sammutustehoon [Ewing ym., 1989].

Ewingin ym. [1995] myöhemmässä tutkimuksessa on koottu yhteen eri jauheiden kriittisiä raekokoja sekä sammuttavia pitoisuuksia (taulukko 3.24).

Taulukko 3.24. Sammuttajauheiden kriittinen raekoko ja sammuttava pitoisuus [Ewing ym., 1995].

Jauhe	Ominaispaino	Kriittinen raekoko, $\mu\text{m}$	Sammuttava pitoisuus $C_{\text{EXT}}$ , $\text{g/m}^3$	Sammutustehokkuus <sup>2</sup> , $10^4/C_{\text{EXT}}$
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	1,83	30	218 <sup>1</sup>	45,9
$\text{K}_2\text{CO}_3$	2,40	14	31	323
$\text{NaHCO}_3$	2,28	16	50	200
$\text{K}_2\text{SO}_4$	2,63	16	34	294
$\text{KHCO}_3$	2,20	20	35	289
$\text{NaCl}$	2,16	20	50	200
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	2,53	20	43	232
$\text{KCl}$	2,00	20	51	196
$\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	1,85	20	19	526
$\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$	2,34	23	50	200
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	1,83	30	59	169
$\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2,13	35	33	303
Monnex	1,86	52	45	222

<sup>1</sup> Diammoniumsulfaatti hajoaa vain osittain vapauttaen ammoniakkikaasua (n. 357 °C:ssa), mutta muutoin se ainoastaan sulaa siten, että sulassa on lisäksi  $(\text{NH}_4)\text{HSO}_4$ :ta sekä rikkihappoa.

<sup>2</sup> Sammutustehokkuus kuvaa tilavuutta, jossa massayksikkö sammutetta kykenee aiheuttamaan sammumisen.

Myös Fischer ja Leonard [1995] havaitsivat samankaltaisen käytöksen partikkelikoon ja sammutustehon välillä testatessaan samoin periaattein yleisimpiä sammutusjauheita. He jakoivat partikkelikoot sammutustehojen mukaan kolmeen luokkaan:

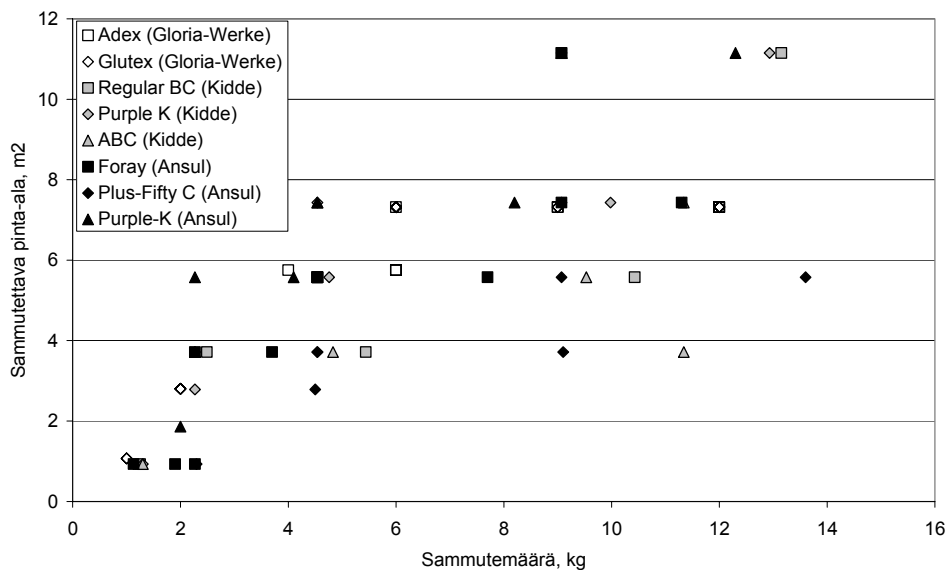
- paras sammutusteho: partikkelit alle 25  $\mu\text{m}$
- sammutustehokäyrässä jyrkkä pudotus partikkeleilla, joiden läpimitta 25–50  $\mu\text{m}$
- huonoin sammutusteho: partikkelit yli 50  $\mu\text{m}$ .

Vasta alle 25  $\mu\text{m}$  olevilla partikkeleilla näkyi eroja eri jauheiden sammutustehoissa. Ainoana poikkeuksena oli Monnex<sup>TM</sup>-jauhe, jolla saavutettiin hyvä sammutusteho vielä 60  $\mu\text{m}$ :n partikkeleillakin. Tämä selittyi mm. sillä, että suuremmat partikkelit hajosivat pienemmiksi ja käyttäytyivät näin kuten pienet partikkelit.

Laboratoriomittakaavassa tehdyt testit ovat usein hyvin tarkkaan kontrolloituja, ja niissä ympäristöstä syntyvät virhetekijät on pyritty poistamaan. Testeissä lisäksi käytetään vain muutamia grammoja sammutetta [Fisher ja Leonard, 1995]. Käsiammuttimen käytössä sen sijaan korostuvat usein muut tekijät kuin itse sammutteen teho. Tällaisia ovat

sammuttajan kokemus (mm. hyökkäystaktiikka), ympäristön lämpötila ja tuuli sekä sammutemäärä. Esimerkiksi onnettomuustutkintakeskuksen selostuksesta [2002] käy ilmi, että vuosina 2000–2001 sattuneista linja-autopaloista (54 kpl) alkusammutus onnistui 72 %:ssa tapauksista (39 kpl). Tavallisin epäonnistumisen syy oli sammutusai-  
neen loppuminen kesken. Linja-autoissa on pakollisena 2 kg:n käsisammutin.

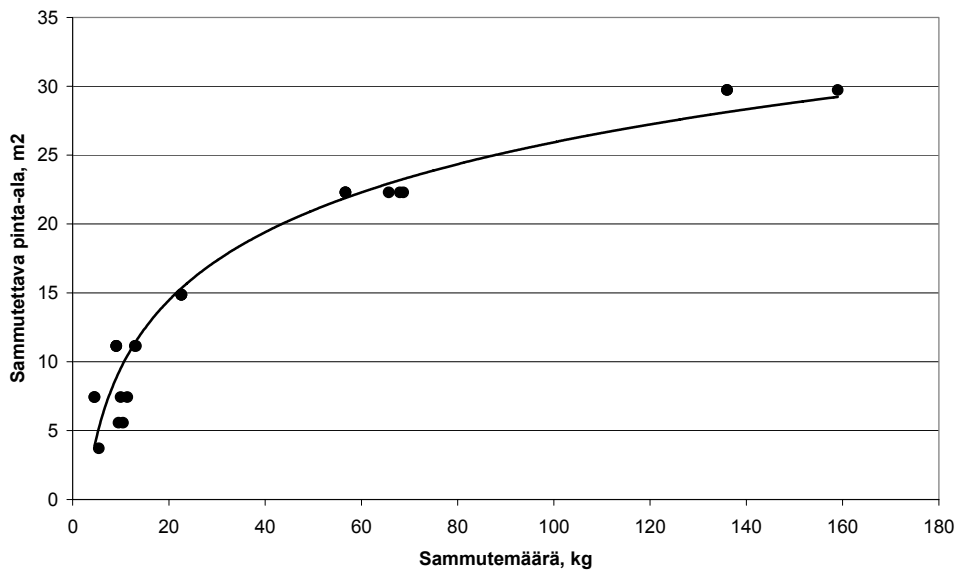
Käsisammutinvalmistajilta kerätyistä tiedoista voidaan tehdä karkea kuva siitä, minkälaisen pinta-alan kullakin sammutemäärällä (vähintään) voi sammuttaa. Pinta-ala on saatu vertaamalla sitä ilmoitettuun B-teholuokkamerkintään, kuva 3.8.



Kuva 3.8. Eri valmistajilta (selitteessä mainittu) kerättyjen tietojen pohjalta laadittu graafinen tulkinta käsisammuttimien (alle 20 kg) sammutustehokkuudesta. Pinta-ala on saatu sammuttimen B-teholuokkamerkinnästä.

Kuvaa 3.8 katsottaessa on syytä muistaa, että EN 3-7 -standardiin pohjautuvien käsisammuttimien suurin paloallas on 7,3 m<sup>2</sup>:n kokoinen, kun taas ANSI/UL 711 -standardiin pohjautuvissa testeissä käsisammuttimilla voidaan sammuttaa jopa 11,1 m<sup>2</sup>:n paloja.

Liikuteltavien sammuttimien sammutustehokkuus sammutettavana pinta-alana ilmaistuna (kuten kuvassa 3.8) on paljon suurempi – luonnollisesti suuremman sammuttekapasiteetin vuoksi, kuva 3.9.



Kuva 3.9. Liikuteltavien sammuttimien sammutettavan pinta-alan ja sammutemäärän välinen korrelaatio. Sammutettavat pinta-alat saatu B-teholuokkamerkinnöistä. Arvot otettu Kidde-yhtiön Internet-sivuilta.

Riley ja Kraus [1986] mainitsevat liikuteltavien sammuttimien sammutustehoista, että esimerkiksi 7,43 m<sup>2</sup>:n kokoiselle palavan nesteen alueelle sopiva sammutemäärä jauhetta olisi noin 68 kg (160B:C-luokan sammutin). He mainitsevat liikuteltavien sammuttimien tarpeen etenkin silloin, kun kyseessä ovat kaasupalot sekä paineistettujen palavien nesteiden palot.



## 4. Kiinteäasenteiset sammutusjärjestelmät

### 4.1 Sprinklerit

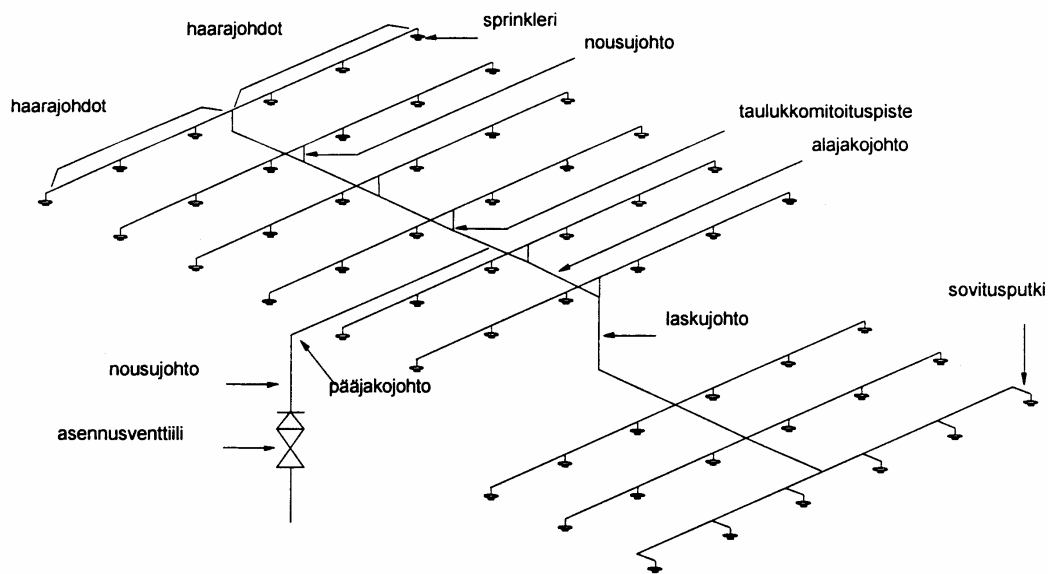
Automaattinen sprinklerilaitteisto on suunniteltu ilmaisemaan ja sammuttamaan tulipalo vedellä alkuvaiheessa tai pitämään palo hallinnassa, kunnes lopullinen sammutus saadaan suoritetuksi muilla menetelmillä. Sprinklerilaitteisto on tarkoitettu suojaamaan rakennus kokonaisuudessaan. Tästä säännöstä voidaan hyväksyä vain pieniä poikkeuksia.

Sprinklerisuojaus ei tee muita sammutustoimenpiteitä tarpeettomiksi. Siksi on tärkeää suunnitella kohteen paloturvallisuus kokonaisuutena. Tällöin on otettava huomioon rakenteiden palonkestävyys, poistumistiet, paloilmoitinjärjestelmät, lisäsuojausta edellyttävät erityiset vaarakohteet, sammutuskalusto, turvalliset työmenetelmät ja tavaroiden käsittelytavat, työnjohdon valvonta, hyvä siisteys ja kunnossapito – kaikki nämä edellyttävät toimenpiteitä ja huolenpitoa.

Oleellista on, että sprinklerilaitteistoa huolletaan asianmukaisesti, jotta se tarvittaessa toimisi moitteettomasti. Huollon laiminlyönti saattaa johtaa kohteessa olevien henkilöiden hengenvaaraan sekä kohtalokkaihin taloudellisiin menetyksiin. Asianmukaisen huollon tärkeyttä ei voi liiaksi korostaa.

Sprinklerilaitteiston toimintavalmiuden ollessa esteellinen tulee lisätä varuillaoloa, ryhtyä erityisiin palontorjuntatoimenpiteisiin ja tiedottaa asianomaisia valvontaelimiä.

Sprinklerilaitteisto koostuu vesilähteestä (tai vesilähteistä) ja yhdestä tai useammasta sprinkleriasennuksesta. Jokainen sprinkleriasennus koostuu asennusventtiilistä laitteineen sekä putkistosta ja sprinklereistä. Sprinklerit asennetaan kattoon sekä tarvittaessa varastotelineistöihin ja hyllyihin sekä muihin erikseen määriteltyihin tiloihin [CEA 4001, 2004]. Kuvassa 4.1 esitetään kaavio tyypillisen asennuksen pääosista.



Kuva 4.1. Sprinkleriasennuksen pääosat [CEA 4001, 2004].

Sprinklerit laukeavat tietyssä lämpötilassa (ks. taulukko 4.1), jolloin ne levittävät sammutusvettä palavalle alueelle ja sen välittömästi uhkaamalle alueelle. Veden virtaus hälytysventtiilin läpi aiheuttaa paloilmoituksen. Sprinklereiden laukeamislämpötila valitaan yleensä sopivaksi ympäristön lämpötilaan nähden.

Ainoastaan palon välittömässä läheisyydessä olevat, riittävän lämpötilan vaikutuksen alaiseksi joutuneet sprinklerit laukeavat.

Taulukko 4.1. Sprinklereiden laukeamislämpötilat eri värimerkein ilmaistuna [CEA 4001, 2004].

Lasikapseli	Lämpötila, °C	Sulakelukko	Lämpötila, °C
oranssi	57	–	–
punainen	68	värjäämätön	57–77
keltainen	79	–	–
vihreä	93–100	valkoinen	80–107
sininen	121–141	sininen	121–149
malva	163–182	punainen	163–191
musta	204 / 260	vihreä	204–246
		oranssi	260–302
		musta	320–343

Asennustyön saa suorittaa vain hyväksytty asennusliike, joka käyttää hyväksytyjä komponentteja ja määriteltyä hyväksyttyä putkiston mitoitusmenetelmää CEA-säännösten mukaisesti. Jos laitteiston toimitukseen osallistuu useampi kuin yksi hyväksytty asennusliike, tulee yhden asennusliikkeistä olla vastuussa laitteiston toimituksesta kokonaisuudessaan. Jos paikalliset vaatimukset edellyttävät aliurakointia, kuten sähkösyötön tai vesiliitäntän asennukset, hyväksytyin asennusliikkeen on annettava aliurakoitsijalle kaikki tarpeelliset tiedot sprinkleriasennuksia koskevista erityisvaatimuksista, jotta sääntöjen vaatimukset täyttyvät. [CEA 4001, 2004.]

#### **4.1.1 Vesilähteet**

Vesilähteen tulee automaattisesti kyetä syöttämään sprinklerilaitteistoon vaaditut virtaamat vaadituilla paineilla. Painesäiliöitä lukuun ottamatta tulee vesilähteen minimivesitilavuuden eri sprinkleriluokissa (ks. kohta 4.11.1) riittää seuraavia toiminta-aikoja varten:

- LH: 30 min
- OH: 60 min
- HHP: 90 min
- HHS: 90 min.

Vesilähteet eivät saa olla alttiina mahdollisille pakkasolosuhteille, kuivuudelle, tulville tai muille olosuhteille, jotka saattaisivat rajoittaa virtaamaa tai toiminta-aikaa tai tehdä vesilähteen toimintakyvyttömäksi.

Kaikkiin käytännössä mahdollisiin toimenpiteisiin on ryhdyttävä vesilähteiden jatkuvuuden ja luotettavuuden turvaamiseksi. Lisäksi vesilähteiden tulisi olla käyttäjän valvonnassa. Muussa tapauksessa omistajan tai haltijan, jonka valvonnassa vesilähteet ovat, tulisi taata vesilähteiden luotettavuus ja käyttöoikeudet.

Vedessä ei saa olla kuituja eikä lietteenä muitakaan aineita, jotka saattaisivat kertyä putkistoihin. Putkistoihin ei saa jättää suola- tai murtovettä. Ellei makeaa vettä ole käytettävissä, saa suola- tai murtovettä käyttää, edellyttäen että putkisto normaalioloissa pidetään täytettynä makealla vedellä. [CEA 4001, 2004.]

## 4.1.2 Sprinklereiden sijoituksesta

Kattoon asennettujen sprinklereiden hajottajalevyn määrittämän tason alapuolella tulee olla aina vapaata tilaa vähintään seuraavasti:

- 0,5 m luokissa LH ja OH, poikkeuksena avoimet alaslasketut katot
- 0,8 m alaslaskettuihin avoimiin kattoihin
- 1,0 m luokissa HHP ja HHS.

Suurin suojausala sprinkleriä kohti ilmoitetaan muille sprinklereille taulukossa 4.2 ja sivusprinklereille taulukossa 4.3. Kuvassa 4.2 havainnollistetaan lisäksi sprinklereiden sijoittumista joko tasaisesti tai lomittain.

Taulukko 4.2. Sprinklereiden suurimmat suojausalat sekä enimmäisetäisyydet (kuva 4.2) [CEA 4001, 2004].

Sprinkleriluokka	Sprinklerin suurin suojausala, m <sup>2</sup>	Enimmäisetäisyydet, m		
		Tasainen sijoitus S ja D	Lomittainen sijoitus	
			S	D
LH	21,0	4,6	4,6	4,6
OH	12,0	4,0	4,6	4,0
HHP ja HHS	9,0	3,7	3,7	3,7

Taulukko 4.3. Suurin suojausala sekä keskinäiset etäisyydet sivusprinklereille [CEA 4001, 2004].

Sprinkleri- luokka	Sprinklerin suurin suojausala (m <sup>2</sup> )	Enimmäisetäisyydet seinän suunnassa		Huoneen leveys (w) (m)	Huoneen pituus (l) (m)	Rivejä sivu- sprink- lereitä (kpl)	Sijoitus- tapa (vaaka- tasossa)
		sprinklerei- den välillä (m)	päätyseinäs- tä sprinke- riin (m)				
LH	17,0	4,6	2,3	w ≤ 3,7	vapaa	1	-
				3,7 <w ≤ 7,4	≤9,2	2	tasainen
					>9,2	2	lomittainen
				w >7,4	vapaa	2 <sup>(1)</sup>	tasainen
OH	9,0	3,4 <sup>(2)</sup>	1,8	w ≤ 3,7	vapaa	1	-
				3,7 <w ≤ 7,4	≤6,8	2	tasainen
					>6,8	2	lomittainen
				w >7,4	vapaa	2 <sup>(1)</sup>	tasainen

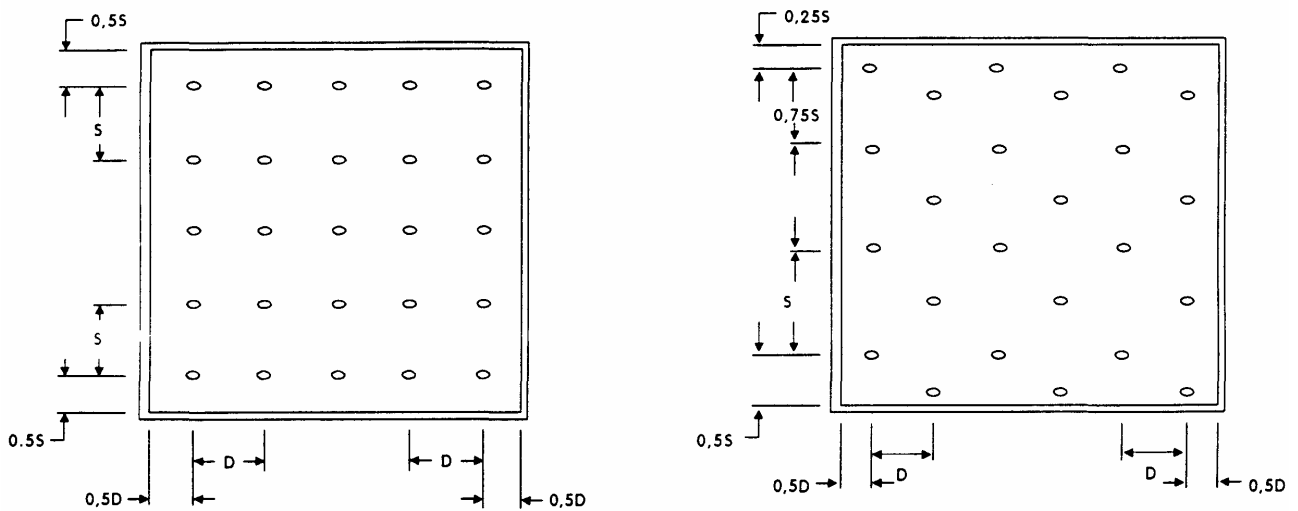
Huomautus 1: Suojausta on täydennettävä yhdellä tai useammalla rivillä kattosprinklereitä.

Huomautus 2: Saa lisätä 3,7 metriin, jos katon palonkestävyysaika on vähintään 120 min.

Huomautus 3: Sprinklerin hajottajalevyn on oltava 0,10–0,15 m:n etäisyydellä katosta ja 0,05–0,15 m:n vaakasuoralla etäisyydellä seinästä.

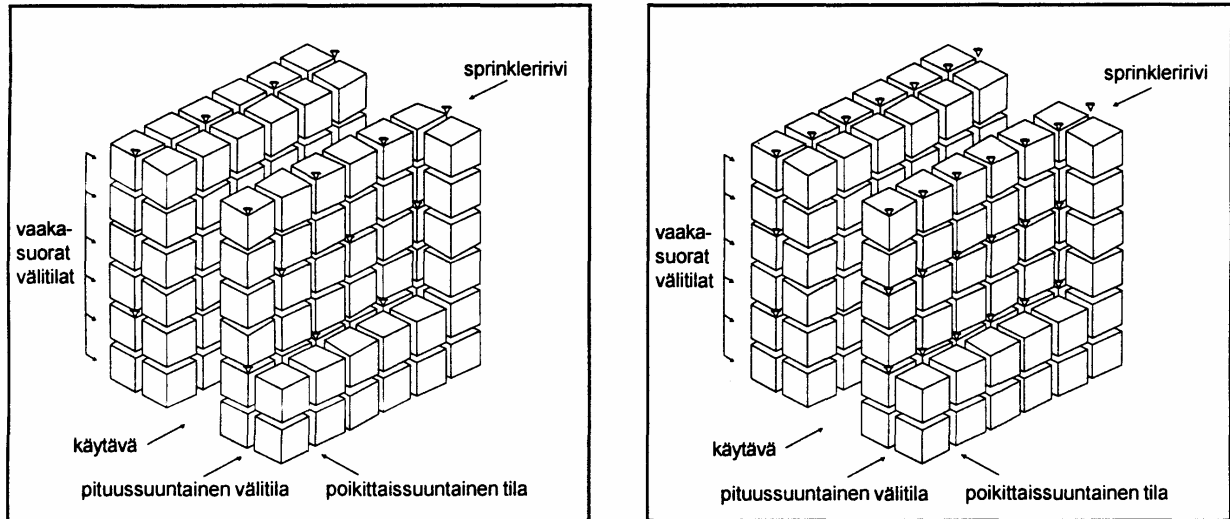
Huomautus 4: Katossa ei saa olla veden jakautumista haittaavia esteitä suorakaiteessa, joka ulottuu 1 m sprinklerin kummallekin puolelle seinää pitkin ja 1,8 m kohtisuoraan seinästä.

Huomautus 5: Jos katossa on palkkeja, on joka palkkiväli suojattava erikseen.



Kuva 4.2. Kattosprinklereiden eri sijoitustavat: tasainen (vasen) ja lomittainen (oikea) [CEA 4001, 2004].

Sprinklereiden etäisyydet eri rakenteista on määritelty seuraavien seikkojen osalta [CEA 4001, 2004]: etäisyys seinästä, etäisyys katosta, kaltevat katot, parvekkeet, hoitotasot, kattoikkunat, palkit ja kannattajat yms., kattotuolit, pilarit, hoitotasot ja hormit yms., rullaporras- ja porrasaukot, pystysuorat hormit ja kaatokuilut, esteet katoissa, alaslaskeutut avoimet katot, tilat alapohjan alapuolella, jyrkästi viistot tai pystysuorat kuljettimet, voimansiirtoköysien ja -hihnojen suojukset, koneistoja sisältävät laatikot sekä pöly- ym. suodatinlaitokset, jauho- ja jätesiiilot ym., paperikoneiden huuvut sekä kaapelitilat. Myös telineistösprinklereille annetaan sijoitusohjeet eri varastokategorioiden tullessa kyseen, kuva 4.3.



Kuva 4.3. Vasemmalla: telineistösprinklereiden sijoitus varastokategorioille I ja II. Oikealla: telineistösprinklereiden sijoitus varastokategorioille III ja IV.

Muun muassa korkeiden varistorakennusten suojaksi on kehitelty sprinklereitä, jotka voidaan asentaa hyvin korkealle kattoon ilman telineitä. Näitä sprinklerityyppiä edustavat ESFR (Early Suppression Fast-Response)- sekä Large-Drop-sprinklerit.

ESFR-sprinklerien tulee olla tyypiltään nopeita (terminen) ja niiden laukeamislämpötilan tulee olla jokin seuraavista [CEA 4001, 2004]:

- lasikapselit: 68 °C tai 93 °C
- sulakelukot: 68 °C–74 °C tai 93 °C–104 °C.

Korkeampaa lämpötilaa saadaan käyttää vain, mikäli ympäristön lämpötila sitä vaatii.

ESFR-sprinklerit asennetaan aina märkäasennuksena, ja niiden suojaus perustuu katto-rakenteeseen, jossa ei ole savunpoistoaukkoja eikä muitakaan aukkoja. Mikäli näitä aukkoja ei voida välttää, tulee niiden olla avattavissa ainoastaan manuaalisesti [CEA 4001, 2004].

ESFR-sprinklereiden suunnittelua ja enimmäiskorkeuksia esitellään taulukossa 4.4.

Taulukko 4.4. ESFR-sprinklereiden enimmäiskorkeus ja suunnittelu [CEA 4001, 2004].

Tuote (varastointitapojen vastattava kohtien L 1.4.2.2 ja L 1.4.2.3 vaatimuksia)	Suurin kattokorkeus: 9,1m (Ks. huom. 1)			Suurin kattokorkeus: 9,8m (Ks. huom. 1)		Suurin kattokorkeus: 10,6 m (Ks. huom. 1)		Suurin kattokorkeus: 12,2m (Ks. huom. 1)		
	Suurin varastointikorkeus (m) Ks.huom.6	Sprinklerin toimintapaine (bar)		Suurin varastointikorkeus (m) Ks.huom.6	Sprinklerin toimintapaine (bar)	Suurin varastointikorkeus (m) Ks.huom.6	Sprinklerin toimintapaine (bar)	Suurin varastointikorkeus (m) Ks.huom.6	Sprinklerin toimintapaine (bar)	
		K-200	K-360						K-200	K-360
Solumuovi ja vaahtokumi pahvilaatikossa (yli 15 % pahvilaatikon tilavuudesta)	7,6	3,5	1,4	7,6	4,2	Ei sovellu	Ei sovellu	Ei sovellu	Ei sovellu	Ei sovellu
Kategoriat 1, 2, 3 & 4 (Ks. huom. 2 & 3)	7,6	3,5	1,4	7,6	4,2	7,6	2,1	10,6	5,2	2,8
Paperirullat varastoituina pystyssä avoimissa tai suljetuissa ryhmissä yhteen liitettyinä tai irrallaan: raskas paperi (Ks. huom. 4 & 5)	7,6	3,5	1,4	Ks.huom.7	Ks.huom.7	Ks.huom.7	Ks.huom.7	9,1	5,2	2,8
Paperirullat varastoituina pystyssä avoimissa tai suljetuissa ryhmissä yhteen liitettyinä tai irrallaan: keskiraskas paperi ja muovipäällysteinen raskas paperi (Ks. huom. 4 & 5)	6,1	3,5	1,4	Ks.huom.7	Ks.huom.7	Ks.huom.7	Ks.huom.7	6,1	5,2	2,8
Välitasojen korkeus = 4,5 m. Kaikki hyväksyttävät varastoidut tavarat ja varastointimuodot	6 toimivaa sprinkleriä paineella 3,5 bar kun K = 200 ja paineella 1,4 bar kun K = 360 (Ks. huom. 6)									
Välitasojen korkeus > 4,5 m. Kaikki hyväksyttävät varastoidut tavarat ja varastointimuodot	Varastoidulle tavaralle ja katon (välitason) korkeudelle soveltuva paine (Ks. huom. 6)									

Huom. 1: Kattokorkeus on suurin pystysuora etäisyys mitattuna lattiasta katon tai katteen alapintaan.

Huom. 2: Muovituotteita suojattaessa on kysyttävä neuvoa viranomaisilta

Huom. 3: Kaikki muovituotteet on säilytettävä puisissa, pahvisissa tai palamattomissa laatikoissa. Solumuovia ja vaahtokumia ei saa olla enempää kuin 15 % laatikon tilavuudesta.

Huom. 4: Lukuun ottamatta kevyttä paperia

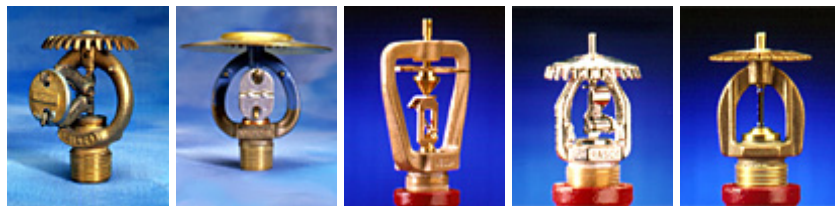
Huom. 5: Kevyt paperi – kaikki paperi, joka painaa alle 50 g/m<sup>2</sup> sekä imukykyinen paperi (esim. wc-paperi, paperipyyhkeet, ym. kertakäyttöiset imukykyiset paperituotteet) painosta riippumatta. Keskiraskas paperi – imukyvytön kova- tai pehmeäpintainen paperi, joka painaa vähintään 50 g/m<sup>2</sup> mutta vähemmän kuin 100 g/m<sup>2</sup> Raskas paperi – imukyvytön paperi tai pahvi, joka painaa vähintään 100 g/m<sup>2</sup>.

Huom. 6: Pystysuora etäisyys lattiasta sprinklerin hajottajalevyyn miinus 1 m tai taulukon arvo, jos taulukon arvo on alempi.

Huom. 7: Käytetään samoja arvoja kuin suurimman kattokorkeuden ollessa 12,2 m.

Large-Drop-sprinklerit on nimensä mukaisesti suunniteltu tuottamaan suurikokoisia pisaroita, jotka näin saavuttavat palopesäkkeen korkeissakin paloissa. Sprinklerit voidaan asentaa NFPA 13 -standardin mukaan joko kuiva- tai märkäasennuksena.

ELO-sprinklerit eivät vaadi niin suurta käyttöpainetta kuin esim. ESFR-sprinklerit. Suuren suuttimen avulla saavutetaan sama suojausala vähemmällä käyttöpaineella, joka voi olla eräs tekijä suunniteltaessa sprinkleriasennusta. Asuntosprinklerit liittyvät uuteen sprinklerikehitykseen, joissa standardoinnin pohjana (myös Suomessa) käytetään osittain NFPA 13R -standardia. Asuntosprinklauksen ideana on tuoda edullinen sprinklerijärjestelmä koteihin ja esim. palvelutaloihin, joissa ihmiset eivät kykene poistumaan omin avuin. CEA 4001:2004 -sprinklerisäännöissä luku F on kokonaan omistettu luokkien P1 ja P2 ja enintään neljä kerrosta käsittävien asuinrakennusten suojaukseen (lisää kohdassa 4.11.1). Kuvassa 4.4 esitetään tyypillisimmät sprinklerit sekä taulukossa 4.5 näiden ominaiset parametrit.



Kuva 4.4. Tyypillisimmät sprinklerityypit. Vasemmalta oikealle: tavallinen sprinkleri, Large-Drop, asunto- ja ESFR-sprinkleri, ELO (Extra Large Orifice) sekä EC-sprinkleri (Extended Coverage) [www.fmglobal.com].

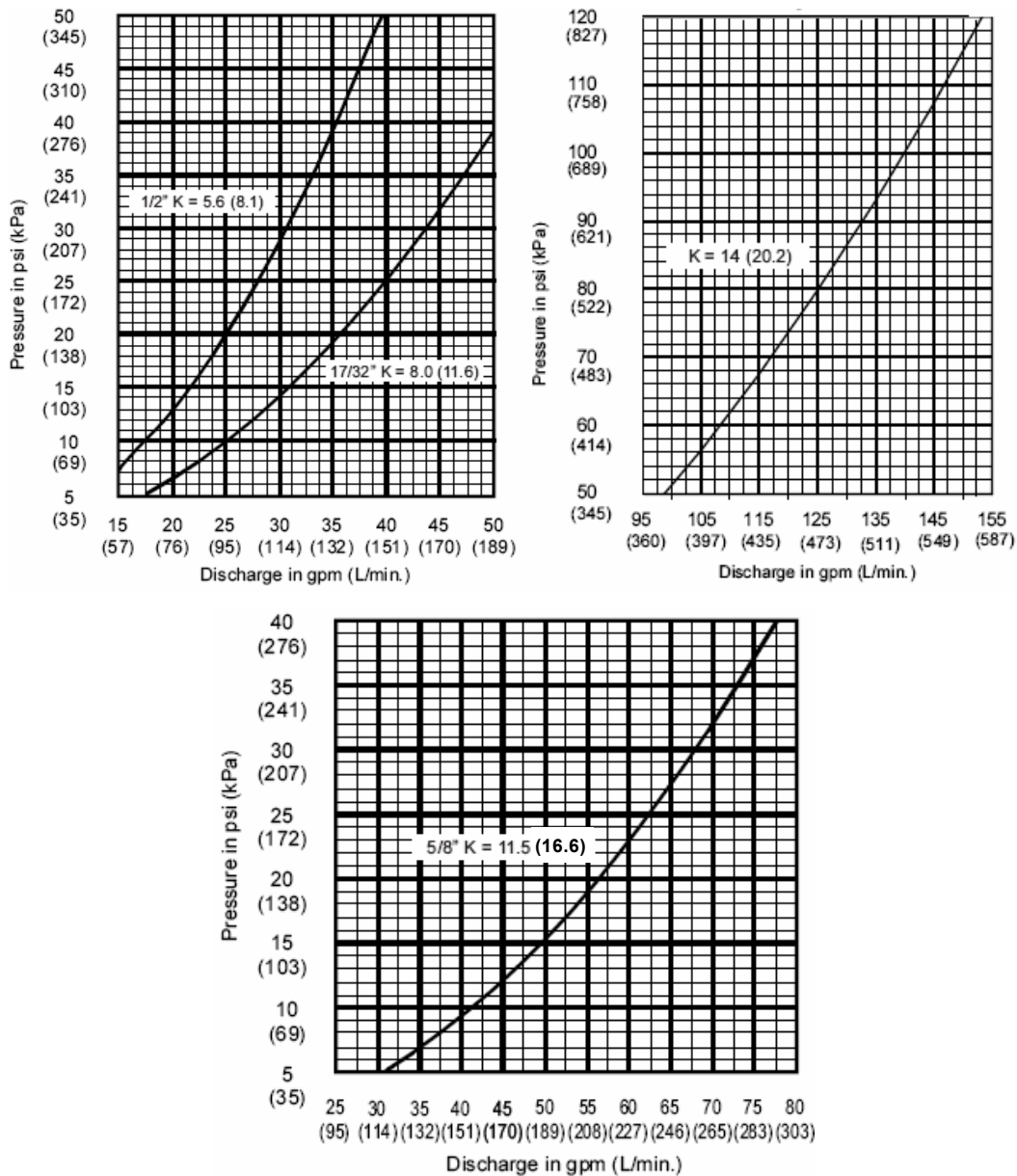
Taulukko 4.5. Eri sprinklerityyppien ominaisparametrit [Troup, 1998].

Sprinklerityyppi	Suuttimen nimellinen halkaisija, [mm]	Nimellinen K-arvo, [litraa/min/bar <sup>1/2</sup> ]	Suurin/pienin suojausala/sprinkleri, [m <sup>2</sup> ]	Minimikäyttöpaine, [bar]
ESFR	17,8	200	9,3 / 7,4	3,45
Large-Drop	16,3	160	9,3 / 7,4	1,72
ELO	16,3	160	9,3 / 6,5	0,69
Standardi 17/32"	13,5	115	9,3 / 6,5	0,28
Standardi 1/2"	12,7	81	9,3 / 4,6	0,48

Sprinklerit voidaan jakaa karkeasti pisarakoon mukaan, joka riippuu vahvasti suuttimen halkaisijasta. Suuria pisaroita tuottavien sprinklereiden etuna on niiden hyvä tunkeutumiskyky mutta haittana huono jäähtytysvaikutus (esim. piilopalot eivät sammu kovinkaan tehokkaasti). Pienillä pisaroilla tilanne on luonnollisesti päinvastainen. Pienet pisarat suojaavat tehokkaasti kattorakenteita mutta voivat samalla höyrystyessään viivyttää viereisten sprinklereiden toimintaa [NFPA, 2002].

Seuraavassa (kuva 4.5) esitetään eri sprinklerisuuttimien virtaus-paine-käyrät.



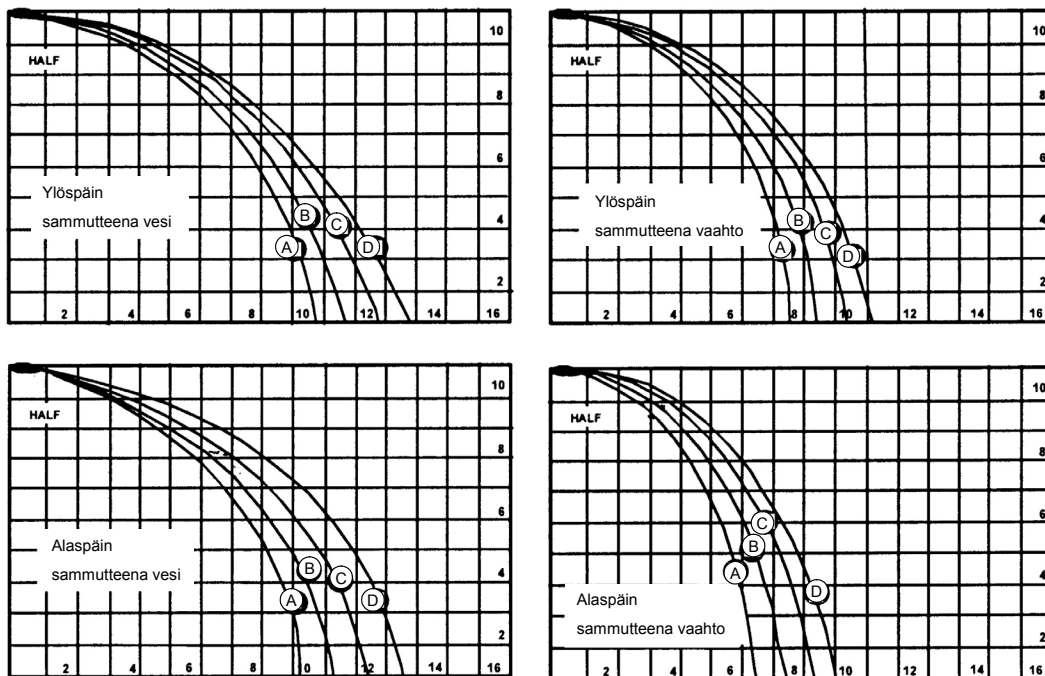


Kuva 4.5. EC- (vas. ylh.), ESFR- (oik. ylh.) sekä ELO-sprinklerisuuttimien (alh.) virtaus-paine-kuvaajat. Suluissa annettu K-arvo on yksikköä [litraa/min/kpa<sup>1/2</sup>]. Lähde: [www.kidde-fire.com](http://www.kidde-fire.com).

Vaaho-vesi-sprinklerijärjestelmät on yhdistetty vaahtokonsentraatti- ja vesisäiliöön, josta järjestelmää voidaan käyttää tuottamaan joko pelkästään vaahtoa tai vettä. Järjestelmällä voidaan myös vuorotella sammutteita käyttämällä esim. ensin vettä ja sitten vaahtoa, jonka jälkeen taas vettä. Järjestelmän suurin ero tavallisiin vesijärjestelmiin verrattuna onkin vaahtoliuoksen valmistamisessa sekä suuttimissa tapahtuvassa ilman ja liuoksen sekoittamisessa.

Tyypillisimpiä asennustapoja vaahto-vesi-sprinklereille ovat märkä- (vesi) ja kuiva-asennus sekä näiden eräänlainen välimuoto, jossa herkän lämpötunnistimen avulla hiljalleen kehittyvän palon aikana putkisto täyttyy valmiiksi vaahtoliuksella, jolloin sprinklerin lauettua purkautuukin ensimmäisenä vaahto ulos järjestelmästä. Lisäksi on olemassa järjestelmiä, joissa märkäasennuksessa käytetään putkistoissa valmista vaahtoliuosta. Nämä järjestelmät on suunniteltava niin, että ne kestävät vaahtoliuosten happamuuden sekä sakkautumisen. Putkistot on käytön jälkeen huuhdottava vedellä, jotta vaahtoliuosjäämät saataisiin pois [NFPA 16, 2003].

Kuvasta 4.6 nähdään, miten suuttimen asennustapa (suutin ylöspäin tai alaspäin) sekä käytetty sammute (vaahtoliuos tai pelkkä vesi) vaikuttavat suihkun kantamaan käytössä eri paineita.



Kuva 4.6. Vaahto-vesi-sprinklereiden suuttimien asennustavan sekä käytetyn sammutteen vaikutus suihkun kantamaan eri paineilla: 2 (A), 3,1 (B), 4,5 (C) sekä 5,5 bar (D).  
Lähde: [www.kidde-fire.com](http://www.kidde-fire.com).

Vaahtoliuksen valmistustapoina vaahto-vesi-sprinklerijärjestelmä hyödyntää samoja periaatteita kuin kohdassa 4.4, jossa käsitellään vaahtolaitteistoja.

Laivojen osalta sprinklerijärjestelmissä on tiettyjä eroja maapuolen järjestelmiin nähden, sillä esim. kaikki asennukset on tehtävä märkäasennuksina, paitsi saunatilat sekä luvanvaraiset poikkeukset. Meri-ilma-asettaa myös vaatimuksia komponenttien ruostesuojaukselle [IMO, 2001].

## 4.2 Vesipohjaiset järjestelmät

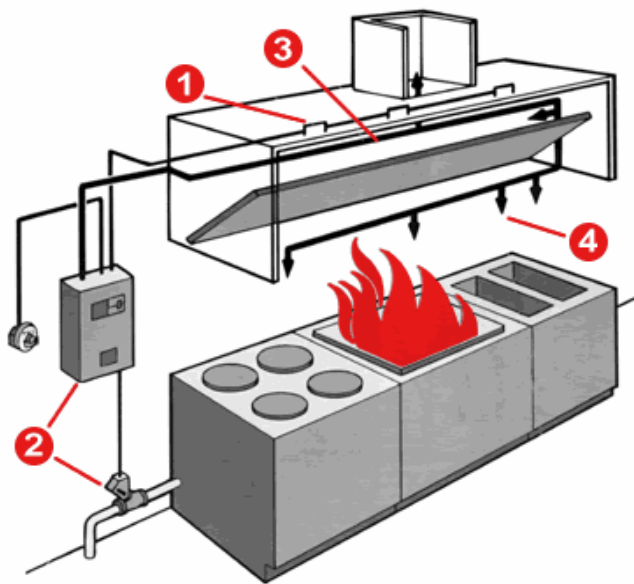
Vesipohjaisissa järjestelmissä (*wet chemical extinguishing systems*) sammute virtaa suutinten läpi paineistetun kaasun työntämänä. Wet chemical -järjestelmät on tarkoitettu lähinnä ravintoloiden keittiötiloihin, jolloin niiden suorituskyky testataan UL 300-standardin (*Fire Testing of Fire Extinguishing Systems for Protection of Restaurant Cooking Areas*) mukaisesti.

Sammutteena käytetään samoja yhdisteitä kuin on mainittu taulukossa 2.15 sivulla 31. Sammutteet ovat yleisesti ottaen kaliumkarbonaatti-, kaliumasetaatti- tai kaliumsitraatipohjaisia tai näiden sekoituksia [NFPA 17A, 2002]. Niiden sammutusvaikutus perustuu palavan pinnan päälle muodostuvaan, hapesta eristävään vaahtokerrokseen. Sammutte suihkuu sprayna palavan nesteen pinnalle ja muodostuu vaahtoksi (saippuoituu) vasta kemiallisen reaktion jälkeen. Sammute vaikuttaa myös jonkin verran termisesti ja jäähdyttää näin paloa.

Eräitä tällaisia kaupallisia järjestelmiä ovat mm. Ansul-yhtiön R-102 ja PIRANHA-järjestelmät sekä Bagder Fire Protection -yhtiön Range Guard.

Seuraavassa esitetään Ansul-yhtiön R-102-järjestelmän toimintaperiaate (kuva 4.7):

1. Paloilmamaisimet havaitsevat palon.
2. Erillinen järjestelmä paineistaa sammutesäiliön sekä sulkee keittoalustan energiaansaannin.
3. Putkistoa pitkin kulkeva sammute suihkutetaan keittolevyille sekä poisto- ja tuuloilmakanaviin.
4. Sammute ohjautuu suuttimista sumukartiona kohteisiin ja sammuttaa palon muutamassa sekunnissa.



Kuva 4.7. R-102 Fire Suppression System (Ansul). Numeroiden tapahtumat on selitetty tekstissä [www.ansul.com].

R-102-järjestelmään on saatavissa 5,7 ja 11,4 litran sammutesäiliöitä, joiden käyttöpainne on 6,9 baria.

Ansul-yhtiön PIRANHA-järjestelmän (ns. hybridijärjestelmä) toimintaperiaate on sama, mutta siinä käytetään kahta sammutetta: vesipohjaista PRX-liuosta sekä vettä. Näistä liuos purkautuu ensiksi ja peittää liekit vahtokerroksen alle muutamassa sekunnissa, minkä jälkeen vesisumu jäähdyttää kohdetta sekä ympäristöä. Tällä tavoin saadaan esimerkiksi palava rasva jäähdytettyä muutamassa minuutissa alle itsesyttymisrajan. Tämä on Ansul-yhtiön tietojen mukaan noin 15 kertaa nopeampi tapahtuma verrattuna tavallisiin vesipohjaisiin järjestelmiin.

PIRANHA-järjestelmää on saatavana kolmena eri kokona:

- PIRANHA-7: 3,4 m:n huuvalle, jossa 7 suutinta ja 5,6 litran sammutesäiliö
- PIRANHA-10: 4,6 m:n huuvalle, jossa 10 suutinta ja 8,5 litran sammutesäiliö
- PIRANHA-13: 5,8 m:n huuvalle, jossa 13 suutinta ja 11,3 litran sammutesäiliö.

Järjestelmään kuuluvia vesisäiliöitä on kahta eri kokoa: 114 ja 151 litraa. Sammutesäiliöiden käyttöpainne on 10,3 baria ja vesisäiliöiden vastaavasti 5,2 baria.

Vesipohjaisten sammutusjärjestelmien etuja (+) ja haittoja (–) ovat mm.

- + nopea sammutuskyky varsinkin ruokaöljypaloissa
- + pienet jälkisiivouskustannukset
- + käytettävien liuosten säilyvyys noin 10 vuotta
- liukset yleensä syövyttäviä
- lämpötilarajoitus: järjestelmän toiminta käytännössä tiloissa, joissa  $T > 0\text{ °C}$
- sammutteen rajallinen määrä.

### 4.3 Vesivalelu

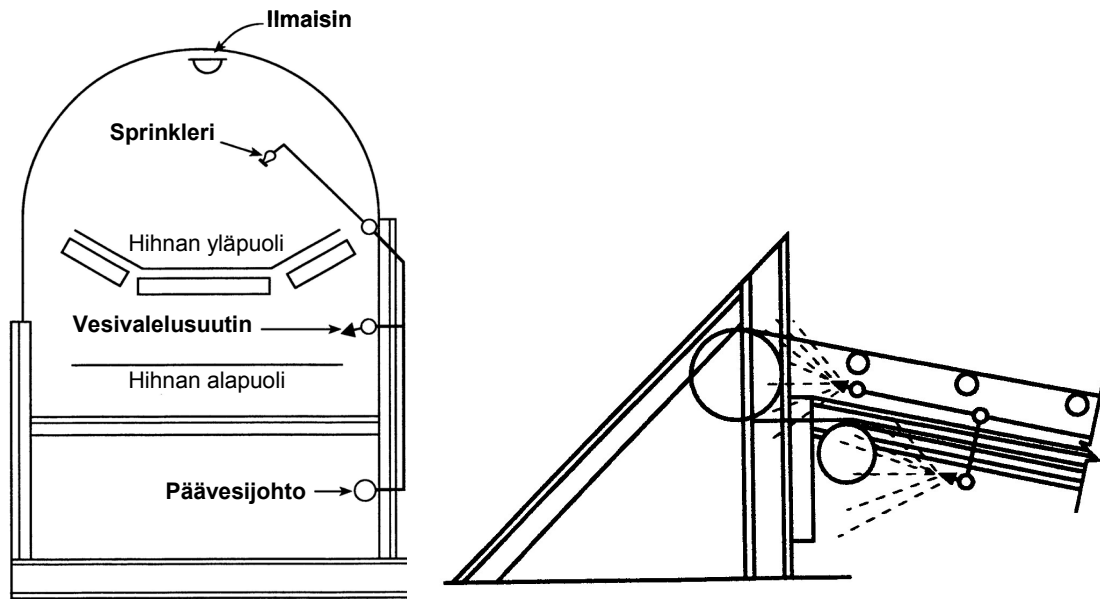
Vesivalelujärjestelmät ovat luonteeltaan suuren paloriskin omaavien kohteiden suojausmenetelmä. Järjestelmän tulisi toimia joko yhtenä seuraavista tavoista tai niiden kombinaationa: palon sammuttaminen, palon hallinta sekä säteilylämmöltä suojaaminen [NFPA 15, 2001].

Vesivalelujärjestelmän mitoittaminen riippuu paljon suojattavasta kohteesta, sen koosta, palavan materiaalin laadusta sekä mahdollisesta palon leviämisen aiheuttamasta riskistä. Tyypillinen vesivuontiheys vesivalelujärjestelmällä on noin 6,1–20,4 l/min/m<sup>2</sup>. Järjestelmän on kestävä vähintään 12 barin käyttöpainetta. Taulukossa 4.6 on suojattavien kohteiden vaatimat vähimmäisvesivuontiheydet.

*Taulukko 4.6. Vesivalelujärjestelmällä toteutetun suojauksen esimerkkikohteita sekä näiden vaatimat minimivesivuontiheydet [NFPA 15, 2001].*

Suojattava kohde	Vesivuontiheys, litraa/min/m <sup>2</sup>
kaapelit	6,1
liukuhihnat	10,2
pumput, kompressorit	20,4
palavat nestealtaat	12,2
teräspalkit	4,1
teräspilarit	10,2

Kuvassa 4.8 esitetään tyypillinen liukuhinnan suojaus sekä vesivalelujärjestelmällä että sprinklerillä.



Kuva 4.8. Katetun liukuhihnan suojaus hihnan yläpuolelta ja alapuolelta (vasen) sekä liukuhihnan nousun suojaus kahdella vesivalelusuuttimella (oikea) [NFPA 15, 2001].

Vesivalelujärjestelmin kuuluu myös ns. *ultra-high speed* -järjestelmä, jossa laukaisu tapahtuu vähintään 100 ms:n kuluessa (normaalin 40 s:n sijasta). Järjestelmät ovat ennen kaikkea nopeasti palavien materiaalien kohdesuojaus, jossa minimivesivuo on 2 litraa/min/m<sup>2</sup> ja käyttöpaine vähintään 3,5 baria. Järjestelmää ei tule käyttää suljetussa tilassa, jossa voi olla mahdollisuus räjähdysenomaiseen paloon [NFPA 15, 2001].

Vesivalelujärjestelmissä ilmaisimina käytetään tavallisia termisiä elementtejä mutta myös palavien kaasujen pitoisuuteen reagoivia ilmaisimia [NFPA 15, 2001].

#### 4.4 Vaahtolaitteistot

Vaahtoa käytetään hyvin paljon ennen kaikkea liikkuvassa palontorjunnassa, joten on luontevinta aloittaa vaahtolaitteistojen käsittely tästä aihepiiristä.

Eri vaahtoja, joita kohdassa 2.2.3 käsiteltiin, voidaan kaikkia valmistaa samoin periaattein. NFPA-standardeissa 1145 ja 1150 käsitellään pelkästään A-vaahtoja, joiden on todettu olevan liikkuvan palontorjunnan yksi käytetyimmistä sammutteista.

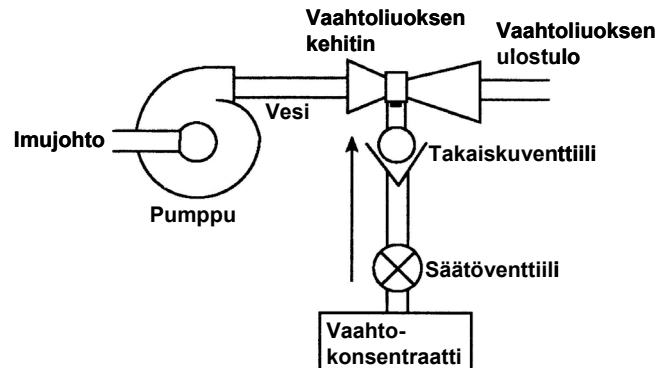
Vaahtoliuos voidaan valmistaa joko niin, että siihen liittyy paljon automatiikkaa, tai sitten perinteisillä keinoilla. Sekoittamisessa tärkeintä on vaahtokonsentraatin ja veden seoksen oikean suhteen säätäminen joko käyttäjän (manuaalinen) tai järjestelmän (automaattinen) määrittämänä. Näistä ensin mainittuun kuuluvat: in-line, pumpun imupuo-

lolla tapahtuva (*Intake Side Regulator*) sekä pumpun ympäri kierrättämällä tapahtuva sekoittaminen (*Around-the-Pump proportioning*). Automaattiseen sekoittamiseen perustuvat sekoitusmenetelmät ovat puolestaan: paineen tasoittamiseen perustuvat (*Balanced-Pressure Bladder Tank System* ja *Balanced-Pressure Pump System*), elektronisesti säädelty suora injektointi (*Electronically Controlled Direct-Injection System*) sekä veden voimalla tapahtuva injektointi (*Water-Powered Injection System*) [NFPA 1145, 2000].

#### 4.4.1 Manuaalisesti säädellyn vaahtoliuoksen valmistus

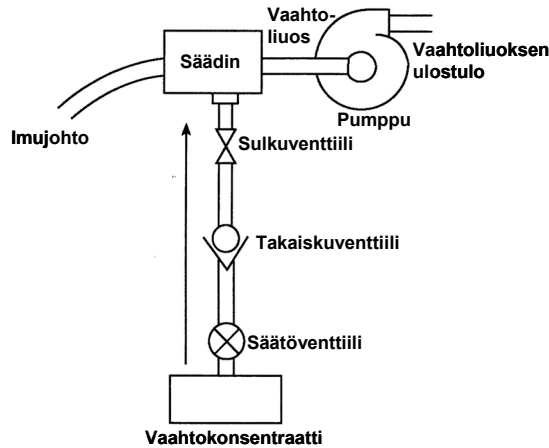
Manuaalisesti tapahtuvassa vaahtokonsentraatin ja veden sekoittamisessa käyttäjä huolehtii oikeasta seossuhteesta, kun järjestelmän virtausnopeudet tai paineet muuttuvat.

*In-line*-sekoituksessa (kuva 4.9) veden pumppaamisella aiheutetaan alipaine, jonka voimalla vaahtokonsentraatti kulkeutuu kehittimeen. Kehittimessä vaahtokonsentraatti sekä vesi sekoittuvat vaahtoliuokseksi. Konsentraatin määrää annostellaan sopivaksi säätöventtiilin avulla. *In-line*-sekoittajia on myös ns. *by-pass*-sovellutuksina, joissa sammuttaja voi valita sammutteeksi joko veden tai vaahtoliuoksen. Virtausnopeuden pitäisi olla sama suihkuputken päässä kuin mitä se on vaahtoliuoksen kehittäjänsäkin (*eductor*). Tämä tulisi ottaa huomioon käytettäessä eri suuttimia.



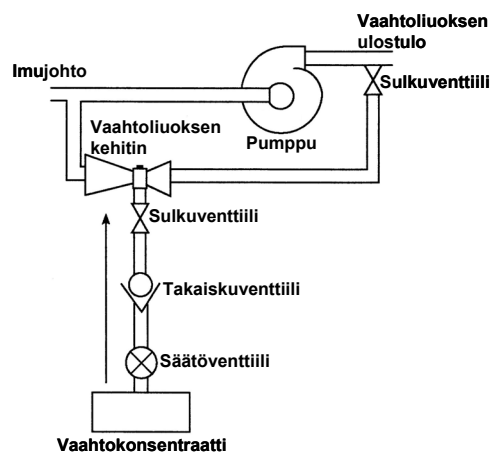
Kuva 4.9. Vaahtoliuoksen *in-line*-sekoittaminen [NFPA 1145, 2000].

Pumpun imupuolella tapahtuvassa sekoittamisessa (kuva 4.10) pumpun imuvirtaus imee sekä vettä että säännöstellyn määrän vaahtokonsentraattia suoraan pumpulle. Säätimessä on oltava mekanismi tasoittamaan veden virtauksessa tapahtuvat muutokset.



Kuva 4.10. Pumpun imupuolella tapahtuva vaahtoliuoksen sekoittaminen [NFPA 1145, 2000].

Pumpun ympäri kierrättämällä tapahtuvassa sekoituksessa (kuva 4.11) vaahtoliuoksen kehitin on asennettu imupuolen ja ulostulon väliin. Pieni osa vedestä pumpun ulostulossa kiertää sulkuventtiilin kautta takaisin kehittimelle, jossa alipaine imee vaahtokonsentraattia ja sekoittaa sen vaahtoliukseksi. Liuos jatkaa matkaansa näin edelleen pumpun imupuolelle ja siitä ulostuloon. Tässä menetelmässä käyttäjän pitää säätää seos manuaalisesti sopivaksi.



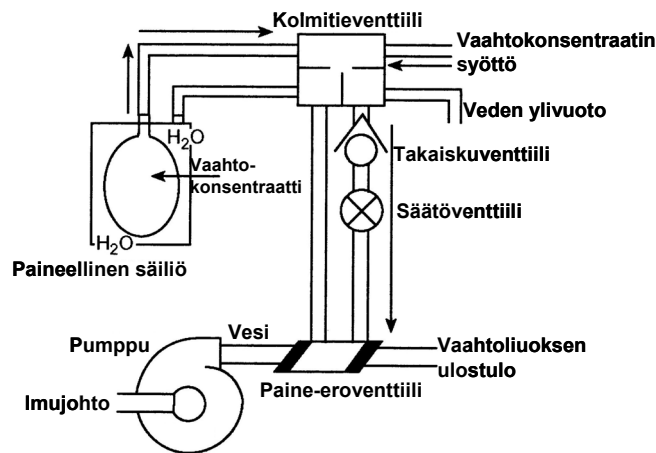
Kuva 4.11. Pumpun ympärillä tapahtuva vaahtoliuoksen valmistus [NFPA 1145, 2000].



#### 4.4.2 Automaattisesti säädellyn vaahtoliuoksen valmistus

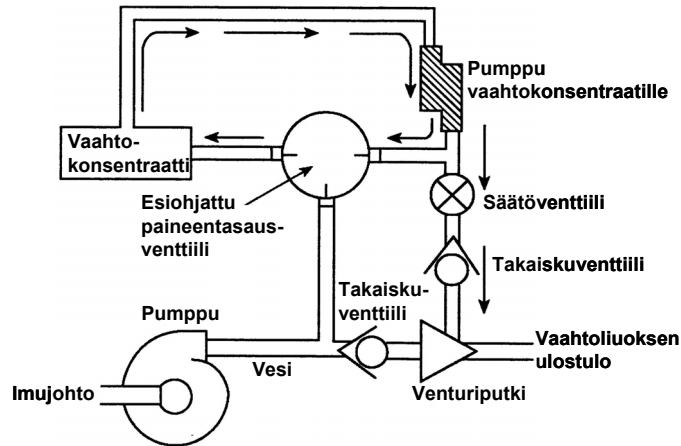
Automaattisesti tapahtuva säätömekanismi voi perustua veden virtausnopeuden muutokseen, paine-eroon tai sähkönjohtavuuden muutokseen.

*Balanced-Pressure Bladder Tank System* (kuva 4.12) kierrättää pienen osan vedestä pumpun ulostulosta suoraan painesäiliöön. Säiliössä konsentraattia sisältävän "kuplan" ympärillä oleva vesi kohdistaa paineen konsentraattiin, josta se virtaa edelleen kolmitieventtiin kautta säätöventtiilille. Veden virtausnopeus vaikuttaa suoraan veteen sekoittuvan vaahtokonsentraatin määrään.



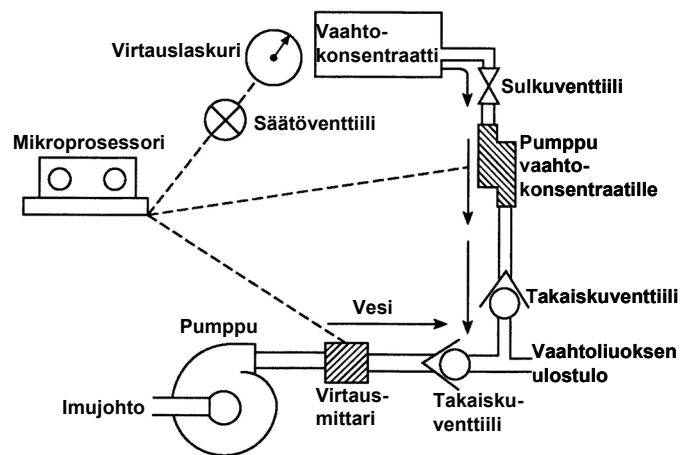
Kuva 4.12. Paineen tasaukseen perustuvan vaahtokonsentraatin valmistaminen [NFPA 1145, 2000].

*Balanced-Pressure Pump System* -järjestelmässä (kuva 4.13) esiohjattu paineentasausventtiili tai kalvoventtiili säätelee vedenpaineen mukaan konsentraatin ja veden seoksen. Vaahtokonsentraatti sekä vähäinen vesimäärä pumpataan edelleen säätöventtiilin kautta venturiputkeen, jossa lopullinen vaahtoliuos muodostuu.



Kuva 4.13. Paineen tasaukseen perustuvan vaahtoliuoksen valmistus erillistä, konsentraatille tarkoitettua, pumppua apuna käyttäen [NFPA 1145, 2000].

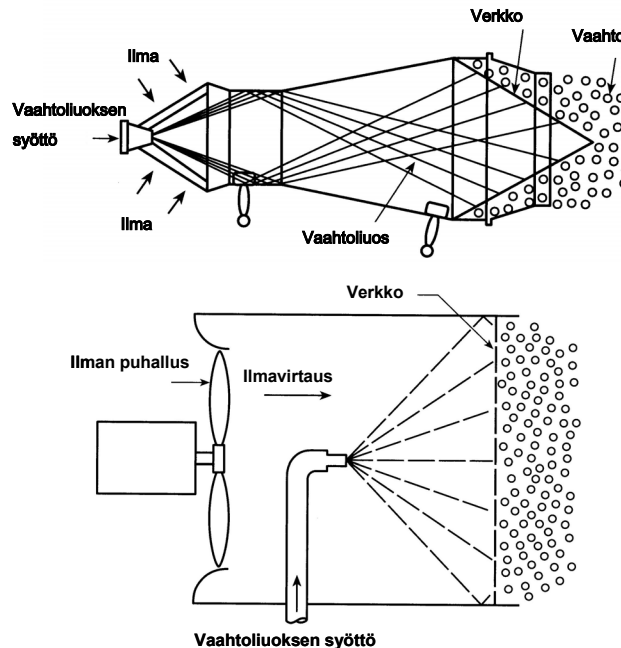
Sähköisesti säädellyssä suorassa injektioinnissa (kuva 4.14) vaahtokonsentraattia lisätään veden sekaan tarkkailemalla virtausnopeutta tai sen sähkönjohtavuutta. Mikroprosessori säätää säätöventtiiliä sen mukaan, mikä on esim. virtausnopeus konsentraatti- ja vesipumpulla, jotta oikea seos saavutetaan. Ilman elektroniikkaa tapahtuvassa injektioinnissa (*Water-Powered Injection System*) vesipumppu ohjaa myös vaahtokonsentraattipumppua oikean seossuhteen saavuttamiseksi.



Kuva 4.14. Elektronisesti säädely suora injektointi vaahtoliuoksen valmistamiseksi [NFPA 1145, 2000].

#### 4.4.3 Vaahdon valmistus

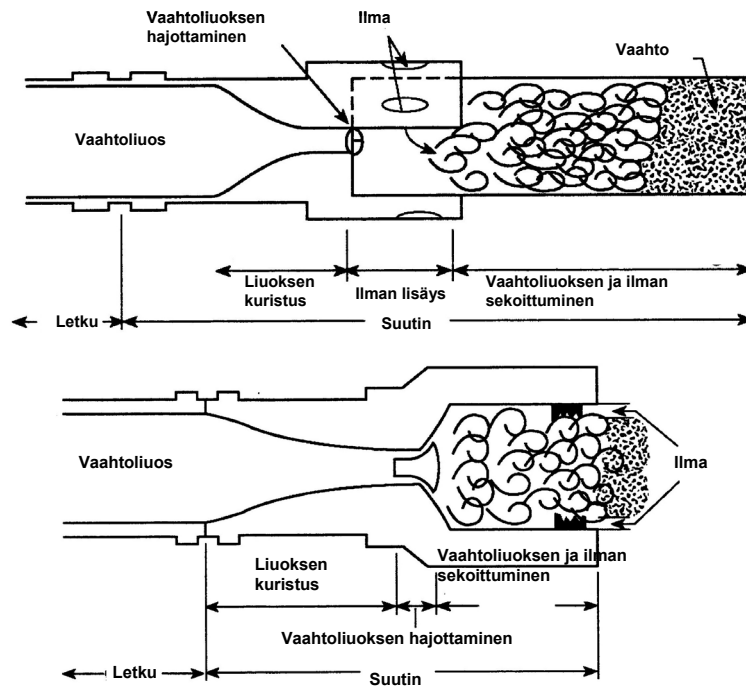
Liikkuvassa palontorjunnassa keskivaahtojen ja raskasvaahtojen valmistus tapahtuu niin, että vahtoliuos johdetaan lähes sumuna kohti verkkoa, jossa se matkallaan sekoittuu ilman kanssa ja muodostaa näin vaahtoa. Kuvassa 4.15 esitetään kaksi periaatetta, joilla keski- ja kevytvaahtoa voidaan muodostaa.



Kuva 4.15. Ilmasekoitteisen (aspirating) vaahdon valmistus (ylhäällä) ja ilman puhaltamiseen (blower) perustuva vaahdon valmistus [NFPA 11, 2002].

Ilman puhaltamiseen perustuvassa menetelmässä ilman vaahdon tuottaminen voi vaatia ulkoisen energialähteen, kun taas ilmasekoitteisessa menetelmässä liuossumun liikemäärällä muodostetaan tarvittava ilmavirtaus. Ilmasekoitteisella menetelmällä voidaan valmistaa vaahtoa aina vaahtoluvulle 250 saakka [NFPA 11, 2002].

Raskasvaahtojen, käytännössä A-vaahtojen, valmistuksessa puhutaan matala- ja korkea-energiajärjestelmistä, joista ensin mainittuun kuuluvat ei-ilmasekoitteinen sekä ilmasekoitteinen valmistustapa ja jälkimmäiseen CAFS (*Compressed Air Foam Systems*). Ei-ilmasekoitteisessa (*nonaspirating*) menetelmässä vaahtoliuokseen ei sekoiteta suuttimen sisällä ilmaa, joten sen olomuoto on hyvin nestemäinen. Ilmasekoitteisessa menetelmässä raskasvaahtojen osalta suuttimen halkaisija on selvästi pienempi kuin esim. keskivaahtoja tuotettaessa. CAFS-menetelmässä vaahtoliuos sekä korkeapaineistettu ilma johdetaan yhdessä vaahtoletkuun. Kuvassa 4.16 esitetään raskasvaahtojen muodostumisperiaate suuttimen sisällä.



Kuva 4.16. Raskasvaahtojen muodostamiseen käytettäviä ilmasekoitteisia suuttimia [NFPA 1145, 2000].

Ainoa korkeaenergiajärjestelmä on CAFS, joka poikkeaa hyvin paljon muista järjestelmistä siinä mielessä, että vaahto muodostuu jo itse järjestelmän sisällä eikä näin vaadi esimerkiksi suuttimilta muita ominaisuuksia. Sen sijaan käytettäessä esimerkiksi yhdistelmäsuuttimia heikennetään vaahtoon ominaisuuksia, koska nämä suuttimet poistavat myös jonkin verran ilmaa vaahtosta ja vaahtosta tulee vetisempi. Mitä suurempaa suuttimen halkaisijaa käytetään, sitä kuivempaa vaahtoa saadaan. Lisäksi CAFS-vaahtoja käytettäessä letkun paino vähenee oleellisesti, ja näin ollen sen käsiteltävyys paranee.

NFPA 11 -standardi käsittelee raskas-, keski- ja kevytvaahtojen käyttöä palavia nesteitä sisältävien suurien säiliöiden ulko- ja sisäosissa. Järjestelmiä on neljä, ja ne on jaettu kiinteisiin, puolikiinteisiin, liikuteltaviin sekä käsikäyttöisiin järjestelmiin.

Kiinteiden ja puolikiinteiden järjestelmien erona on se, että vaahtoon valmistukseen käytettävä laitteisto voi puuttua puolikiinteästä kokoonpanosta, joka tuodaan paikalle palon syyttyä. Molemmissa tapauksissa säiliöön on rakennettu kiinteä putkisto, suuttimet jne.

Liikuteltava vaahtojärjestelmä sisältää minkä tahansa vaahtokokoonpanon, joka on asennettu liikkuvalla alustalle (pyörien päälle), jossa se voi liikkua itsestään tai hinaten. Järjestelmään liitetään ulkoinen vesilähde tai esisekoitettu vaahtoliuossäiliö. Käsikäyt-

töisiin (käsisammuttimiin) kuuluvat ne sammuttimet, joissa koko järjestelmä on rakennettu niin, että koko paketti voidaan kuljettaa kädessä.

Standardissa käsitellään käytännössä kahdenlaisiin säiliöiden kattorakenteisiin, kiinteisiin ja kelluviin, perustuvia suojausmenetelmiä.

Kiinteiden kattorakenteiden tapauksessa sammutustavat vaahtotykkien ja -letkujen lisäksi ovat säiliöihin asennetut kiinteät suuttimet, säiliön sisäpuoliset suuttimet sekä pinnan alta injektoimalla tapahtuva sammuttaminen.

Suuttimien pitää olla tasaisin välein ympäri tankkia, ja niiden virtausnopeuksien on oltava samaa luokkaa keskenään. Suuttimien pitää olla asennettu niin, ettei polttoaine pääsee läiskymään tai vuotamaan suuttimiin ja putkiin.

Suutinten lukumäärän, säiliön halkaisijan mukaan, tulee olla taulukon 4.7 mukainen.

*Taulukko 4.7. Kiinteillä suuttimilla suojattujen polttoainesäiliöiden vaadittavat suuttimäärät säiliön halkaisijan mukaan [NFPA 11, 2002].*

Säiliön halkaisija, m	Minimimäärä suuttimia
< 24	1
24–36	2
36–42	3
24–48	4
48–54	5
54–60	6
aina seuraavaa 456 m <sup>2</sup> kohti yksi lisäsuutin	

Vaahtojärjestelmän minimitoiminta-ajat ovat puolestaan taulukossa 4.8.

Taulukko 4.8. Kiinteillä suuttimilla suojattujen polttoainesäiliöiden vaadittavat suutinten virtausnopeudet sekä minimitoiminta-ajat [NFPA 11, 2002].

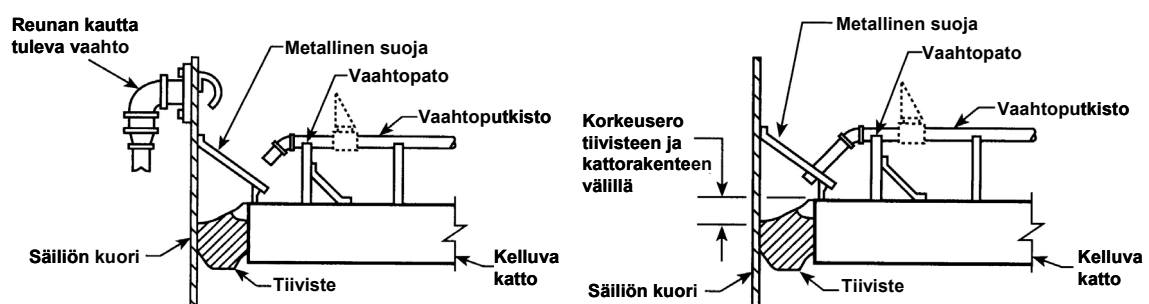
Leimahduspiste, °C	Vesivuo, litraa/min/m <sup>2</sup>	Minimitoiminta- aika, min	
		<sup>1</sup> Tyyppi I	<sup>2</sup> Tyyppi II
> 93,3	4,1	15	25
37,8 - 60	4,1	20	30
< 37,8	4,1	30	55
raakaöljy (-7...32)	4,1	30	55

<sup>1</sup> Tyyppi I suuttimella vaahto ei uppoa eikä myöskään aiheuta kuohuntaa.

<sup>2</sup> Tyyppi II suuttimella voi esiintyä em. ilmiöitä mutta vähäisessä määrin.

42 m halkaisijaltaan olevista säiliöistä on hyvin vähän käytännön kokemusta, joten tätä suurempien säiliöiden sammutuslaskelmat on tehty ekstrapoloinnilla pienempien mitta-kaavan kokeiden pohjalta. Testit ovat osoittaneet, että vaahto voi kulkeutua 30 m vapaasti palavan polttoaineen pinnalla. Suurten, yli 60 metrin halkaisijan omaavien säiliöiden sammutukseen voidaan käyttää polttoaineen pinnan alapuolelta tulevaa injektointia. Pinnan alta suoritettua sammuttamista (injektointia) ei suositella nesteille, joiden viskositeetti on suurempi kuin em. 440 cst. Lisäksi sekoitussuhteen pitää olla välillä 2:1 ja 4:1 käytettäessä FP- AFFF- ja FFFP-vaahtoja pinnan alta tapahtuvassa injektoinnissa [NFPA 11, 2002].

Käsityksen kelluvien kattorakenteiden suojaustavoista antaa kuva 4.17, jossa pyritään suojaamaan vaahdolla kattorakenteen reuna-alue. Tämän vuoksi järjestelmän veden tarve ja toiminta-aika (ks. taulukko 4.9) ovat pienet. Erittäin harvinaisia ovat palot, joissa tuli on levinnyt kauttaaltaan koko kattopinta-alalle; tällöin sammutus tulisi suorittaa manuaalisin keinoin eli vaahtoletkuin tai -tykein.



Kuva 4.17. Kelluvan kattorakenteen suojaaminen metallisen suojan ylä- (vasen) ja alapuolelta (oikea) [NFPA 11, 2002].

Taulukko 4.9. Kuvaan 4.17 liittyvien suojaustapojen mitoitusparametreja [NFPA 11, 2002].

Suojaamistapa	Vesivuo, litraa/min/m <sup>2</sup>	Minimitoiminta- aika, min	Suurin suutinväli	
			305 mm vaahtopato	610 mm vaahtopato
metallilevyn yläpuolelta	12,2	20	12,2	24,4
metallilevyn alapuolelta	12,2	20	12,2	24,4

## 4.5 Jauhejärjestelmät

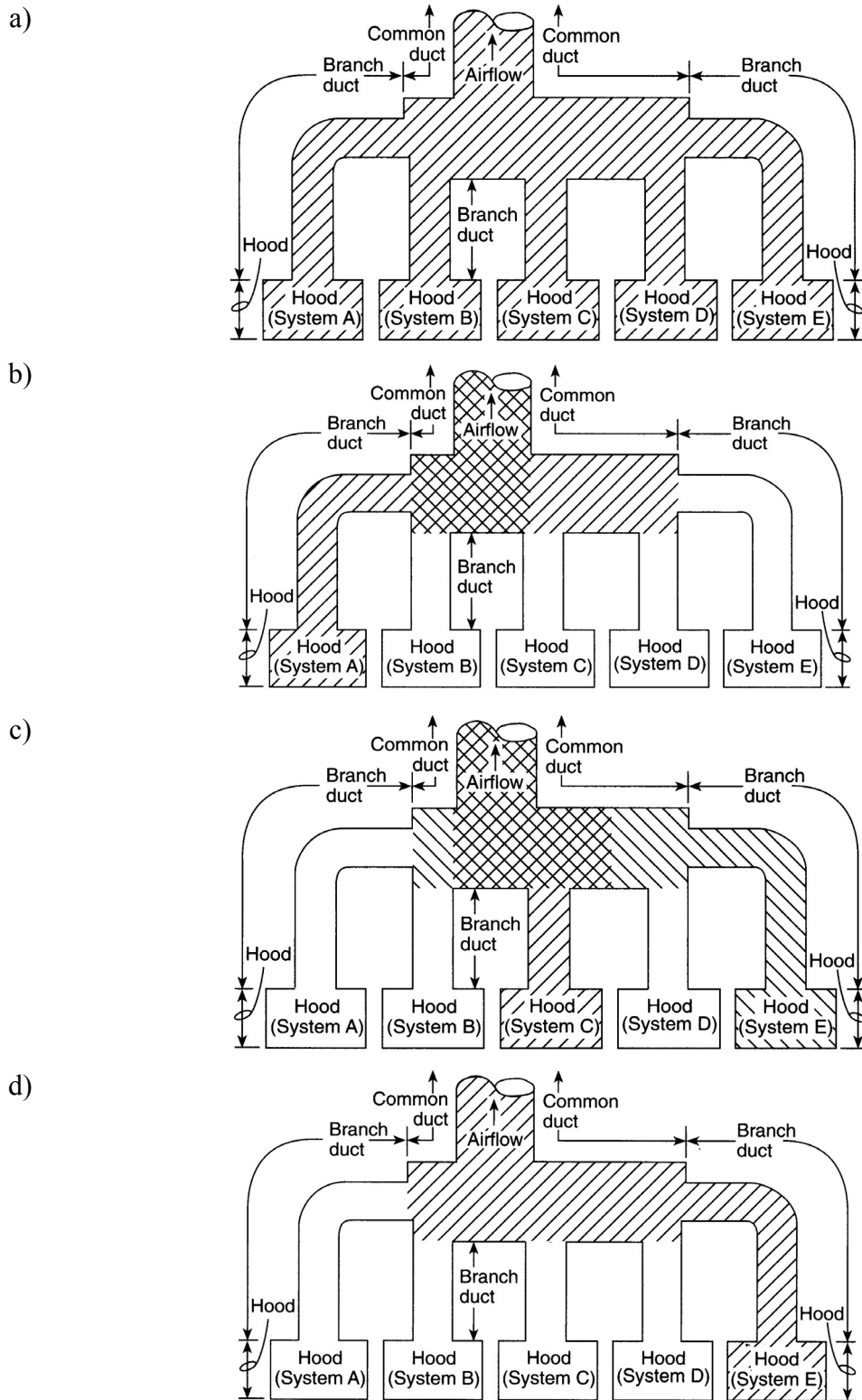
Jauhejärjestelmät voivat toimia joko kohde- tai tilasuojauksessa tai näiden kombinaationa. Lisäksi rakennuksissa olevat erilliset jauhesäiliöllä varustetut letkut (*hand hose line*) mainitaan myös NFPA 17 -standardissa kuuluvaksi jauhejärjestelmiin.

Jauhejärjestelmien suorituskyky testataan myös UL 300:n mukaan, mikäli järjestelmällä pyritään suojaamaan keittiötiloja (ravintolat ym.). Muussa tapauksessa testit tulee suorittaa UL 1245 -standardin mukaisesti.

Eräs tällaisista järjestelmistä on Ansul-yhtiön IND-XTM Industrial Fire Suppression System, jossa voidaan käyttää eri sammutetta erityyppisten palojen torjuntaan. Ponnekaasuna järjestelmä käyttää tyypeä paineen ollessa 31 baria.

Useiden rinnakkain tai erikseen toimivien järjestelmien, joissa suojataan keittiötiloja, toimintaperiaate on sama kuin vesipohjaisilla järjestelmilläkin:

- a) *Yksittäin toimivat sammutusjärjestelmät – skenaario*: Palo on havaittu järjestelmässä A, jolloin järjestelmä A suojaa siihen kuuluvan huuuvan (*hood*) ja hormin (*duct*). Samaan aikaan kytkeytyvät päälle myös järjestelmät B, C, D ja E (Kuva 4.18a).
- b) *Samanaikaisesti toimivat sammutusjärjestelmät – skenaario 1*: Erillinen järjestelmä 1 suojaa yleistä hormiosaa (*common duct*). Palo havaitaan järjestelmässä A, jolloin järjestelmä A sekä 1 toimivat samanaikaisesti (Kuva 4.18b).
- c) *Samanaikaisesti toimivat sammutusjärjestelmät – skenaario 2*: Järjestelmä E suojaa myös yleistä hormiosaa. Palo havaitaan järjestelmässä C, jolloin järjestelmät C ja E toimivat samanaikaisesti (Kuva 4.18c).
- d) *Samanaikaisesti toimivat sammutusjärjestelmät – skenaario 3*: Järjestelmä E suojaa yleistä hormiosaa. Jos palo havaitaan järjestelmässä E, vain tämä järjestelmä osallistuu suojaukseen (Kuva 4.18d).



Kuva 4.18. Jauhe- ja vesipohjaisen järjestelmän toimintaperiaate [NFPA 17A, 2002 ja NFPA 17, 2002].



Jauhejärjestelmän etuja (+) ja haittoja (–) ovat mm.

- + sammutuskyky A-, B-, C- ja F-paloluokkia vastaan
- + myös kylmien tilojen (alle 0 °C) suojauksen mahdollistaminen
- + sammutteiden säilyminen pitkään
- näkyvyyden heikkeneminen järjestelmän toimiessa
- suuret jälkisiivouskustannukset
- jauhepölyn vaikutus järjestelmän sijoittamiseen esim. elintarvikelaitoksiin
- sammutustehon heikkeneminen, mikäli suuria ilmavirtauksia samoissa tiloissa
- sammutteen rajallinen määrä.

## 4.6 Vesisumu

Vesisumujärjestelmä on selkeästi ainoa vesisammutusjärjestelmä, joka pystyy hyödyntämään tehokkaimmin kaikkia veden sammuttavia mekanismeja: jäädytystä, happipitoisuuden laimentamista sekä säteilylämmöltä suojaamista. Vesisumu tuottaa nimensä mukaisesti pieniä pisaroita, jotka sellaisenaan absorboivat säteilyä sekä höyrystyvät tehokkaasti. Näin ne jäädyttävät palotilaa ja sysäävät happipitoisen ilman syntyvän höyryn mukana pois palotilasta [Tuomisaari, 1996].

NFPA 750 -standardi mainitsee vesisumujärjestelmien soveltuvan palon sammuttamisen (*extinguishment*) lisäksi palon rajoittamiseen (*suppression*), palon hallintaan (*control*), ympäristön lämpötilan hallintaan sekä säteilyn absorboimiseen (*exposure*). Palon hallinnan ja rajoittamisen erona tässä yhteydessä on rajoittamiseen liittyvä äkillinen palotehon lasku ja sen pitäminen matalalla tasolla, kun taas hallintaan liittyvät palon leviämisen estäminen sekä ympäristön suojeleminen.

Vesisumujärjestelmä ei sovellu kuitenkaan sellaisille materiaaleille, jotka reagoivat veden kanssa muodostaen haitallisia yhdisteitä. Näitä aineita ovat reaktiiviset metallit (Li, Na, K, Mg, Ti, Zr, U ja Pu), metallialkoksidit, metalliamiinit, karbidit, halidit, hydridit, silaanit, sulfidit ja syanaatit [NFPA 750, 2003].

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).

Yleisesti vesisumujärjestelmää suunniteltaessa on otettava huomioon seuraavat neljä parametria [NFPA 750, 2003]:

- Suojausjärjestelmän laatu (kohde-, tila- vai tilasuojauksen osa): Tilasuojauksen osana suuttimet voivat toimia ryhmässä ja suojata näin vain tietyn alan tilasta.
- Suuttimen laukaisu (automaattinen, ei-automaattinen ja hybridi): Automaattiset suuttimet toimivat toisista riippumatta, kun taas ei-automaattiset (avoimet) suuttimet toimivat ryhmässä ja toimivat järjestelmän ulkopuolisen laukaisujärjestelmän mukaan. Hybridisuuttimet toimivat molemmilla em. tavoilla.
- Järjestelmän asennustapa (märkä, kuiva, ennakoiva tai jatkuva tuotto): Putkissa on paineistettua ilmaa, tyypeä tai vettä (märkäasennus), joka purkautuu automaattisesti toimivien suuttimien lauettua. Suuttimet voivat olla myös avonaisia, jolloin laukaisu tapahtuu erillisen ilmaisinjärjestelmän kautta.
- Sumun tuottotapa (yksi- tai kaksifaasisuuttimet): Yksifaasisuuttimia ovat mm. törmäyssuuttimet, painevesisuuttimet ja pyörresuuttimet, joissa veden oma liikemäärä pirstottaa veden sumuksi. Kaksifaasisuuttimissa vesisumun tuottaminen perustuu ilman ja veden sopivaan sekoittumiseen suuttimen sisällä.

Sumun ominaisuudet, kuten pisarakokojakauma, vuontiheysjakauma, liikemäärä sekä sumun muoto ovat olennaisia parametreja vesisumujärjestelmässä [Tuomisaari, 1996]. Yleisesti ottaen vesisumuna pidetään suihkua, jossa 99 % nestetilavuudesta muodostuu pisaroista, joiden halkaisija on alle 1 mm ( $D_{v0.99} = 1 \text{ mm}$ ) [NFPA 750, 2003]. Vesisumun pisarakokojakauman perusteella voidaan vesisumu jakaa vielä kolmeen luokkaan, jotka ovat [Mawhinney ja Solomon, 1997]

- luokan 1 pisarakoko:  ${}^1D_{v0.9} \leq 200 \text{ } \mu\text{m}$
- luokan 2 pisarakoko:  $200 < {}^2D_{v0.9} \leq 400 \text{ } \mu\text{m}$
- luokan 3 pisarakoko:  $400 < {}^3D_{v0.9} \leq 1000 \text{ } \mu\text{m}$ .

Kaikkein hienoimpaan eli luokan 1 vesisumuun päästään kaksifaasisuuttimilla ja korkeapainevesisuuttimilla. Luokkaan 2 kuuluva vesisumu saavutetaan matala- ja väli-painealueella. Kaksifaasisuuttimilla on lisäksi ALR-suhde (*Air-to-Liquid pressure Ratio*), joka ilmoittaa suuttimen ilman ja veden välisen massasuhteen.

Kuvassa 4.19 esitetään tyypillisimpiä yksi- ja kaksifaasisuuttimia [Mawhinney ja Solomon, 1997].

Painevesisuutin:

- sumun kartiokulma:  $>120^\circ$
- käyttöpaine: 5–200 bar
- virtaama: 35 litraa/min
- suuttimen halkaisija: 0,2–3 mm

Törmäyssuutin:

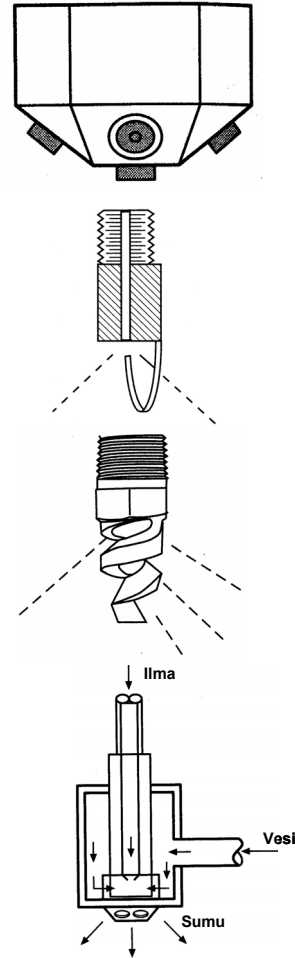
- sumun kartiokulma:  $90\text{--}120^\circ$
- käyttöpaine: 5–8 bar
- virtaama: 1–5 litraa/min
- suuttimen halkaisija: 1 mm

Pyörrevirtasuutin:

- sumun kartiokulma:  $90\text{--}120^\circ$
- käyttöpaine: 5–8 bar
- virtaama: 1–5 litraa/min
- suuttimen halkaisija: 1 mm

Kaksifaasisuutin:

- sumun kartiokulma:  $90\text{--}120^\circ$
- $p_{\text{vesi}}$ : 4–5 bar
- $p_{\text{ilma}}$ : 5–7 bar
- virtaama: 5–25 litraa/min
- suuttimen halkaisija:  $>2$  mm
- ALR-suhde: 0,1



Kuva 4.19. Tyypillisimmät yksi- ja kaksifaasisuuttimet vesisumujärjestelmissä [Mawhinney ja Solomon, 1997].

Vesisumujärjestelmä voidaan asentaa esim. vaihtoehtoiseksi sammutusjärjestelmäksi sprinklerijärjestelmälle. Tällöin vesisumujärjestelmä mitoitetaan teholtaan samansuuruiseksi kuin sprinklerijärjestelmä. Kohteessa päästään samaan sammutustehoon näin vähemmällä vesimäärällä. Muita etuja, joita vesisumujärjestelmä tarjoaa, ovat mm. hyvä savunpoistokyky sekä pienet vesivahingot. Vesisumujärjestelmän asentamisessa mitoittamisperimetrit voivat poiketa suojattavan tilan mukaan hyvinkin paljon toisistaan, koska tietty järjestelmä voi tuottaa vain yhdenlaatuista vesisumua.

## 4.7 Inerttikaasut

Kaasujen käyttö kiinteissä sammutusjärjestelmissä perustuu ennen kaikkea tilasuojaukseen, koska kaasujen tiheys on suurempi kuin ilman ja ne pystyvät näin ollen syrjäyttämään hapen palotilasta. Kohdesuojauksessa on käytetty pelkästään hiilidioksidia ( $\text{CO}_2$ ), jolla voidaan riittävästi myös jäähdyttää kohdetta. Tässä yhteydessä inerttikaasuista on

todettava, että NFPA 2001 -standardi ei lue CO<sub>2</sub>-sammutetta inerttikaasujen joukkoon, vaikka esim. seokset voivatkin pitää sisällään hiilidioksidia.

Inerttikaasujärjestelmät ovat yksinkertaisempia verrattuna esimerkiksi vesijärjestelmiin, sillä niissä ei tarvita erillisiä pumppumekanismeja sammutteen virtaamiseen vaan kaasu tulee suuren paineistuksen ansiosta itsestään ulos putkistosta. Luonnollisesti suunnittelussakin voidaan eliminoida jo valmiiksi muut vaihtoehdot kuiva-asennuksen lisänä.

Tärkeitä inerttikaasujärjestelmän suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä ovat seuraavat:

- suojauksen laatu (tilasuojaus tai liekehtivän palon sammutus): tilasuojauksessa sammutetta voidaan käyttää estämään palon uudelleensyntyminen tai mahdollinen räjähdysvaara, kun taas liekehtivän palon sammuttaminen vaatii mm. suuremmat pitoisuudet
- laukaisutapa (manuaalinen tai automaattinen): manuaalinen laukaisu vähentää riskiä altistua sammutteelle mutta voi hidastaa merkittävästi palon sammuttamisen alkamisajankohtaa
- suojattava kohde (miehitetty tai miehittämätön): tähän liittyvät olennaisesti em. laukaisutapa sekä käytettävä sammute
- muut tekijät, kuten suojattavan tilan koko, mahdolliset vuodot aukoista sekä käytettävän sammutteen suojaus- ja sammutustehokkuus.

Sammutusjärjestelmää voidaan käyttää A-palojen ja B-palojen sammuttamiseen, joita varten on olemassa kokeisiin perustuvia, eri polttoaineille tarkoitettuja suunnittelupitoisuuksia kullekin sammutteelle. Näistä on kerrottu lisää kohdassa 4.11.

Inerttikaasujärjestelmissä on kuitenkin otettava huomioon sammutteen viemä osuus koko tilavuudesta, joka aiheuttaa luonnollisesti vähenemän tilan happipitoisuudessa. Taulukossa 4.10 esitetään suurimmat inerttikaasupitoisuudet kullekin altistumisajalle (5 min, 3 min ja 30 s) sekä kaasupitoisuuden riippuvuus korkeudesta mitattuna merenpinnan tasosta.

Taulukko 4.10. Suurimmat inerttikaasupitoisuudet ja altistumisajat miehitetyissä tiloissa [NFPA 2001, 2004].

Korkeus merenpinnasta, km	Ilmanpaine, mmHg	O <sub>2</sub> osapaine, mmHg	Inerttikaasun pitoisuus, % (tilav.)		
			5 min altistus	3 min altistus	30 s altistus
-0,9	840	176,4	48,4	56,6	65,6
-0,6	812	170,5	46,6	55,1	64,5
-0,3	787	165,3	44,9	53,7	63,3
0,0	760	159,6	43,0	52,0	62,0
0,3	733	153,9	40,9	50,2	60,6
0,6	705	148,1	38,5	48,3	59,1
0,9	678	142,4	36,1	46,2	57,4
1,2	650	136,5	33,3	43,9	55,6
1,5	622	130,6	30,3	41,4	53,6
1,8	596	125,2	27,3	38,8	51,6
2,1	570	119,7	24,0	36,0	49,4
2,5	550	115,5	21,2	33,7	47,5
2,7	528	110,9	17,9	30,9	45,3
3,1	505	106,1	14,2	27,8	42,9

Taulukkoon 4.10 on merkitty harmaalla pitoisuudet merenpinnan tasossa. Kyseisellä korkeudella merenpinnasta vastaavat happipitoisuudet eri altistusajoille ovat 12, 10 ja 8 %. Jos happipitoisuus on pienempi kuin 8 %, ei järjestelmää saa käyttää miehitettyihin tiloihin. Happipitoisuuden ollessa 8–10 % järjestelmää saa käyttää tiloihin, jotka eivät normaalissa käytössä ole miehitettyjä mutta joissa mahdollinen altistusaika jää alle 30 sekunnin.

Inerttikaasuille on olemassa myös ns. NOAEL- ja LOAEL-raja-arvot (ks. halogenoidut hiilivedyt, kohta 4.8), jotka pohjautuvat vastaaviin 12 % ja 10 %:n happipitoisuuksiin. Kaikille inerttikaasuille raja-arvot ovat samat: 43 % NOAEL- ja 52 % LOAEL-arvolle. Inerttikaasujen vaikutus perustuu ihmisen fysiologisiin muutoksiin vähähappisessa tilassa.

Tilaan vaadittu kaasumäärä  $X$  [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>] inerttikaasuille normaali-ilmanpaineessa (1,013 bar) ja 21 °C:n lämpötilassa voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$X = 2.303 \left( \frac{V_s}{s} \right) \log_{10} \left( \frac{100}{100 - C} \right), \quad (1)$$

jossa  $V_s$  on inerttikaasun ominaistilavuus (21 °C ja 1,013 bar) [m<sup>3</sup>/kg],  $s$  inerttikaasun ominaistilavuus [m<sup>3</sup>/kg] lämpötilassa  $T$  ja  $C$  inerttikaasun suunnittelupitoisuus [%].

Vaihtoehtoinen lähestymistapa inerttikaasumäärälle, jossa voidaan huomioida myös pienet vuodot, on

$$X = 2.303 \left( \frac{294.4}{273 + t} \right) \log_{10} \left( \frac{100}{100 - C} \right), \quad (2)$$

jossa  $t$  on suojattavan tilan alin odotettavissa oleva lämpötila [°C].

Inerttijärjestelmät ovat osana myös laivojen turvallisuutta: säiliöalusten tankit voidaan suojata inerttikaasuilla, jolloin tilan happipitoisuus alenee tasolle (n. 5 %), jossa syttyminen ei enää ole mahdollista [IMO, 2001].

Inerttikaasujen säilytyksessä on otettava huomioon, että ne ovat varastoituna kaasumaiseen muotoon korkeassa paineessa ja että säiliössä on oltava vähimmäispaine, jotta järjestelmä voi toimia tarvittavalla teholla. Tämän vuoksi NFPA 2001 -standardi antaa taulukon 4.11 mukaiset ohjeet putkiston ja kaasusäiliön vähimmäiskäyttöpaineille.

*Taulukko 4.11. Inerttikaasujen minimikäyttöpaineet [NFPA 2001, 2004].*

Kaasusäiliön minimikäyttöpaine, bar (21 °C)	Kaasusäiliön minimikäyttöpaine, bar (55 °C)	Putkiston minimikäyttöpaine, bar (21 °C)
<b>IG-01 (Argotec)</b>		
163,41	182,71	163,41
204,36	227,81	204,36
<b>IG-541 (Inergen)</b>		
149,97	177,55	149,97
199,96	236,71	199,96
<b>IG-55 (Argonite)</b>		
153,2	170,65	153,2
204,23	227,53	204,23
306,34	341,3	306,34
<b>IG-100 (Typpi)</b>		
165,75	192,99	165,75
223,12	260,15	223,12
280	327,78	280

Kaasujärjestelmän mitoitus perustuu myös säiliöiden paineeseen, johon vaikuttaa oleellisesti ympäristön lämpötila. Tällöin on otettava huomioon, etenkin kaasujärjestelmissä, mahdollinen ympäristön lämpötilan äkillinen muutos säiliöiden lähellä. Tätä varten on oltava myös jäähdytys- tai lämmitysjärjestelmä säiliöiden lämpötilan kontrolloimiseen.

Hiilidioksidijärjestelmiä voidaan käyttää joko matalapaine- tai korkeapainejärjestelminä. Sanalla "järjestelmä" viitataan tässä kaasusäiliön täyttöpaineisiin sekä säiliön säily-

tyslämpötilaan, joka hiilidioksidilla voi olla myös negatiivinen, toisin kuin muilla kaasuilla. Matalapainejärjestelmiin kuuluvat säiliöt, joilla säiliöpaine on 20,68 bar (-18 °C) ja korkeapainejärjestelmillä 58,60 bar (21 °C).

Hiilidioksidijärjestelmän tyypilliset suunnittelupitoisuudet ovat vaarallisen suuria mиеhitettyihin tiloihin. NFPA 12 -standardissa on mainittu CO<sub>2</sub>-suunnittelupitoisuudeksi 56,6 m<sup>3</sup>:n kokoiselle kuivalle, elektroniikkaa sisältävälle tilalle 50 %. Tilat, joissa esiintyy pölyä tai muuta herkästi syttyvää orgaanista materiaalia, on suunniteltava 75 %:n CO<sub>2</sub>-pitoisuudelle.

Hiilidioksidin sammutustehokkuus eri aineille tunnetaan varsin hyvin. Tyypillisimpien B- ja C-luokan palojen sammuttamiseen on olemassa pienimmät suunnittelupitoisuudet palavan materiaalin sekä huoneen tilavuuden mukaan, taulukot 4.12 ja 4.13.

*Taulukko 4.12. Eräiden B- ja C-palojen pienimmät CO<sub>2</sub>-sammutuspitoisuudet [NFPA 12, 2000].*

Palava aine	Teoreettinen minimi CO <sub>2</sub> -pitoisuus, %	Minimi CO <sub>2</sub> -pitoisuus <sup>1</sup> , %
asetyleeni	55	66
butaani	28	34
hiilimonoksidi	53	64
maakaasu	31	37
etaani	33	40
etyylialkoholi	36	43
benssiini	28	34
heksaani	29	35
vety	62	75
isobutaani	30	36
kerosiini	28	34
metaani	25	34
pentaani	29	35
propaani	30	36

<sup>1</sup> Minimi-CO<sub>2</sub>-pitoisuus ei saa olla vähempää kuin 34 %.

*Taulukko 4.13. Tilantäyttökertoimet CO<sub>2</sub>-järjestelmälle [NFPA 12, 2000].*

Huoneen tilavuus, m <sup>3</sup>	Tilavuuskerroin		Laskettu CO <sub>2</sub> määrä (ei tätä vähemmän), kg
	m <sup>3</sup> /kg CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	
3,96 saakka	0,86	1,15	–
3,97–14,15	0,93	1,07	4,5
14,16–45,28	0,99	1,01	15,1
45,29–127,35	1,11	0,90	45,4
127,36–1 415,0	1,25	0,80	113,5
yli 1 415,0	1,38	0,77	1 135,0

Laivoissa käytetään paljon kaasuja niiden lastiruumien ja konehuoneiden suojaukseen. Hiilidioksidin määrä lastiruuman suojaamisessa on oltava 30 % suurimman ruuman bruttotilavuudesta. Konehuoneiden suojaaminen edellyttää jompaakumpaa seuraavista:

- 40 % (35 %) suurimman konehuoneen bruttotilavuudesta, josta on vähennetty kaasua läpäisemättömien objektien kokonaistilavuus
- 35 % (30 %) suurimman konehuoneen bruttotilavuudesta, mukana koko huoneen tilavuus.

Edellä olevassa listassa suluissa olevat prosentiosuudet ovat pienemmille laivoille, joiden bruttokantavuus on vähemmän kuin 2 000 tonnia, edellyttäen lisäksi, että näissä mahdollisesti useammat konehuoneet eivät ole erillään toisistaan vaan ne muodostavat yhden tilan [IMO, 2001].

CO<sub>2</sub>-järjestelmän tulee pystyä tuottamaan 85 %:n peitto suunnitellusta pitoisuudesta 2 min:n kuluessa. Muiden järjestelmien tulee olla konehuoneiden suojauksessa samanvertaisia CO<sub>2</sub>-järjestelmän kanssa. Lastiruoman suojauksessa muiden kaasujärjestelmien tulee kyetä pitämään suurin suojattava tila 25 %:n pitoisuudessa 72 h:n ajan.

## **4.8 Halogenoidut hiilivedyt**

Halogenoitujen hiilivetyjen kiinteät sammutusjärjestelmät eivät ulkoisilta puitteiltaan poikkea juurikaan esim. inerttikaasujärjestelmistä. Tässä luvussa käytetään NFPA 2001 -standardissa esiintyvistä clean agent -sammutteista kaikista yhteisnimitystä halogenoidut hiilivedyt, vaikkakin FK-5-1-12 on tarkemmin ottaen fluorattu ketoni.

Taulukossa 4.14 esitetään NFPA 2001 -standardissa mainittujen halogenoitujen hiilivetyjärjestelmän pienimmät suunnittelupaineet niin säiliöille kuin putkistollekin.



Taulukko 4.14. Halogenoitujen hiilivetyjärjestelmien mitoitusarvot [NFPA 2001, 2004].

Aine	Säiliön suurin sallittu täyttötiheys, kg/m <sup>3</sup>	Säiliön minimipaine (21 °C), bar	Säiliön minimipaine (55 °C), bar	Putkiston pienin suunnittelupaine (21 °C), bar
HFC-227ea	1201,4	10,3	17,2	13,8
	1153,3	24,8	35,9	28,7
	1153,3	41,4	70,7	56,5
FC-3-1-10	1281,5	24,8	31,0	24,8
HCFC Blend A	900,2	41,4	58,6	46,9
	900,2	24,8	37,2	29,8
HFC-23	768,9	42,0	118,1	94,5
	720,8	42,0	107,6	86,0
	640,7	42,0	95,3	76,3
	560,6	42,0	86,7	69,4
	480,6	42,0	79,8	63,9
HCFC-124	1185,4	16,5	24,4	19,5
	1185,4	24,8	40,0	32,0
HFC-125	865,0	24,8	42,4	33,9
	897,0	41,4	72,1	57,6
HFC-236fa	1185,4	16,5	24,8	19,3
	1201,4	24,8	41,4	33,1
	1185,4	41,4	75,8	60,7
FK-5-1-12	1441,7	24,8	28,5	24,8

Taulukosta 4.14 voidaan havaita, etteivät halogenoitujen hiilivetyjen käyttöpaineet ole läheskään niin suuret kuin inerteillä kaasuilla. Tämä selittyy sillä, että kaikilla halogenoiduilla hiilivedyillä kriittinen lämpötila (ylin lämpötila, jossa kaasu voi esiintyä nesteinä) on reilusti lämpötila-asteikon positiivisella puolella toisin kuin inerteillä sammutteilla. Näin ollen halogenoituja hiilivetyjä voidaan myös varastoida nestemäiseen muotoon, mikä puolestaan säästää tilan tarvetta. Ainoan poikkeuksen muodostaa HFC-23, jota ei voida varastoida nestemäiseen muotoon.

Kaikki edellä olevat kaasumaiset sammutteet (inertit ja halogenoidut hiilivedyt) purkautuvat suuttimista kaasuna, paitsi Novec 1230 (FK-5-1-12), jonka kiehumispiste on +49 °C. Novec 1230 -sammutteella voidaan siis saavuttaa myös parempi kantama, sillä se höyrystyy paljon myöhemmin.

Halogenoidut hiilivedyt ovat myös jossain määrin myrkyllisiä, joten sammutusjärjestelmän toimiessa tulevat kyseeseen pienimmät altistusajat sekä miehitetyille että miehitämättömälle tilalle. Miehitettyjen tilojen suunnittelupitoisuuksia laskettaessa on tiedotettava NOAEL (*No Observed Adverse Effect Level*)- ja LOAEL (*Lowest Observable Adverse Effect Level*)-rajat, joista ensimmäinen ilmaisee suurimman mahdollisen rajapitoisuuden, jolla ei vielä ole vaikutusta fysiologisesti eikä toksikologisesti. Jälkimmäinen ilmaisee pienimmän pitoisuuden, jolla em. vaikutukset voidaan havaita.

Tiloissa, jotka ovat normaalisti miehitettyinä ja suunniteltuja toimimaan korkeintaan NOAEL-rajaan saakka olevilla pitoisuuksilla (taulukko 4.15), tulisi suurimman mahdollisen altistusajan olla 5 min. Mikäli tilat on suunniteltu yli NOAEL-rajan, tulevat kyseeseen sammutekohtaiset pitoisuus ja altistusajat, joista on esitetty PBPK-malliin pohjautuvat arviot taulukossa 4.16. Samoja arvoja voidaan käyttää, mikäli järjestelmää käytetään normaalisti miehittämättömissä tiloissa yli LOAEL-rajan olevilla pitoisuuksilla. Näissä tiloissa voidaan kuitenkin olettaa joidenkin ihmisten mahdollisesti altistuvan sammutteelle.

Mikäli normaalisti miehittämätöntä tilaa aletaan suunnitella suojattavaksi halogenoidulla hiilivetyjärjestelmällä mutta ei olla varmoja tilan vaatimista mitoitusarvoista tai informaatio on puutteellinen niiltä osin, voidaan käyttää hyväksi seuraavia arvioita:

- Jos poistuminen kestää 30–60 s, ei tilassa saa käyttää LOAEL-rajojen ylittäviä pitoisuuksia.
- Mikäli LOAEL-rajat ylittyvät, tulee poistuminen tapahtua vähintään 30 s:n kuluessa.

*Taulukko 4.15. Halogenoitujen hiilivetyjen NOAEL-, LOAEL- ja LC<sub>50</sub>-pitoisuudet [NFPA 2001, 2004].*

<b>Sammutte</b>	<b>LC<sub>50</sub></b>	<b>NOAEL (%)</b>	<b>LOAEL (%)</b>
FC-3-1-10	>80	40	>40
FK-5-1-12	>10,0	10	>10,0
FIC-131I	>12,8	0,2	0,4
HCFC Blend A	64	10	>10,0
HCFC-124	23-29	1	2,5
HFC-125	>70	7,5	10
HFC-227ea	>80	9	10,5
HFC-23	>65	30	>50
HFC-236fa	>18,9	10	15

LC<sub>50</sub>-arvot on saatu rottapopulaatiolle 4 h:n altistuksessa.

Taulukko 4.16. Eräiden halogenoitujen hiilivetyjen NOAEL-rajan ylittävät pitoisuudet sekä vastaavat altistumisajat [NFPA 2001, 2004].

HFC-125		HFC-236fa		FIC-1311		HFC-227ea	
% v/v	Aika, min	% v/v	Aika, min	% v/v	Aika, min	% v/v	Aika, min
7,5	5	10	5	0,2	5	9	5
8	5	10,5	5	0,25	5	9,5	5
8,5	5	11	5	0,3	5	10	5
9	5	11,5	5	0,35	4,3	10,5	5
9,5	5	12	5	0,4	0,85	11	1,13
10	5	12,5	5	0,45	0,49	11,5	0,6
10,5	5	13	1,65	0,5	0,35	12	0,49
11	5	13,5	0,92				
11,5	5	14	0,79				
12	1,67	14,5	0,64				
12,5	0,59	15	0,49				
13	0,54						
13,5	0,49						

Halogenoidun hiilivedyn vaatima määrä  $W$  [kg] kullakin tilavuusprosentilla voidaan laskea käyttämällä kaavaa

$$W = \frac{V}{S} \left( \frac{C}{100 - C} \right), \quad (3)$$

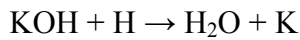
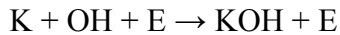
jossa  $V$  on tilan bruttotilavuus [ $\text{m}^3$ ], josta on vähennetty mahdolliset kaasua läpäisemättömät esteet, kuten kalusteet ym.,  $S$  on halogenoidun hiilivedyn ominaistilavuus [ $\text{m}^3/\text{kg}$ ] lämpötilassa  $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ], joka on samalla tilan alin arvioitu lämpötila, ja  $C$  on sammutteen suunnittelupitoisuus [%].

## 4.9 Aerosolit

Aerosolijärjestelmät poikkeavat rakenteensa puolesta hyvinkin paljon muista sammutusjärjestelmistä, koska aerosolisammute voi purkautua yksittäisistä patruunoista suojattavaan tilaan (*condensed*) tai putkistoa pitkin (*dispersed*).

Patruunoiden sisällä on kaikki laukaisemiseen tarvittava mekanismi sekä itse sammute (ks. kuva 4.20). Laukaisuun vaadittava signaali voi tulla joko erillisestä ohjausyksiköstä, säteilyn aiheuttamasta lämpörasituksesta patruunan kuoreen tai liekkikontaktista. Myös sammutteen synty tapa on muihin sammutteisiin verrattuna poikkeava, sillä itse sammute syntyy eksotermisen eli lämpöä tuottavan reaktion tuloksena ja muodostaa näin pieniä partikkeleita (nimitys "pyrotekninen aerosoli"). Lämmöntuottoa pyritään rajoittamaan sekoittamalla reaktion joukkoon endotermisiä polymeerejä. Useimmissa järjestelmissä

lähtöaineena on kaliumnitraatti (KNO<sub>3</sub>), josta reaktiotuotteena syntyy vapaita kaliumradikaaleja K, jotka toimivat kemiallisena sammutteena. Vapaat radikaalit reagoivat palosta syntyvien kaasujen (O, H, OH) kanssa seuraavan reaktioyhtälön mukaan:



Aerosolisammutusjärjestelmät, joissa sammute virtaa putkistoa pitkin, jaetaan vielä keskeneneräisessä EN-aerosolistandardissa neljään kategoriaan:

- hienorakeinen kemiallinen seos, joka käyttää ponneaineena halokarboneita
- hienorakeinen kemiallinen seos, joka käyttää ponneaineena inerttikaasuja
- hienorakeinen kemiallinen seos tai geeli, joka käyttää ponneaineena halokarboneita
- hienorakeinen kemiallinen seos, jossa sammute virtaa joko mekaanisen voiman tai paineilman työntämänä.

Valmistajien mukaan sammutteen määrä lähtee 25 g:sta ylöspäin tilavuusyksikköä kohden. Aerosolipartikkeleiden läpimitta on muutamien mikrometrien luokkaa, jolloin ne pystyvät leijumaan ilmassa useita minuutteja. Määrällisesti aerosolisammutetta tarvitaan esimerkiksi kaasusammutteisiin nähden noin 5 kertaa vähemmän.

Aerosolijärjestelmät, kuten Pyrogen ja SFE, ovat tällä hetkellä EPAn listoilla ainoastaan miehittämättömien tilojen suojausjärjestelmä. Tämä johtuu reaktiotuotteena syntyvien typenoksidien haitallisuudesta sekä pienten partikkelien kulkeutumisesta hengitysteihin



*Kuva 4.20. Aerosolipatruunan läpyleikkaus. Lähde: [www.firepro.nl](http://www.firepro.nl).*

## 4.10 Standardit

### 4.10.1 NFPA-standardit

- NFPA 11 Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam 2002 Edition
- NFPA 1145 Guide for the Use of Class A Foams in Manual Structural Fire Fighting 2000 Edition
- NFPA 1150 Standard on Fire-Fighting Foam Chemicals for Class A Fuels in Rural, Suburban, and Vegetated Areas 1999 Edition
- NFPA 12 Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems 2000 Edition
- NFPA 13 Installation of Sprinkler Systems 2002 edition
- NFPA 13R Installation of Sprinkler Systems in Residential Occupancies up to and Including Four Stories in Height 2002 Edition
- NFPA 15 Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection 2001 Edition
- NFPA 16 Standard for the Installation of Foam-Water Sprinkler and Foam-Water Spray Systems 2003 Edition
- NFPA 17 Standard for Dry Chemical Extinguishing Systems 2002 Edition
- NFPA 17A – Standard for Wet Chemical Extinguishing Systems 2002 Edition
- NFPA 2001 Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems 2004 Edition
- NFPA 750 Standard on Water Mist Fire Protection Systems 2003 Edition
- Automatic Sprinkler Systems Handbook 2002 Edition

#### **4.10.2 EN-standardit**

- EN 12845:2004 Fixed fire-fighting systems – Automatic sprinkler systems – Design, installation and maintenance
- EN 12416-1:2001/A1:2004 Fixed firefighting systems – Powder systems – Part 1: Requirements and test methods for components
- EN 12416-2:2001 Fixed firefighting systems – Powder systems – Part 2: Design, construction and maintenance
- CEN/TC 191/WG 6 N 231 Fire extinguishing systems – CO<sub>2</sub> systems – Design, installation and maintenance
- prEN 14816 Fixed fire-fighting systems – Water spray systems – Design and installation
- prEN 14972 Fixed fire-fighting systems – Water mist systems – Design and installation
- prEN 15004-1 Fixed fire-fighting systems – Gas extinguishing systems – Part 1: General requirements for planning and installation
- prEN XXXX Fixed fire-fighting systems – Aerosol extinguishing systems – Part 2: Design installation and maintenance of aerosol extinguishing systems

#### **4.10.3 Muut**

- UL 300 Fire Testing of Fire Extinguishing Systems for Protection of Restaurant Cooking Areas
- IMO International Code for Fire Safety Systems (FSS CODE) 2001. Resolution MSC.98(73).
- CEA Hiilidioksidisammutuslaitteistot suunnittelu ja asennussäännöt 1998
- CEA Inerttikaasusammutuslaitteistot suunnittelu ja asennussäännöt 1998
- CEA Sprinklerilaitteistot suunnittelu ja asentaminen, säännöt 2004

## 4.11 Sovelluskohteet ja suorituskyky

### 4.11.1 Sprinklerit

Koska sprinklereitä käytetään yhä enemmän nykyaikaisessa rakentamisessa, esitellään tässä omana kohtanaan sprinkleriteknologian moninaiset sovelluskohteet. Tiedot perustuvat viitteeseen [CEA 4001, 2004].

Kohteen sprinkleriluokka on määritettävä ennen suunnittelutyön aloittamista. Sprinklerilaitteistolla suojattavat rakennukset ja alueet luokitetaan kevyeen (LH), normaaliin (OH) ja raskaaseen (HH) sprinkleriluokkaan. Luokitus määräytyy kohteen käyttötarkoituksen ja palokuorman mukaan.

#### Kevyt sprinkleriluokka – LH

Luokka käsittää ei-teolliset kohteet, joissa on pieni palokuorma ja palamisherkkyyys ja joissa mikään vähintään 30 min palon kestävyys omaavilla rakenteilla rajattu alue ei ylitä 126 m<sup>2</sup>.

Esimerkkejä kevyen sprinkleriluokan kohteista ovat koulut ja opetuslaitokset, toimistot ja vankilat.

#### Normaali sprinkleriluokka – OH

Luokka käsittää kaupan ja teollisuuden kohteet, joissa käsitellään tai valmistetaan palokuormaltaan ja palamisherkkyydeltään normaaleja tuotteita ja materiaaleja.

Luokka jakautuu neljään ryhmään:

- OH1 (normaali sprinkleriluokka, ryhmä 1)
- OH2 (normaali sprinkleriluokka, ryhmä 2)
- OH3 (normaali sprinkleriluokka, ryhmä 3)
- OH4 (normaali sprinkleriluokka, ryhmä 4).

Varastointi on sallittua OH1-, OH2- ja OH3-kohteissa seuraavin ehdoin:

- a) Suojauksen tulee kauttaaltaan olla vähintään OH3.
- b) Taulukon 4.17 osoittamia varastointikorkeuksia ei saa ylittää. Kun prosessialueen luokitus on OH4, varastoalueet luokitellaan luokkaan HHS.
- c) Varastoalueet, ympäröivät käytävät mukaan luettuna, eivät saa olla suurempia kuin 216 m<sup>2</sup> (tai viranomaisen määräämä pinta-ala). Varastoalueiden välillä tulee olla kauttaaltaan taulukon 4.17 mukaiset käytävät, jotka pidetään vapaina.

Taulukko 4.17. Suurimmat varastointikorkeudet, OH [CEA 4001, 2004].

Varasto-kategoria	Suurin varastointikorkeus, m		Varastoalueita ympäröivien käytävien leveydet, m
	Vapaasti pinottu varasto (ST1)	Kaikki muut varastot	
I	4,0	3,5	2,0
II	3,0	2,6	2,0
III	2,1	1,7	2,0
IV	1,2	1,2	2,0

Normaalin sprinkleriluokan kohteita on lueteltu taulukossa 4.18.

Taulukko 4.18. Normaalin sprinkleriluokan (OH) kohteita [CEA 4001, 2004].

Toiminnan laji	Normaalin sprinkleriluokan ryhmä			
	OH1	OH2 <sup>1</sup>	OH3 <sup>2</sup>	OH4
keramiikka			lasitehdas	
kemikaali	sementtitehdas	valokuvauslaboratorio valokuvafilmin valmistus	värjäämö saippuatehdas	kynttilätehdas tulitikkutehdas maalaamo
mekaaninen teollisuus	metallilevytuotteiden valmistus	autokorjaamo metallitehdas	elektroniikkatehdas radioteollisuus kylmäkalustetehdas pesukonetehdas	
ravintoaineteollisuus	teurastamo meijeri	leipomo keksitehdas panimo suklaatehdas makeistehdas	rehutehdas viljamyly kuivavihannes- ja kuivakeittotehdas sokeritehdas	alkoholituslaamo
sekalaiset	sairaala hotelli kirjasto (ei kirjakauppa) ravintola koulu toimisto	laboratorio (fysikaalinen) pesula autohalli museo	radio- ja televisiostudio studio rautatieasema valvomo	elokuvateatteri teatteri konserttisali tupakkatehdas
paperi			kirjansitomo kartonkitehdas paperitehdas kirja-, lehtipaino	jätepaperin käsittely
kumi ja muovi			kaapelitehdas muovi- tai painevalutehdas muovi- ja muoviteutetehdas (ei vaahdotuovitehdas) kumituotetehdas keinokuitutehdas (ei akryyli-) vulkanointitehdas	köysitehdas



kauppa ja toimisto	tietokonetila (ei nauhavarasto) toimisto		tavaratalo ostoskeskus	näyttelyhalli
tekstiili ja vaate-tetus		nahkatuotetehdas	mattotehdas (ei vaah- tomuovia eikä -kumia) vaatetehdas ja vaate- tustehdas kuitulevytehdas jalkinetehtas kutomo pellavatehtas patjatehtas (ei vaah- tomuovia) ompelimo villakehräämö villakutomo	puuvillatehtas pellavan esikäsit- tely hampun esikäsit- tely
puuteollisuus			puutuotetehdas huonekalutehtas (ei vaahtomuovia) huonekalunäyttely verhoomo (ei vaah- tomuovia)	saha lastulevytehtas vaneritehtas

<sup>1</sup> Maalaamot ja muut tilat, joissa on suuri palokuorma, kuuluvat luokkaan OH3.

<sup>2</sup> Varastotilat yleensä sekä korkeat rakennukset (alimman ja ylimmän sprinklerin korkeusero korkeintaan 45 m).

### Raskas sprinkleriluokka, tuotanto – HHP

HHP sisältää kaupan ja teollisuuden kohteet, joissa käsitellään tai valmistetaan herkästi palavia tuotteita ja materiaaleja, joissa palokuorma on suuri ja joissa voi kehittyä nopeasti leviäviä tai kiihkeitä paloja.

Luokka jakautuu seuraavaan neljään ryhmään:

- HHP1 (raskas sprinkleriluokka, tuotanto, ryhmä 1)
- HHP2 (raskas sprinkleriluokka, tuotanto, ryhmä 2)
- HHP3 (raskas sprinkleriluokka, tuotanto, ryhmä 3)
- HHP4 (raskas sprinkleriluokka, tuotanto, ryhmä 4).

Taulukossa 4.19 esitellään raskaan sprinkleriluokan (HHP) kohteita.

Taulukko 4.19. Raskaan sprinkleriluokan (HHP) kohteita [CEA 4001, 2004].

HHP1	HHP2	HHP3	HHP4
lattianpäällyste- ja lino- leumitehdas maali- ja lakkatehdas harts-, kimröökki- ja täpättitehdas keinokumitehdas lastuvillatehdas	sytytysvälinetehtas luokan M3 <sup>2</sup> vaahto- muovi- sekä vaahtokumi- tehdas ja vaahtokumituot- teiden valmistaja, joka ei käsittele M4 <sup>3</sup> tuotteita tervatislaamo	selluloosanitraatin valmis- taja	ilotulitusvälinetehtas muuntajat <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Muuntajan vaippapinta on suojattava 20 mm/min ja muuntajatilän pohja 10 mm/min vesivuontiheydellä. Muuntamotilassa olevan putkiston tulee erottua selvästi esimerkiksi omalla värillä. Muuntamotilan ulkopuolella tulee olla oma virtauskytkin ja sulkuventtiili, jossa asennon osoitus on selvästi luettavissa (auki–kiinni). Sulkuventtiili tulee merkitä selvästi, ja se on sijoitettava helposti havaittavaan paikkaan. Sprinkleriputkiston suojamaadoitus on tehtävä

<sup>2</sup> Pääasiassa vaahdottomatonta muovia sisältävät materiaalit tai muut materiaalit, joilla on sama lämpöarvo.

<sup>3</sup> Pääasiassa solumuovista (yli 40 %) koostuvat materiaalit tai muut materiaalit, joilla on sama lämpöarvo.

### Raskas sprinkleriluokka, varastointi – HHS

HHS sisältää varastokohteet, joissa varastointikorkeus ylittää taulukossa 4.17 asetetut rajat.

Luokka jakautuu seuraavaan neljään kategoriaan:

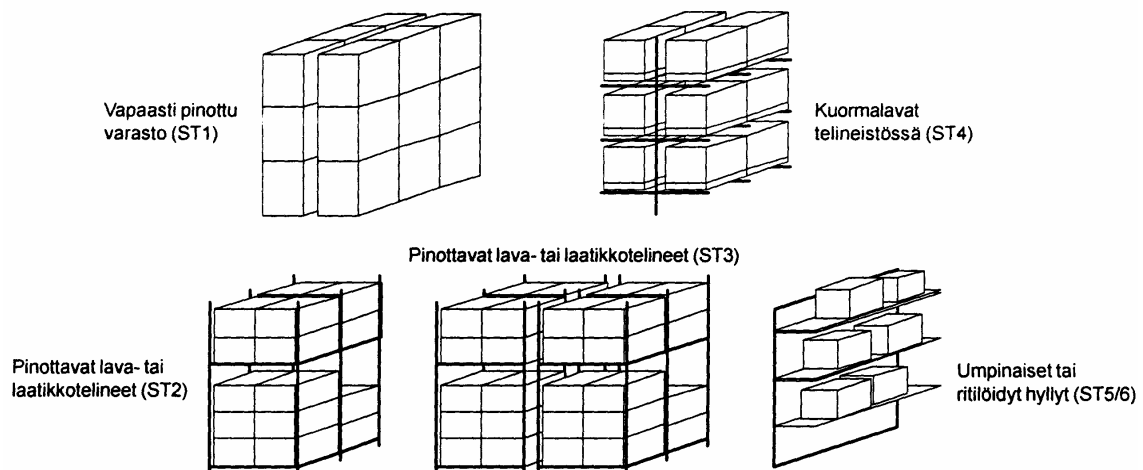
- HHS1 (raskas sprinkleriluokka, varastokategoria I)
- HHS2 (raskas sprinkleriluokka, varastokategoria II)
- HHS3 (raskas sprinkleriluokka, varastokategoria III)
- HHS4 (raskas sprinkleriluokka, varastokategoria IV).

### Varastot

Varastoidun tavaran palovaarallisuuden määrittävät materiaalin ja pakkausten palamis-herkkyys sekä varastointitapa.

Varastointitavat (kuva 4.21) luokitellaan seuraavasti:

- ST1: vapaasti pinottu varasto tai kompaktivarasto
- ST2: varastointi pinottavissa lava- tai laatikkotelineissä yksittäisissä riveissä, käytävän leveys vähintään 2,4 m
- ST3: varastointi pinottavissa lava- tai laatikkotelineissä kaksi- tai useampirivisesti
- ST4: varastointi kiinteässä telineistössä
- ST5: varastointi umpinaisilla tai ritilöidyillä, enintään 1 m leveillä hyllyillä
- ST6: varastointi umpinaisilla tai ritilöidyillä hyllyillä, leveys yli 1 m – enintään 6 m.



Kuva 4.21. Varastointitavat [CEA 4001, 2004].

Jokaisella varastointitavalla on omat varastointikorkeuden rajoituksensa, jotka ovat myös sprinklerilaitteiston tyypistä ja laitteiston suunnitelmasta riippuvaisia, taulukko 4.20.

Taulukko 4.20. Rajoituksia ja suojausvaatimuksia erilaisille varastointitavoille

Varastointitapa	Rajoitukset	Suojausvaatimukset kattospinklereiden lisäksi
ST1	Varasto tulee rajata varastoalueisiin, joiden pinta-ala on enintään $2\ 150\ m^2$	Ei lisävaatimuksia
ST2	Telineistörivien välillä käytävien leveys vähintään 2,4 m	Ei lisävaatimuksia
ST3	Varasto tulee rajata varastoalueisiin, joiden pinta-ala on enintään $2\ 150\ m^2$	Ei lisävaatimuksia
ST4	Telineistörivien välillä käytävien leveys vähintään 1,2 m	Telineistösprinklereitä suositellaan <sup>1</sup>
	Telineistörivien välillä käytävien leveys on alle 1,2 m	Telineistösprinklerit vaaditaan
ST5	Vähintään 1,2 m leveät käytävät telineistöjen välissä tai varastoalueiden pinta-alat enintään $2\ 150\ m^2$	Telineistösprinklereitä suositellaan <sup>1</sup>
ST6	Vähintään 1,2 m leveät käytävät telineistöjen välissä tai varastoalueiden pinta-alat enintään $2\ 150\ m^2$	Telineistösprinklerit vaaditaan. Ellei vaatimusta voi toteuttaa, on joka hylly osastoitava pituus- ja poikittaissuunnassa tiiviillä, palamattomalla ja täyskorkeilla väliseinillä

<sup>1</sup> Telineistösprinklerit vaaditaan, jos vapaa tila varastoidun tavaran yläpinnasta kattospinklereihin ylittää 4 m.

<sup>2</sup> Varastoalueiden ympärillä tulee olla vähintään 2,4 m leveät käytävät.

### 4.11.2 Sprinklerisuojauksen laajuus

Kaikki rakennuksen ja sen kanssa yhteydessä olevan rakennuksen tilat on suojattava lukuun ottamatta seuraavassa lueteltuja poikkeuksia.

Kaikkien aukkojen sprinklatun ja sprinklaamattoman rakennuksen tai osaston välillä on palotapauksessa sulkeuduttava automaattisesti palo-osaston rakenteita vastaavan osaston aikaansaamiseksi.

Sprinklerisuojausta on harkittava seuraavissa tapauksissa, mutta poikkeus voidaan myös sallia huolellisen harkinnan perusteella, ellei tilassa oleva palokuorma estä poikkeuspäätöstä:

- palamatonta rakennetta olevat pesuhuoneet ja wc-tilat (ei kuitenkaan vaatehuoneet), joita ei käytetä palavien materiaalien säilyttämiseen
- suljetut porrashuoneet, joissa ei ole palavia materiaaleja ja jotka muodostavat palo-osaston
- suljetut pystysuorat kuilut; sprinkleriä ei tarvitse sijoittaa hydraulikäyttöisen hissien kuiluun (hydraulikäyttöisen hissien konehuone on kuitenkin sprinklattava)
- tilat, joiden suojaukseen on käytetty muita automaattisia sammutuslaitteistoja (kuten kaasu-, jauhe- ja vesi vaelulaitteistoja) edellyttäen, että näiden suunnittelussa ja asennuksessa on noudatettu CEA:n sääntöjä
- paperikoneiden märkää
- pakastinhuoneiden sprinklaus; pakastinhuoneet voidaan tapauskohtaisesti harkinnan perusteella jättää sprinklaamatta, mikäli palokuorma on pieni ja mikäli pakastinhuoneiden tilavuus on korkeintaan 30 m<sup>3</sup> tai mikäli palo-osastoidun pakastinhuoneen tilavuus on korkeintaan 200 m<sup>3</sup>
- kylmätilojen sprinklaus (kylmätiloilla tarkoitetaan maidon, vihannesten, lihan, kalan, ym. vastaavan säilyttämiseen tarkoitettuja viileitä tiloja; kylmätilat, joiden lämpötila on > 0 °C on sprinklattava).

Viranomaiset voivat hyväksyä myös muita poikkeuksia.

Sprinklerisuojausta ei tule asentaa seuraaviin, rakennuksen tai teollisuuslaitoksen tiloihin:

- siiloihin tai säiliöihin, jotka sisältävät kastumisesta turpoavia aineita
- teollisuusuunien, suolakylpyjen, sulatusaltaiden ym. kohteiden läheisyyteen, jos vedellä suoritettu sammutus lisää vaaraa
- alueille ja tiloihin, joissa veden purkautuminen saattaa aiheuttaa vaaraa
- sähkömoottorikäyttöisen hissien konehuoneet ja hissikuilut.

Näihin tapauksiin on harkittava muita sammutuslaitteistoja, jotka on suunniteltava ja asennettava CEA:n (SVK:n) sääntöjä noudattaen.

Seuraavat esimerkit varastointitavoista tai varastoitavista tavaroista eivät sovellu suojattavaksi ESFR sprinklereillä:

- tietyt varastot, joilla on epätavallisia palo-ominaisuuksia, kuten pehmopaperirullat
- avoimet palavat säiliöt
- sellaiset epätavalliset tavarat tai varastointitavat, joihin ESFR-sprinkler-suojauksen soveltuvuudesta ei ole kokeellista eikä tutkimuksellista näyttöä
- varastot, joissa varastoitavat tavarat tai varastointitavat eivät ole ennustettavissa
- erityisriskit, kuten aerosolit, palavien nesteiden varastot, alkoholit ja varastosäiliöt, jotka on valmistettu polypropyleenistä ja polyetyleenistä
- kumirenkaat.

#### **4.11.3 Sammutuslaitteistot P1- ja P2-luokan asuinrakennuksissa**

Vaatimukset on tarkoitettu Suomen rakennusmääräyskokoelman osan E1 tarkoitukseen sopivaksi sammutusjärjestelmäksi (P2-luokan 3–4-kerroksinen rakennus tai enintään 4-kerroksinen P1-luokan asuinrakennus).

Kerrostalojen sprinklerilaitteiston tarkoituksena on estää yleissyttyminen siinä huoneessa, jossa palo syttyy. Samoin järjestelmän on kyettävä estämään palon leviäminen ikkunoiden tai aukkojen kautta viereiseen asuntoon tai palotekniseen osastoon. Sprinklerilaitteisto parantaa asukkaiden poistumismahdollisuuksia rakennuksesta sekä asukkaiden evakuointimahdollisuuksia palon syttyttyä [CEA 4001, 2004].

Koko rakennus varustetaan automaattisella sprinklerilaitteistolla lukuun ottamatta seuraavia tiloja:

- osastoitu, kylmä, käyttämätön ullakko (ullakon pinta-alan tulee olla rajoitettu osastoivilla väliseinillä)
- kylpyhuoneet ja WC-tilat, joiden pinta-ala ei ylitä 5 m<sup>2</sup>, edellyttäen että kattorakenteet täyttävät 60 min palonkestävyysvaatimuksen ja seinärakenteiden palonkestävyysaika on vähintään 15 min
- vaatekomerot, joiden pinta-ala on alle 2 m<sup>2</sup> ja jotka täyttävät edellisen kohdan vaatimukset palonkestävyysaikojen suhteen
- ulkoparvekkeet, ulkokäytävät ja portaat, jotka ovat ulkotilassa (ns. luhtikäytävät ja lasitetut parvekkeet on sprinklattava).

Sprinklaamattomat tilat eivät kuitenkaan saa muodostaa yhtenäistä sprinklaamatonta tilaa rakennukseen. Tällä pyritään estämään palon siirtyminen esimerkiksi piilotilojen kautta palo-osastoista toiseen.

Mikäli järjestelmässä käytetään rajallista vesivarastoa, tulee järjestelmän minimoitointa-ajan olla vähintään 30 min suurimmalla oletetulla mitoitusvirtaamalla.

Sprinklereiden tulee olla *Residential*-tyyppisiä kahta poikkeusta lukuun ottamatta:

- kuiva-asennuksissa, mikäli residential-sprinklereitä ei ole suunniteltu tätä käyttötarkoitusta varten
- hyväksytyä *Quick Response* -sprinkleriä voidaan käyttää, edellyttäen että samassa asunnossa on korkeintaan 4 sprinkleriä. Tätä sprinklerityyppiä voidaan lisäksi käyttää pesu- ja saunatilojen sekä ulkopuolisten tilojen suojauksessa.

Kunkin yksittäisen sprinklerin on kyettävä antamaan vähintään virtaama 68 l/min. Kun mitoituslalla olevat sprinklerit toimivat, minimivirtaama on 56,7 l/min ja 0,5 bar sprinkleriä kohden tai vähintään sprinklerivalmistajan antama vähimmäisvirtaama. Mitoituslalla oletetaan toimivan enintään 4 sprinkleriä, joista kaikkien tulee sijaita samassa asunnossa tai palo-osastossa. Residential-tyyppisten sprinklerien suurin suojausala on 13,4 m<sup>2</sup> ja Quick Response -sprinklerien 12 m<sup>2</sup>. Vastaavat arvot sivusprinkleriksi asennettuna ovat 13,4 m<sup>2</sup> ja 9 m<sup>2</sup>.

Sprinklereiden etäisyys lämmönlähteistä esitetään taulukossa 4.21.

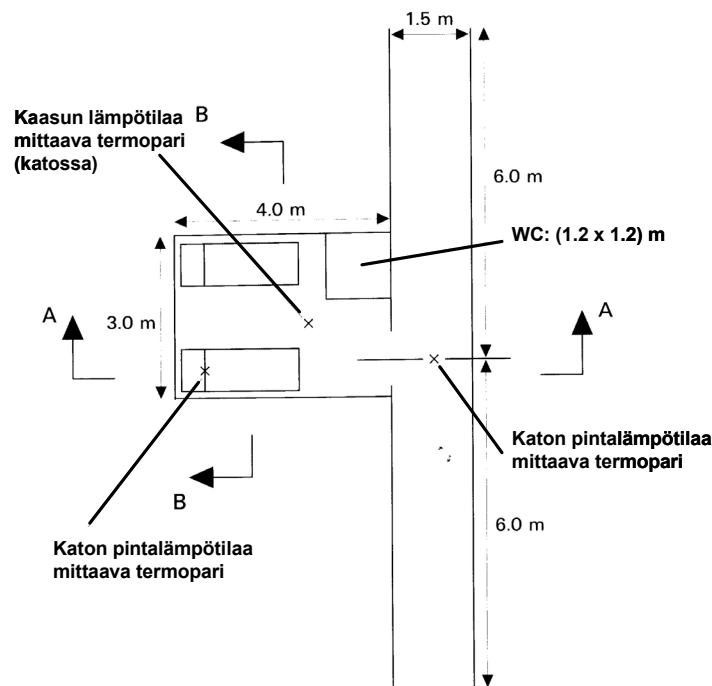
*Taulukko 4.21. Asuntosprinklereiden vähimmäisetäisyydet lämmönlähteistä [CEA 4001, 2004].*

Lämmönlähde	Vaakasuora vähimmäisetäisyys (mm) lähimmästä pisteestä sprinkleriin, jonka laukeamislämpötila on	
	57–77 °C	78–103 °C
avoimen tai suljetun takan sivusta/edusta	1 000 / 2 000	300 / 1 000
puuliesi	1000	300
keittiön etäisyydet (esim. seinään upotettu uuni)	500	250
eristämätön lämpöputki	500	250
eristämätön kuumavesiputki	300	150
lämmintilmapuhaltimen sivusta/edusta	600 / 900	300 / 500
lämmintivesivaraaja	150	100
valaisimet		
0–250 W	150	100
251–499 W	300	150

Seuraavassa esitetään IMO:n kiertokirjelmissä esiintyvät matkustajalaivojen hyttien ja hyttikäytävien palotestit, joiden suojaus toteutetaan sprinklereillä.

Hytin dimensiot (kuva 4.22): 3 x 4 m leveä sekä 2,4 m korkea hytti, johon liittyvä hyttikäytävä on 1,5 m leveä sekä 12 m pitkä ja 2,4 m korkea. Käytävän molemmat päät ovat auki. Hytissä tulee olla yksi 0,8 m leveä ja 2,2 m korkea ovi. Hytin seinät ovat 12 mm paksua ei-palavaa materiaalia, jonka päällä on 45 mm:n villaeriste. Käytävän seinät ja katto tulee olla 12 mm paksusta ei-syttyvästä materiaalista. Hytin ja käytävän kattoon tulee lisäksi 12 mm paksuinen äänieristyslevy, joka ei saa syttyä.

Lopuksi hytin ja käytävän seinälle tulee laittaa 3 mm:n paksuinen vanerilevykerros. Syttymisaika vanerille ei saa olla enempää kuin 35 s eikä liekinleviämisenopeus 350 mm matkalla saa olla enempää kuin 100 s.

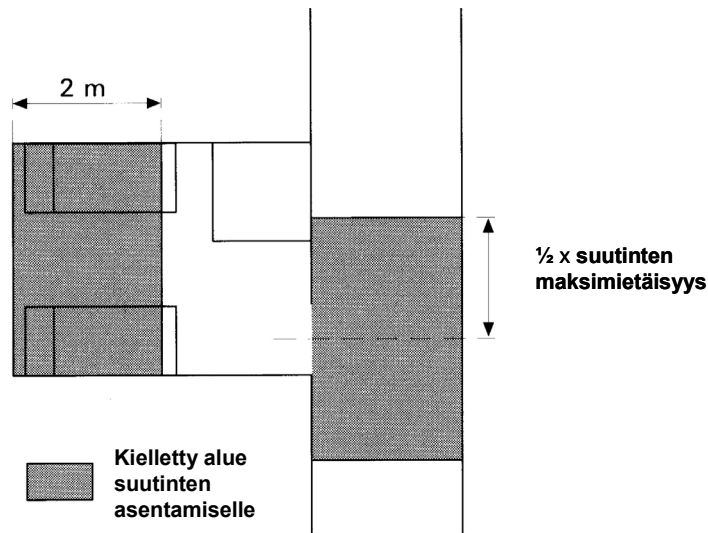


Kuva 4.22. IMO:n matkustajalaivojen hytti ja hyttikäytävän palotestin koejärjestelyt [IMO, 2001].

Suutinten asennus tulee suorittaa valmistajan ohjeiden mukaisesti. Kuitenkin kaksi asiaa on otettava huomioon:

- Jos vain yksi suutin asennetaan hytin sisälle, sitä ei saa asentaa kuvaan 4.23 merkitylle (harmaalle) alueelle.

- Käytävän suuttimia ei saa asentaa oven keskilinjalta lähemmäksi kuin mitä kunkin suuttimen maksimisuutinvälin puolikas antaa etäisyydeksi (ks. kuva 4.23). Poikkeuksen tässä muodostavat järjestelmät, joissa nimenomaan käsketään asentaa suuttimet ovensuuhun.



Kuva 4.23. Kuvan 4.22 järjestelyihin liittyen kielletyt alueet (harmaalla) suutinten asentamiselle [IMO, 2001].

Hytin palokuorma koostuu kahdesta tyypillisestä hyttisängystä, joissa molemmissa on kaksi kerrosta. Sängyt tulee päällystää (2,0 x 0,8 x 0,1) m kokoisilla polyeetteripatjoilla, jotka on päällystetty puuvillakankaalla. Patjojen päälle tulee lisäksi samasta materiaalista tehdyt tyynyt (0,5 x 0,8 x 0,1 m<sup>3</sup>). Alimmille sängyille tulee vielä kolmas patja selkänöjäksi.

Patjojen koostumuksen tulee olla palonsuojakäsittlemättömiä polyeetteripatjoja, joiden tiheys on n. 33 kg/m<sup>3</sup>. Samoin myös puuvillakankaan tulee olla palonsuojakäsittlemättömiä materiaalia, jonka neliöpainon tulee olla n. 140–180 g/m<sup>2</sup>. Patjan pal ominaisuudet tulevat määritetyksi ISO 5660-1 -standardin kautta, taulukko 4.22.



Taulukko 4.22. ISO-5660-kartiokalorimetrikoe, jolla määritetään näytteen palo-ominaisuudet.

<b>Koelosuhteet: säteilyvoimakkuus 35 kW/m<sup>2</sup>. Vaakasuuntainen asento. Näytteen paksuus 50 mm.</b>	
<b>Kokeet</b>	<b>Polyeetterivaaho</b>
syttymisaika (s)	2–6
3 minuutin keskiarvo lämpöteholle, $q_{180}$ (kW/m <sup>2</sup> )	270 ± 50
tehollinen lämpöarvo (MJ/kg)	28 ± 3
kokonaislämmöntuotto (MJ/m <sup>2</sup> )	50 ± 12

Käytävän palokuorma koostuu samaisesta patjamateriaalista, jota on pinottu 8 kpl kooltaan (0,4 x 0,4 x 0,1) m päällekkäin erilliseen teräskehikkoon, joka estää pinoa kaatumasta.

Kaikkiaan 6 paloskenaariota toteutetaan em. palokuormilla:

- alemman sängyn sytyttäminen
- ylemmän sängyn sytyttäminen
- tuhopolttokoe, jossa roiskutetaan 1 litra mineraalitärpähtiä alemmalle sängylle sekä sen selkänojalle
- suutinten toimintahäiriö ja alemman sängyn sytyttäminen, jossa kaikki hytin suuttimet ovat toimimattomassa tilassa ja rinnakkaistoiminta hytin ja käytävän suutinten välillä on estetty
- käytävän palo, palokuorma sijaitsee yhden suuttimen alapuolella
- käytävän palo, palokuorma sijaitsee kahden suuttimen välissä.

Hyväksymisrajat esitetään taulukossa 4.23.

Taulukko 4.23. IMO:n hytti- ja hyttikäytävän palotestien hyväksymisrajat [IMO, 2001].

		30 s maksimikeskiarvo katon pintalämpötilassa hytissä, °C	30 s maksimikeskiarvo kaasun lämpötilassa hytissä, °C	30 s maksimikeskiarvo katon pintalämpötilassa käytävällä, °C	Suurin sallittu patjavaurio, %		Muu kriteeri
					Alempi sänky	Ylempi sänky	
Hytti kokeet	Alempi sänky	360	320	120	40	10	Käytävän puolella olevat suuttimet eivät saa toimia <sup>3</sup>
	Ylempi sänky				–	40	
	Tuho-poltto	–	–	120	–	–	–
Käytävä		–	–	120 <sup>1</sup>	–		Vain kaksi toisistaan riippumatonta suutinta voi toimia <sup>4</sup>
Suutinten toimintahäiriö		–	–	400 <sup>2</sup>	–		–

<sup>1</sup> Jokaisessa kokeessa lämpötila on mitattava suoraan palopesäkkeen päältä.

<sup>2</sup> Tuli ei saa levitä pitkin käytävää niiden suutinten alapuolella, jotka ovat lähinnä oviaukkoa.

<sup>3</sup> Ei soveltuva, jos suuttimet (tai suutin) on linkitetty käytävän suuttimiin.

<sup>4</sup> Ei soveltuva, jos käytävän suuttimet on linkitetty toisiinsa.

Huomioitavaa on, että jokaisen kokeen jälkeen tehdään silmämääräinen arvio yläsängyn ( $D_{UB}$ ) ja alasängyn ( $D_{LB}$ ) patjavaurioista noudattaen seuraavia kaavoja:

$$D_{LB} = \frac{(D_{HM} + 0.25 \times D_P + D_{BR})}{2.25} \text{ ja} \quad (4)$$

$$D_{UB} = \frac{(D_{HM} + 0.25 \times D_P)}{1.25}, \quad (5)$$

joissa  $D_{HM}$  tarkoittaa syntyneitä vauriota vaakasuuntaisiin patjoihin [%],  $D_P$  vaurioita tyynyihin [%] ja  $D_{BR}$  on alasängyn selkänojaan muodostunut vaurio [%].

#### 4.11.4 Tilasuojaus

Tilasuojausammutteen valinnassa on monta tekijää, joista ensimmäisenä on haarukoitava, soveltuuko sammute miehitettyihin vai miehittämättömiin tiloihin. Monesti kysymys on myös taloudellisesta näkökannasta, jossa palon syttymisen todennäköisyys sekä järjestelmän käyttökustannukset arvioimalla voidaan päästä eri lopputuloksiin. Tämä tulee

kyseeseen lähinnä tilanteissa, joissa tilasuojaus perustuu "ennakoivaan suojaamiseen". Esimerkkinä tällaisesta tapahtumasta voisi mainita tilat, joissa käsitellään useasti syttymisherkkiä materiaaleja, jolloin kaikki toiminta tilassa tulisi tapahtua vähähappisissa olosuhteissa (toiminta tällaisessa tilassa ei välttämättä vaadi ihmisten läsnäoloa). Tällöin useasti toistuvasta suojauksesta ei myöskään saisi aiheutua kohtuuttomia kustannuksia itse järjestelmän käytön toistettavuuteen eikä itse tilalle (pintojen kontaminaatio, syövyttävyys).

Toinen ääripää on palon sammuttaminen tilasuojasammutteilla, jolloin on otettava huomioon syttymishetkellä tilassa olevat ihmiset sekä näiden poistuminen (sammutteen ja hajoamistuotteiden myrkyllisyys, sammutteen aiheuttaman näkyvyyden heikkeneminen), rakenteiden suojaus tai koko tilan vaikutus sammutteen toimintaan (koko, tiiveys, ilmavirtaukset jne.). Tässä tilanteessa kustannukset eivät ole määräävin tekijä, vaan palon sammuttaminen tulisi tapahtua tehokkaasti sekä palon leviäminen tulisi estää ilman, että siitä aiheutuu ihmisille ylimääräistä vaaraa.

#### 4.11.4.1 Miehitetyt tilat

Vesisumu on eräs ratkaisu miehitettyjen tilojen sammutteeksi, koska vesi on elementtinä myrkytön ja veden sammuttavat ominaisuudet ovat erittäin hyvät. Vesisumulla päästään samaan tehokkuuteen sprinklerijärjestelmän kanssa paljon vähäisemmällä vesimäärällä (n. 150–200 g/m<sup>3</sup>), jolloin vedestä aiheutuvat rakenneauriot jäävät paljon vähäisemmiksi. Vesisumulla voidaan helpommin sammuttaa suuria paloja, koska vesi näin ollen höyrystyy nopeammin ja tätä kautta saavuttaa hyvät sammutusominaisuutensa. Vesipisaran pienuuden takia sen tunkeutumisoimaisuudet ovat heikot, mutta järjestelmä pystyy kuitenkin hallitsemaan palon ja rajoittamaan sen palotilaan. Suutinten automaattinen toiminta takaa myös sen, että koko tila ei kastu vaan ainoastaan se osa, jossa esim. laukaisulämpötila on otollinen.

Vesisumujärjestelmän sopivuudesta tilasuojaukseen on huomioitava seuraavat seikat:

- Vesipisaroiden koko, sillä niiden pitäisi olla riittävän pieniä, jotta ne kulkeutuisivat ilmavirtauksen mukana suoraan palopesäkkeisiin eivätkä seiniin tai muihin kohteisiin.
- Pienillä pisaroiden on puolestaan lyhyt elinikä, joka ei sovellu palopesäkkeiden sammuttamiseen, ellei kosteuspitoisuutta saada nostettua lisäämällä tilaan entistään vettä tai vesihöyryä.
- Tila olisi lisäksi kyettävä pitämään suojattuna jopa kymmeniä minutteja, jolloin välttyään uudelleensyttymiseltä.

- Sammutettavan tilan vesihöyry ei ole tasaisesti jakautunut, vaan se on taipuvainen olemaan joko alhaalla tai ylhäällä.

Miehitettyjen tilojen suojuksessa ollaan standardoimisen osalta tällä hetkellä tekemässä uutta EN-standardia vesisumulle, joka käsittää myös sammutustestit. Luonnoksessa vesisumua testataan mm. toimistojen suojaamiseen. IMO:lla on olemassa menetelmiä laivojen lastiruumien sekä konehuoneiden tilasuojuukseen niin vesisumulle, kaasuille kuin aerosoleillekin.

Muita miehitettyjen tilojen sammutteita ovat inerttikaasut (poislukien CO<sub>2</sub>), jotka ovat myrkyttömiä, mutta niiden fysiologiset vaikutukset tulevat kuitenkin esiin niiden syrjäyttäessä hapen palotilasta, joten poistumiselle on olemassa tietyt raja-arvot (ks. kohta 4.7). Tilasuojuksella on usein pyrittävä laukaisemaan ja täyttämään tila (esim. IMO) paljon varhaisemmassa vaiheessa kuin muilla järjestelmillä. Lisäksi järjestelmälle asetetaan ajallisia vaatimuksia pitää yllä saavutettu pitoisuus. Tämä voi olla osin hankalaa esim., jos tilassa on vuotokohtia.

Inerttikaasuilla on joukko hyviä ominaisuuksia sammutteina, sillä ne eivät jätä ainejäämiä, kaasupitoisuus on kauttaaltaan sama koko tilassa (suunnittelupitoisuuteen saakka) ja ne sammuttavat niin piilopaloja kuin suuriakin palopesäkkeitä. Inerttikaasut ovat aidosti puhtaita sammutteita, joita esiintyy muutenkin ilmakehässä. Lisäksi ne eivät muodosta hajoamistuotteita. Järjestelmät voidaan rakentaa hyvinkin yksinkertaisesti, jolloin kustannukset jäävät selvästi esim. korkeapainevesisumujärjestelmiä pienemmäksi.

Halogenoituja hiilivetyjä voidaan myös käyttää miehitettyjen tilojen suojuukseen, mutta näiden käytössä ongelmana on suunnittelupitoisuuden ja LOAEL-rajan pieni ero. Lisäksi palamistuotteet ovat syövyttäviä kaasuja (PFC- ja HFC-sammutteet).

Seuraavassa esitetään IMO:n laivojen konehuone- ja rahtialusten pumppuhuoneiden suojuukseen soveltuvat testimenetelmät eri järjestelmille. Tiedot perustuvat viitteeseen [IMO, 2001].

Vesisumujärjestelmää testataan IMO:n MSC/Circ.668:n perusteella. Testissä vesipohjaisen järjestelmän (tässä tapauksessa vesisumun) tulee pystyä toimimaan spray-, allas- ja luokan A paloja vastaan laivan konehuoneessa sekä rahtialusten pumppuhuoneessa. A-kategorian konehuoneet jaetaan kolmeen luokkaan niiden koon perusteella taulukon 4.24 mukaisesti.

Taulukko 4.24. A-kategoriaan kuuluvien laivojen konehuoneiden tyypilliset ominaisuudet [IMO, 2001].

Luokka	Moottoritilan tietoja	Tyypillinen tilavuus, m <sup>3</sup>	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

Koetta varten rakennetaan konehuone, jonka sisällä on moottoria muistuttava malli, ns. *mock-up*. Moottorin runkona on eräänlainen kaappi, jonka leveys on 1 m, pituus 3 m ja korkeus 3 m. Kaapin päällä on kaksi terässylinteriä, joiden läpimitta on 0,3 m ja pituus 3 m, sekä 3 m<sup>2</sup>:n levy. Lopuksi konetta ympäröivät 4 m x 6 m x 0,5 m korkeat levyt, joiden yhteispinta-ala on 8 m<sup>2</sup>.

Itse konehuoneen tilavuus määräytyy luokille 1–3 seuraavasti:

- Luokka 1: koe suoritetaan 10 m x 10 m x 5 m tilassa, jossa on 2 m x 2 m ovi-aukko.
- Luokka 2: lattiapinta-alaa pitää olla vähintään 100 m<sup>2</sup>, korkeus 5–7,5 m, ilmanvaihto 2 x 2 m ovesta ja kokonaistilavuus huoneella oltava 3 000 m<sup>3</sup>.
- Luokka 3: lattiapinta-alaa pitää olla vähintään 300 m<sup>2</sup> sekä huonekorkeutta vähintään 10 m, ilmansaantia ei saa tässäkään rajoittaa.

Paloskenaarioita on kaikkiaan 13, ja niissä vaihdetaan niin polttoainetta kuin polttoaineen paikkaa lattia- ja korkeussuunnassa. Sprayliekkinä käytetään bensiiniä tai kevyttä dieseliä, josta on kolme eri tasoa taulukon 4.25 mukaan.

Taulukko 4.25. A-kategorian sprayliekin ominaisuudet luokkien 1–3 konehuonepaloille [IMO, 2001].

Tulen laatu	Matalapaine	Matalapaine, pieni virtaus	Korkeapaine
Spraypolttimen suutin	laaja kartiokulma, 120–125°	laaja kartiokulma, 80°	standardi kartiokulma 6 barin paineessa
Nimellinen öljypaine	8 bar	8,5 bar	150 bar
Öljyn virtaama	0,16 ± 0,01 kg/s	0,03 ± 0,005 kg/s	0,05 ± 0,002 kg/s
Öljyn lämpötila	20 ± 5 °C	20 ± 5 °C	20 ± 5 °C
Nimellinen lämpöteho	5,8 ± 0,6 MW	1,1 ± 0,1 MW	1,8 ± 0,2 MW

Testin suoritus tapahtuu siten, että öljyallaspaloja poltetaan 2 min, öljyspraypaloja sekä heptaanialtaita 5–15 s ja puutapulia 30 s ennen kunkin sammuttamista. Sammutusajan tulee olla ajallisesti pienempi luku seuraavista kahdesta vaihtoehdoista: joko 15 min tai 50 % valmistajan ilmoittamasta ajasta. Öljyspray tulee sulkea 15 s palon sammumisen jälkeen. Hyväksymiskriteerinä on yksinkertaisesti se, ettei palo saa levitä tai syttyä uudelleen.

IMO:n MSC/Circ. 848 käsittää niin ikään laivojen kone- ja pumppuhuoneiden suojauksen kaasusammutusjärjestelmillä (sekä halokarbonit että inertit kaasut). Sammuttavana pitoisuutena tulee käyttää kuppipoltin (*cup burner*) testeistä saatuja minimiarvoja kullekin sammutteelle, johon on lisättävä vähintään 20 %:n varmuuskerroin. Taulukoon 4.26 on otettu NFPA 2001 -standardissa mainittujen halokarbonien sekä inerttien kaasujen kuppipoltinkokeiden sammuttavat pitoisuudet n-heptaanille.

Taulukko 4.26. Kuppipoltinkokeiden sammuttavat pitoisuudet n-heptaanille [NFPA 2001, 2004].

Aine	Pitoisuus, %	Aine	Pitoisuus, %
FC-3-1-10	5,5	HFC-23	12,9
FIC-1311	3,2	HFC-236fa	6,3
FK-5-1-12	4,5	IG-01	42
HCFC Blend A	9,9	IG-100	31
HCFC-124	6,6	IG-541	31
HFC-125	8,7	IG-55	35
HFC-227ea	6,6		

Sammutteen virtaamisajat riippuvat käytettävästä sammutteesta siten, että halokarbo-neilta vaaditaan 95 % suunnittelupitoisuudesta vähintään 10 s:n kuluessa ja inerttikaa-suilta 85 % suunnittelupitoisuudesta vähintään 120 s:n kuluessa.

Testitila on rakenteeltaan sama kuin mitä se on vesisumukokeiden 1 luokassa eli lattia-pinta-alaltaan 100 m<sup>2</sup> sekä korkeudeltaan 5 m. Ilmanvaihtumista ei saa kokeen aikana tapahtua. Moottorin malli on myös sama kuin mitä aiemmin esiteltiin.

Eri testitulirakenteita on kaikkiaan 9 (taulukko 4.27), ja niitä yhdistellen saadaan 5 varsinaista testitulikombinaatiota sammutuskoeita varten (taulukko 4.28).

*Taulukko 4.27. Eri testitulien rakenteet (IMO MSC/Circ. 848 -menetelmä). Sprayliekkien ominaisuudet on selitetty taulukossa 4.25 [IMO, 2001].*

Koe	Tulen rakenne	Polttoaine	Tulen paloteho, MW
A	76–100 mm (sisähalk.) kannu	heptaani	0,0012–0,002
B	0,25 m <sup>2</sup> allas	heptaani	0,35
C	2 m <sup>2</sup> allas	diesel/polttoöljy	3
D	4 m <sup>2</sup> allas	diesel/polttoöljy	6
E	matalapainespray	heptaani 0,16 ± 0,01 kg/s	5,8
F	matalapainespray, pieni virtaama	heptaani 0,03 ± 0,005 kg/s	1,1
G	korkeapainespray	diesel/polttoöljy 0,05 ± 0,002 kg/s	1,8
H	puutapuli	kuusi	0,3
I	0,10 m <sup>2</sup> allas	heptaani	0,14

*Taulukko 4.28. Eri testitulikombinaatiot [IMO, 2001].*

Testi nro	Tulen rakenne ja kokonaispaloteho
1	A x 8 kpl
2-a	B, E ja G. Yhteensä 7,95 MW
2-b	B ja I. Yhteensä 0,49 MW.
3	C, H ja F. Yhteensä 4,4 MW.
4	D x 1. Yhteensä 6 MW.

Sammutuskokeiden hyväksymiskriteerit ovat seuraavat:

- B-palojen tulee sammua 30 s:n kuluessa siitä, kun sammute on virrannut tilaan. Tilassa ei saa tapahtua uudelleensyttymistä tilan aukaisemisen yhteydessä.

- Sprayliekin polttoaineen syöttö tulee katkaista 15 s:n kuluessa sammutuksen päättymisestä, syöttö tulee käynnistää uudelleen 15 s:n kuluttua ennen tilan aukaisemista, eikä uudelleensyttymistä saa tapahtua.
- Testialtaissa tulee olla polttoainetta jäljellä vielä niin, että altaan pohja peittyy.
- Puutapulin massahäviö ei saa olla 60 %:a suurempi.

IMO:n MSC/Circ. 1007 kiertokirjelmä on puolestaan tarkoitettu pelkästään laivojen konehuoneen suojaukseen aerosoli- tai kaasusammutteilla. Aerosoleja voi tässä kokeessa käyttää joko pyroteknisesti laukaistuina (patruunat) tai johtamalla sammute erillisistä säiliöistä putkistoa pitkin tilaan. Suunnitelupitoisuudesta 85 % tulee saavuttaa 120 sekunnin kuluessa. Aerosolin muodostumisen yhteydessä syntyvä kaasu sekä itse aerosolihiukkasten määrä eivät saa ylittää niille annettuja NOAEL-rajoja. Aerosolin kuljettamiseen käytetty kaasu voi ylittää sille asetetun NOAEL-arvon, mikäli kaasu on halokarboni tai inertti, mutta tällöin on otettava huomioon kohdissa 4.7 ja 4.8 esiintyvät viitearvot.

Missään tapauksessa ei halokarbonateita tule käyttää aerosolin kuljettamiseen yli tämän LOAEL-arvon sekä inerttien kaasujen tapauksessa yli 52 %:n pitoisuuden.

Sammutustestin ainoana poikkeuksena verrattuna MSC/Circ.848 -menetelmään on se, että taulukossa 4.27 mainituista sprayliekeistä E ja G jäävät pois ja näin ollen on vain yksi sprayliekki (matalapaine tai pieni virtaama) varsinaisessa sammutuskokeessa.



Testitulen kombinaatiot ovat seuraavat (taulukko 4.29):

*Taulukko 4.29. Testitulikombinaatiot aerosolijärjestelmille (kirjaimet selitetty taulukossa 4.27).*

Testituli	Tulen rakenne ja kokonaispaloteho
1	A x 8 kpl
2	B ja I. Yht. 0,49 MW
3	C, H ja E. Yht. 4,4 MW
4	D. Yht. 6 MW

Vaatimukset ovat samat MSC/Circ.848:n kanssa, mutta lisävaatimuksena tulee uudelleensyöttämisen koe, joka suoritetaan kahta kannua käyttäen (taulukko 4.27, koe A) 30 s:n kuluessa sammutusjärjestelmän toimimisen jälkeen. Toisen kannuista tulee olla lattiatasossa ja toisen katon rajassa, hallin toisessa nurkkauksessa. 10 minuuttia testien jälkeen näihin kahteen kannuun ohjataan sähköinen sytytys, jota pidetään päällä 10 s neljä kertaa, minuutin tauko välissä, ja viimeisen alkaessa 14 min:n päästä testien jälkeen. Mikäli kannut syttyvät ja palavat vähintään 30 s tai kauemmin, koe tuomitaan hylätyksi.

#### 4.11.4.2 Miehittämättömät tilat

Yleistä miehittämättömien tilojen suojaukselle on, että se antaa laajat puitteet eri sammuttevaihtoehdoille, koska ihmisten läsnäolon todennäköisyyden miehittämättömissä tiloissa voidaan olettaa olevan hyvin pieni. Näin ollen ainoa sammutteen valintaan vaikuttava tekijä muodostuu pääosin taloudellisuuteen vaikuttavista tekijöistä.

Halogenoituja hiilivetyjä käytetään paljon mm. puolustusvoimien ajoneuvojen ja lentokoneiden (mm. F-16-hävittäjät) moottoritilojen suojauksessa. Vaahtoja käytetään tyypillisesti puolestaan siviilikohteissa, kuten moottoriveneiden ja linja-autojen moottoritilan suojauksessa.

Taulukossa 4.30 esitetään inertoivat pitoisuudet eri kaasuille.

*Taulukko 4.30. Inertoivat pitoisuudet halokarboneille sekä inerttikaasuille käyttäen polttoaineena eri kaasuja [NFPA 2001, 2004].*

<b>Polttoaine</b>	<b>Halokarboni/inerttikaasu</b>	<b>Inertoiva pitoisuus, %</b>
i-butaani	HFC-227ea	11,3
	HCFC Blend A	18,4
	IG-100	40
1-kloori-1, 1-difluorietaani	HFC-227ea	2,6
1,1-difluorietaani	HFC-227ea	8,6
	HCFC Blend A	13,6
difluorimetaani	HFC-227ea	3,5
	HCFC Blend A	8,6
etaani	IG-100	44
etyleenioksidi	HFC-227ea	13,6
heksaani	IG-100	42
metaani	FK-5-1-12	8,8
	HFC-125	14,7
	HFC-227ea	8
	HFC-23	20,2
	HCFC Blend A	18,3
	IG-100	37
	IG-541	43
pentaani	HFC-227ea	11,6
	IG-100	42
propaani	FK-5-1-12	8,1
	FC-3-1-10	10,3
	FC-3-1-10	9,9
	FC-5-1-14	7,3
	FIC-1311	6,5
	HFC-125	15,7
	HFC-227ea	11,6
	HFC-23	20,2
	HFC-23	20,4
	HCFC Blend A	18,6
	IG-541	49
	IG-100	42

#### 4.11.5 Kohdesuojaus

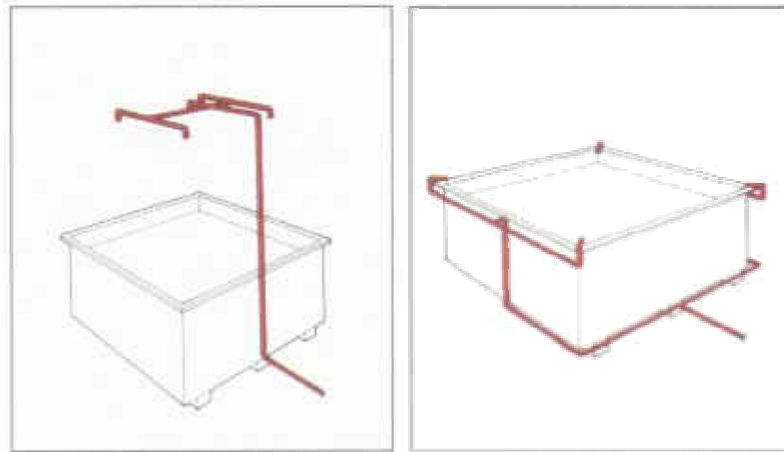
Kohdesuojauksen tarkoitus on ensisijaisesti alkavan palon sammuttaminen ja sen rajaaminen ilman, että muut sammutusjärjestelmät osallistuvat sammutukseen. Kohdesuojauksella ylletään usein myös sellaisiin paikkoihin, joihin esim. tilasuojasammutteiden vaikutus kestää ajallisesti kauan. Kohdesuojauksen tukena tulisi tavallisesti olla jokin muu riippumaton sammutusjärjestelmä, jolla voitaisiin kohdesuojauksen epäonnistuttua suojata muu tila ja estää palon leviäminen.

Sopivan kohdesuojauksen valinnassa on tilasuojaukseen verrattuna enemmän teknisiä ja suunnittelullisia parametreja, minkä takia kohdesuojausjärjestelmät ovat hyvinkin yksilöllisiä. Järjestelmän valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat mm.

- kohde (elektroninen laite, moottori, jokin erikoissovellus, paloluokka)
- sammutte (sopivuus suojaukseen, muiden järjestelmien sammutteet, sammutteen leviäminen välittömään ympäristöön)
- suojauksen laajuus (kohteen koko, palon leviäminen)
- muut sammutusjärjestelmät (toiminta rinnakkain tai erikseen, sammutteen riittävyys).

Kohdesuojauksessa käytettäviksi sammutteiksi voidaan lukea kaikki paitsi kaasut, sillä näiden paikallinen sammutusvaikutus on luonnollisesti hyvin lyhytkestoista, koska kaasut "karkaavat" kohteesta pois. Kaasuista ainoastaan hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>) voidaan käyttää kohdesuojaukseen sen jäähdyttävän ominaisuuden takia.

Kuvassa 4.24 on kaksi tyypillistä esimerkkiä toteutetusta altaan kohdesuojauksesta, jossa suuttimet ovat joko sivulla tai kohteen päällä tai kyseessä on kombinaatio näistä kahdesta. Suojaus ei saa aiheuttaa esim. palavan nesteen läiskymistä yli reunojen.



Kuva 4.24. Nestealtaan kohdesuojaus sekä päältä että sivulta. Lähde: [www.firefire.com](http://www.firefire.com).

Seuraavassa on otettu tarkasteltavaksi eri sammuttein toteutettavia kohdesuojausjärjestelmiä.

### Jauhejärjestelmät

Järjestelmät sopivat, aivan kuten käsisamuttimienkin kohdalla, A- ja B-luokan paloille. Kaasupaloissa on kuitenkin huomattava se, että kaasupaloja sammutettaessa pitää myös pystyä sulkemaan kaasuvuoto, jotta ei syntyisi kaasun ja ilman muodostamaa räjähtävää seosta. Myös palavien nesteiden osalta niitä tulisi kyetä jäähdyttämään niin, ettei uudelleensyntyviä kaasuja enää muodostu. Tämä koskee etenkin F-luokan paloja, joissa lämpötilat muodostuvat varsin korkeiksi. NFPA 17 -standardissa mainitaan, että kaliumbikarbonaatti- ja kaliumsuoloihin pohjautuvia jauheita ei tulisi käyttää A-luokan paloihin, koska yhdisteiden pintavaikutus on vain hetkellinen.

Seuraaviin kohteisiin tai aineisiin ei tulisi käyttää jauhejärjestelmiä [NFPA 17, 2002]:

- itsestään happea synnyttävät aineet, kuten selluloosanitraatti
- palavat metallit, kuten natrium, kalium, magnesium, titaani ja zirkonium
- kytevät palot ja tilanteet, joissa jauhe ei pysty tunkeutumaan palopesäkkeeseen.

Jauheiden partikkelit saattavat myös rikkoa koneiden laakereita, ja elektronisten komponenttien ollessa kyseessä jauheiden hajoamistuotteet ja jauheiden vesiliuokset voivat aiheuttaa syöpymistä. Jauhejärjestelmät ovat usein teollisen toiminnan kohdesuojausjärjestelmiä, joissa mm. jauhepöly ei muodostu niin vakavaksi ongelmaksi kuin esimerkiksi elintarviketeollisuudessa.

## Vesipohjaiset järjestelmät

Vesipohjaisten järjestelmien pääkäyttökohteita ovat ravintoloiden keittiötilat, joissa palon syttyminen tapahtuu yleisimmin keittolevyjen päältä esim. rasvakeittimistä. Vesipohjaisten järjestelmien sammutustehokkuus testataan UL 300 -standardiin pohjautuvalla menetelmällä, jossa järjestelmän suorituskyky testataan kahdessa paloskenaariossa: keittotason päällä oleva palo ja hormiin levinnyt palo.

Seuraavaksi esitetään kyseisen UL 300 -standardin olennaisimmat osat.

Esimerkki kannettomien rasvakeittimien aiheuttaman palon sammuttamisesta: Rasvaa tai öljyä on lämmitettävä maksimiteholla. Kun lämpötila on 260–316 °C, lämpötilanousu ei saa olla suurempi kuin 7,2 °C/min. Öljyä lämmitetään tällä teholla, kunnes tapahtuu itsesytyminen. Kun itsesytyminen on tapahtunut, annetaan tulen palaa vapaasti lämmityksen ollessa päällä enintään 2 minuuttia, minkä jälkeen lämmitys kytketään pois ja sammuttaminen voi alkaa. Keitinrasvan itsesyttymislämpötilan pitää olla vähintään 362,8 °C.

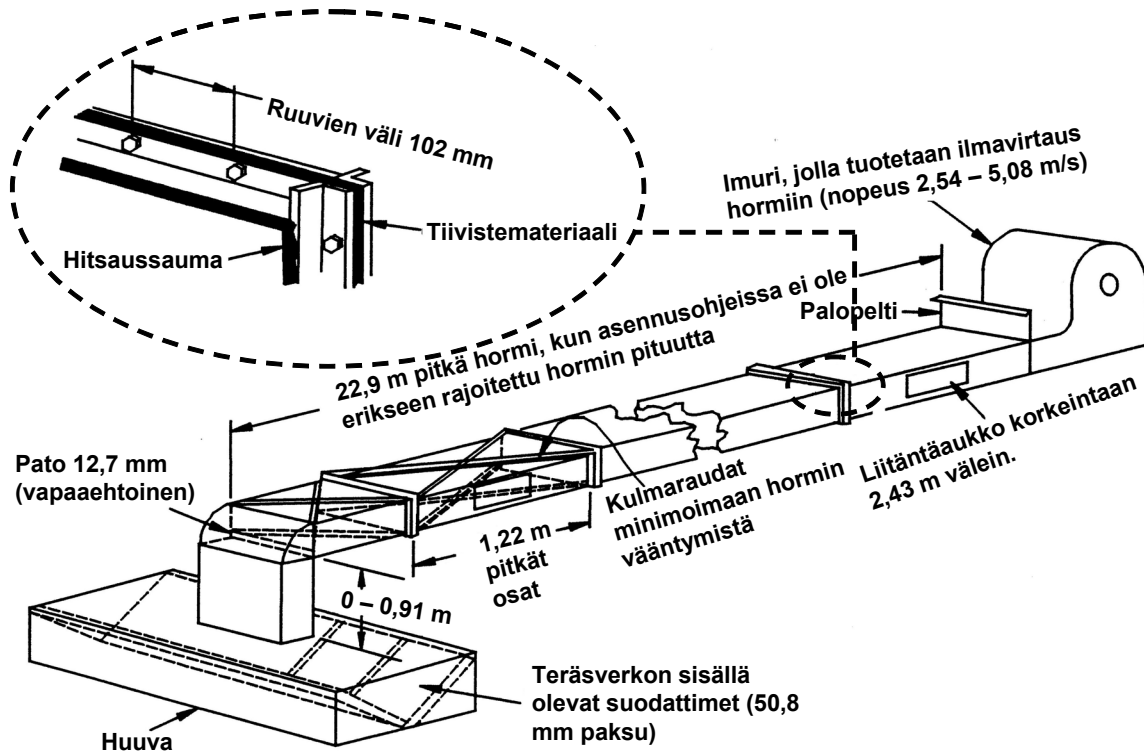
Sammutusjärjestelmältä edellytetään seuraavaa:

- Sen on pystyttävä sammuttamaan liekehtivä palo sammutteen purkautuessa kokonaan palon päälle.
- Syviltä rasvakeittimiltä, wokkipannuilta ja kattiloilta vaaditaan, ettei sammuttamisen jälkeen tapahdu itsesyttymistä 20 minuuttiin tai siihen saakka, kunnes rasva on jäähtynyt alle itsesyttymisrajan (vähintään 33,3 °C), jos jäähtyminen kestää pidempään kuin 20 minuuttia.
- Muille kuin em. keittimille rasvan itsesytyminen on estettävä vähintään 5 minuutin ajan.

Lisäksi mitataan järjestelmän aiheuttama rasvan läiskyminen niin nesteen palaessa kuin kiehuessakin (viereiset keittoastiat).

### *Huuvulle ja hormille tehtävä täysmittainen sammutustesti*

Huuvan dimensioiden on oltava suurimmat mitä asennusohjeiden mukaan voi olla. Huuvan pitää olla kuitenkin vähintään 1,2 m leveä, ja leveyttä voidaan suurentaa 0,3 m:n korotuksin. Huuvan pituuden tulee olla jokin seuraavista: 1,2; 1,7; 2,4; 3,6; 4,2; 4,9; 6,1 tai 7,3 m. Jos pituus on yli 7,3 metriä, sitä seuraavat pituuden korotukset ovat 1,8 m. Huuvan rakenteen tulee olla terästä, jonka minimipaksuuden on oltava 2,01 mm (kuva 4.25).



Kuva 4.25. UL 300 -standardin mukainen huuva sekä hormi liitännöineen [UL 300, 1998].

Hormin poikkileike voi olla joko suorakaiteen muotoinen tai ympyrä. Jos järjestelmä on testattu suorakaiteen muotoiselle hormille, voi sitä käyttää myös ympärysmitaltaan samanpituisen ympyrään hormiin kuin mitä on suorakaiteen ympärysmitta. Jos järjestelmä sopii ainoastaan ympyränmuotoiseen hormiin, on se myös testattava ympyränmuotoisella hormilla.

Suorakaiteenmuotoisen hormin ympärysmitta on oltava 1,24, 1,90, 2,54, 3,17, 3,81, 7,62 m tai suurempi. Ympyränmuotoisen hormin ympärysmitta on oltava puolestaan 0,61, 0,81, 1,02, 1,22, 2,4 m tai suurempi. Suorakaiteenmuotoinen hormi asennetaan siten, että sen leveämpi kylki on vaakasuoraan ja lyhyemmän sekä pidemmän kyljen leveyksien suhteen tulee olla  $1:2 \pm 10\%$ .

Hormin pituuden tulee olla 6,1, 15,2 tai 2,9 m tai muu asennusohjeessa mainittu pituus. Asennusaukkojen tulee olla vähintään 2,4 m välein, ja niiden kautta voidaan tarpeen tullen suorittaa huolto- tai rasvanpuhdistustoimenpiteet.

Hormiliitännöihin tulee asentaa tiivisterengas, jotta vältetään mahdolliselta rasvan vuotamiselta. Tiivistemateriaalin tulee kestää lämpöä, joka testissä aiheutuu. Lisäksi hormi tulee tukea 2,4 metrin välein.

Hormin tulee laskea kohti huuvaa 25,4–76,2 mm jokaista 3 metriä kohden. Tällä tavoin rasvan ylimäärä valuu huuvan suodattimeen eikä jää seisomaan hormiin. Huuvasta on noustava 914 mm:n pystysuora hormiliitántä varsinaisen hormin vaakatasoiseen osaan. Pystysuoran osan yläosassa on 12,7 mm:n sulku tai pato, jolla osa rasvasta pidetään hormissa testiä varten.

Hormin päässä on imupuhallin sekä palopelti, joilla voidaan säätää hormissa virtaavan ilman määrää.

#### *Sammutustesti huuvalle sekä hormille*

Palo aiheutetaan käyttämällä palolähteenä syvää rasvakeitintä. Testi voidaan myös "käynnistää" vaihtoehtoisesti saman pinta-alan omaavalla, vähintään 2,01 mm paksulla ja vähintään 229 mm syvällä, keittimellä.

Rasvana käytetään joko kasvirasvaa tai sulatettua eläinrasvaa. Rasvaa levitetään suihku-na hormin sisäpintoihin. Rasvan levittämisessä voidaan käyttää apuna myös vesipohjaisia käsisammuttimia, jotka on täytetty rasvalla. Myös vaihtoehtoiset rasvanlevitystavat sallitaan. Rasvaa tulee olla neliometriä kohden noin 1,5 kg/m<sup>2</sup>. Suodattimille levitetään myös rasvaa 3,7 kg/m<sup>2</sup>. Levittäminen voi tapahtua joko suihkuttamalla, upottamalla tai levittämällä kiinteää rasvaa suodattimen päälle. Lämpötilaa hormissa mitataan K-tyypin termoelementeillä, jotka on sijoitettu hormin poikkileikkeen keskikohtaan 3,6 ja 6,1 m:n kohdalle huuvan sisäänmenosta.

Ilmanvirtausta säädellään testin aikana seuraavasti:

- syttymisen tapahduttua hormissa vapaa virtaus kuitenkin ilman imuripuhallinta
- hormin ilmavirtaus suljetaan palopellillä, kun sammutusjärjestelmä alkaa toimia
- hormin imupuhaltimen virtausnopeus 152–305 m/min muulloin kuin em. tapaus-ten aikana.

Rasvakeittimeen aiheutetaan tulipalo ulkoisella energianlähteellä, kuten kaasupolttimella tai -soihdulla. Noin 260–350 kW:n lämpöteho riittää sytyttämään palon koko hormin ja huuvan alalle. Palavia nesteitä, kuten dieseliä ym., ei saa käyttää testissä.

Kun syttyminen on tapahtunut, lämmönlähteet tulee sammuttaa. Kun energianlähde on sammutettu ja jälkimmäisen termoelementin lukema stabiloituu yli 482 °C:seen tai nousee siitä, voidaan aloittaa 30 sekunnin lähtölaskenta. Laskentaa ei aloiteta, jos lämpötila laskee energianlähteen sulkemisen jälkeen tai muuten alkaa laskea laskennan aikana. Laskennan jälkeen sammutusjärjestelmä laukaistaan manuaalisesti.

Testin hyväksyminen todetaan lämpötilan jyrkkänä pudotuksena. Lämpötila ei saa nousta missään vaiheessa. Pieniä lämpötilavaihteluita ei huomioida. Samoin pienten liekkien tulee sammua itsestään, eikä niihin käytetä ylimääräistä sammutemäärää. Lisäksi sammumisen jälkeen huuva ja hormi tarkastetaan silmämääräisesti niin, että rasvaa oli riittävästi ylläpitämään paloa testin aikana eikä sammuminen johtunut näin rasvan loppuun palamisesta vaan sammutteesta.

### **Vesivalelu- ja vesisumujärjestelmät**

Kohdesuojaus vesivalelu- ja vesisumujärjestelmillä perustuu seuraaviin sammutusmekanismeihin:

- *Pinnan jäähdytys:* Jäähdytykseen tarvitaan koko pinnan peittävä vesisuihku. Jäähdyttäminen ei sovellu kaasuntuville aineille eikä aineille, joiden leimahduspiste on alle 60 °C.
- *Höyryn avulla tukahduttaminen:* Soveltuu riittävänä isoille paloille, joissa lämpö riittää höyrystämään veden. Tällöin höyry sekä jäähdyttää palokaasuja että syrjäyttää hapen. Ei sovellu materiaaleille, jotka lämmön vaikutuksesta tuottavat happea.
- *Pinnan emulgointi:* soveltuu ainoastaan veteen sekoittumattomille nesteille.
- *Laimentaminen:* soveltuu ainoastaan vesiliukoisille nesteille.
- *Muut tekijät:* pinnan peittäminen vedellä, esim. kiinteät ja jähmeät aineet, joiden tiheys on selvästi suurempi kuin veden.

Sammutusjärjestelmät soveltuvat ennen kaikkea nestepaloihin, muuntajiin, öljykytkimiin, moottoreihin, kaapelihyllyjen ja kaapeliläpivientien suojaamiseen, A-luokan paloihin, kiinteisiin polttoaineisiin ja pyroteknisiin materiaaleihin ja polttoainesäiliöiden suojaamiseen.

### **Vaahtojärjestelmät**

Vaahtojärjestelmät ovat yleensä sellaisten kohteiden suojausmenetelmä, joissa kalvo-vaahtojen ominaisuudet pääsevät hyvin esille. Palot ovat näin luonteeltaan hyvin pitkälti B-luokan nestepaloja.

IMO:n kansipalojen sammutustesteissä käytetään vaahtotyyppinä kaikkia kolmea eli kevyttä-, keski- ja raskasvaahtoa, joille kullekin on omat sammutusvaatimuksensa tau-lukon 4.31 mukaisesti.



Taulukko 4.31. IMO:n meriturvallisuuskomitean (MSC) kiertokirjelmien 582, 798 ja 670 mukaiset kansipalokokeiden sammutustestit eri vaahdotyypeille [IMO, 2001].

Vaahdotyyppi	Allas, m <sup>2</sup>	Vettä/polttoainetta, litraa	Veden virtausnopeus, litraa/min	Suutinpaine, bar	Sammutusvaatimukset
raskas	4,5	90/(144 ± 5)	11,4	6,3	sammutusaika <sup>1</sup> <5 min + jälkipolttoaika <sup>2</sup> <15 min 25 %:lle kokonaispinta-alasta
keski	1,73	30/(55 ± 5)	3	5	sammutusaika <sup>1</sup> <120 s
kevyt	1,73	30/(55 ± 5)	6,1	5	sammutusaika <sup>1</sup> <120 s

<sup>1</sup> Vaahdon annetaan virrata korkeintaan samainen aika.

<sup>2</sup> Jälkipolttokoe tehdään asettamalla neliönmuotoinen astia (sis. 2 l polttoainetta) varsinaisen sammuneen altaan päälle ja sytyttämällä tämä pienempi allas uudelleen.

Raskasvaahdolle tehtävässä kokeessa polttoaineen annetaan palaa ennen sammuttamista (60 ± 5) s. Keskivaahdolle vastaava aika on 180 s ja kevytvaahdolle tehtävässä kokeessa (60 ± 5) s.

A-vaahtojen käyttö rajoittuu kohdesuojauksen osalta rakennuspalojen torjuntaan, johon liittyvästä sammutustekniikasta ja -taktiikasta NFPA 1145 -standardi mainitsee mm. seuraavaa.

#### *Vaahdotyyppin valinta sekä torjuntatekniikat*

Märkä vaahdot (*wet foam*). Käyttö soveltuu ennen kaikkea epäsuoraan ja suoraan palon torjuntaan. Märän vaahdon läpätunkevuus huokoiseen materiaaliin tekee vaahdosta oivallisen juuri jälkisammutuksessa. Märällä vaahdolla ei ole runkoa pysyä esimerkiksi pystysuorilla pinnoilla.

Fluidimainen vaahdot (*fluid foam*). Vaahtoja voidaan käyttää peittämään palavia pintoja sekä kohteen pintojen jäähdyttämiseen. Fluidivaahdot voidaan myös käyttää lyhytaikaisesti kohteen suojauksessa. Myös tämä vaahdot liukuu pois pystysuorilta pinnoilta.

Jäykkä ja kuiva vaahdot (*stiff and dry foam*). Vaahdot koostuvat pienistä kuplista. Vaahdot tulisi soveltaa kohteen suojaukseen ja peittämiseen, koska vaahdot pysyvät hyvin pystysuorilla ja käännettyillä pinnoilla.

#### *Rakennuksen ulkopuolisen ja sisäpuolisen tulipalon sammuttamiseen liittyviä asioita*

Suora sammutus: Ensimmäisenä pyrkimyksenä yleensä on saada jäähdytettyä palon lähde. Märkää tai fluidivaahdot tulisi käyttää samoilla periaatteilla kuin pelkkää vettä. Käytettäessä matalaenergiajärjestelmää olisi ei-ilmasekoitteen suuttimen valinta edullisinta,

jos halutaan vaikuttaa suihkun kantamaan, läpituokeutuvuuteen ja suihkun muotoon. Tämä on olennainen asia varsinkin rakennusten sisäpuolisen palon sammuttamisessa.

Jälkisammutus: Jälkisammutuksella pyritään imeyttämään vaahtoneste huokosiin materiaaleihin sekä jäähdyttämään palavia pintoja. Käytettävän vaahton laatu riippuu paljolti kohteen geometriasta. Esimerkiksi pystyrakenteille vaahton rungon tulisi olla selvästi kestävä, jolloin vaahto pysyy pinnoilla eikä valu pois. Vaahton imeyttäminen rakenteiden sisään tulisi tehdä luonnollisesti määrällä vaahdolla. On suositellumpaa aloittaa ensin määrällä vaahdolla ja jatkaa sitten jälkisammutusta kuivalla vaahdolla. Kuiva vaahto luovuttaa vettä paljon kauemmin kuin märkä vaahto. Kuivalla vaahdolla voidaan lisäksi tunkeutua piilopaloihin.

Kohteen suojaus: Kun harkitaan kohteen suojausta esimerkiksi pinnoittamattomalle puulle tai muulle huokoiselle pinnalle kuten kasvillisuudelle tai kankaalle, alkutoimenpide olisi kastella kohde ensin märkää vaahtoa käyttäen. Tämän jälkeen kohde voidaan päällystää kuivalla vaahdolla, joka estää näin uudelleensyttymisen. Jos kohteena on joku muu kuin absorboiva pinta, kuten vinyyli, metalli, lasi, pinnoitettu puu, lasivilla jne., on suotavampaa päällystää suojattava kohde suoraan kuivalla vaahdolla (CAFS-vaaho). Märän vaahton käyttö voi heikentää kuivan vaahton kiinnitarttumista. Muiden samanaikaisesti toimivien kiinteiden sammutusjärjestelmien toiminta voi olla haitaksi vaahton sammuttaville ominaisuuksille. Myös suuret korkeuserot sekä jyrkät kulmat esim. letkussa voivat haitata vaahton muodostumista.

## 5. Sammutteiden ja sammutusjärjestelmien vaikutus ihmiseen ja ympäristöön

### 5.1 Sammutteiden ja niiden hajoamistuotteiden biologiset vaikutukset

#### 5.1.1 Hengitystiet

Suurin osa ihmiseen siirtyvistä haitallisista yhdisteistä levittyy juuri hengitysteiden kautta, sillä keuhkoista aineet siirtyvät edelleen verenkiertoon ja sitä kautta muualle elimistöön.

Sammutteen joutuminen hengitysteihin tapahtuu jauheilla ja aerosoleilla pienten partikkeleiden kulkeuduttua ilmapvirtausten mukana hengitysilmaan. Erityisen hankalaksi jauheiden ja aerosolien kulkeutumisen keuhkoihin tekee näiden aineiden vesiliukoisuus, eli partikkelit eivät tulekaan pois keuhkoista uloshengityksen mukana. Partikkeleiden koko korreloi suoraan niiden tunkeutumiskyvyn kanssa. Mitä pienemmistä partikkeleista on kyse, sitä syvemmälle ne voivat tunkeutua keuhkoihin. Partikkeleiden aerodynaamisen halkaisijan ollessa 5 µm kykenevät partikkelit kulkeutumaan keuhkorakkuloihin, kun taas tätä suuremmat partikkelit jäävät ylempiin hengitysteihin. Sammutusjauheiden partikkelikoko on tyypillisesti 10–100 kertaa suurempi kuin aerosoleilla, minkä takia nämä eivät välttämättä kulkeudu kovinkaan syvälle alempiin hengitysteihin. Esimerkiksi ilmaston hiukkaskoostumusta tutkittaessa tyypilliset partikkelikoot ovat PM<sub>2,5</sub> ja PM<sub>10</sub>, joissa alaindeksi viittaa partikkelien halkaisijaan [µm]. Työsuojelusäädöksissä on asetettu työskentelyilman yleiset pölypitoisuusraja-arvot orgaaniselle pölylle 5 mg/m<sup>3</sup> ja epäorgaaniselle pölylle 10 mg/m<sup>3</sup> [www.ttl.fi].

ABC-jauheiden sisältämän diammoniumvetyfosfaatin hajoamisprosessissa syntyy myrkyllisiä ja syövyttäviä höyryjä, jotka sisältävät ammoniakkia, typen oksideja ja fosforin oksideja, jotka voivat ärsyttää keuhkojen kudosta. Typpiyhdisteiden, kuten nitraattien, palaessa on myös mahdollisuus, että syntyy myrkyllistä syaanivetyä (HCN). Karbonaattiyhdisteiden palaessa muodostuu lisäksi CO<sub>2</sub>- ja CO-kaasuja.

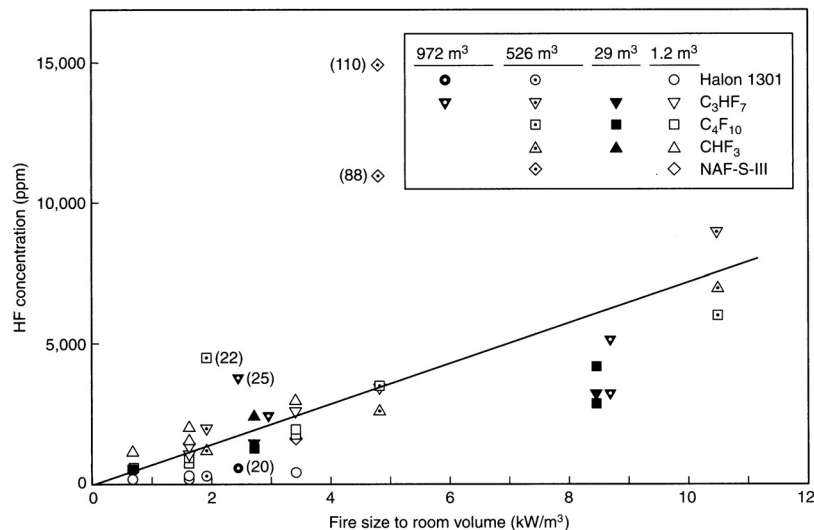
Halogenoitujen hiilivetyjen hajoamistuotteena syntyvä fluorivety (HF) on erittäin myrkyllinen kaasu, joka syövyttää jopa lasia. Lyhytaikaisen altistuksen seurauksena aine syövyttää silmiä, ihoa ja hengitysteitä. Kaasun tai höyryn hengittäminen voi aiheuttaa keuhkopöhön. Aine voi aiheuttaa veren niukkakalkkisuutta. Altistuminen työhygieenistä raja-arvoa suuremmille pitoisuuksille voi johtaa kuolemaan.

Työhygieeniset raja-arvot (HTP = haitallinen tunnettu pitoisuus) HF-yhdisteelle Suomessa ovat

- HTP: 1.8 ppm; 1,5 mg/m<sup>3</sup> (8 h) (iho)
- HTP: 3 ppm; 2,5 mg/m<sup>3</sup> (15 min) (iho).

Fluorivedyn muodostumiseen vaikuttavat sekä halogenoidun hiilivedyn määrä että palon suuruus. Kuvassa 5.1 esitetään HF-yhdisteen muodostumismäärä verrattuna palotehon ja tilan koon suhteeseen.

Skaggs ym. [1999] mittasivat tutkimuksessaan mm. fluorivetyä arvoja kaupallisille FM-200- ja FE-36-sammutteille. Heidän kokeissaan poltettiin 1,5 m<sup>3</sup>:n tilassa 30 kW:n heptaaniallasta (suhde 20 kW/m<sup>3</sup>) ja sammutettiin se 10 %:n sammutepitoisuudella. Fluorivedyn maksimiarvo FM-200-sammutteelle oli 2667 ppm ja FE-36-sammutteelle 1394 ppm.



Kuva 5.1. Fluorivedyn maksimipitoisuudet palotehon ja huoneen koon suhteen funktiona eri kaasuilla. Kaasupitoisuudet olivat kaikissa (paitsi NAF-S-III, 8,6 %) noin 20 % kuppipoltintestin arvoja korkeammat. Polttoaineena tiloissa käytettiin dieseliä ja heptaania. Kaikissa kokeissa (paitsi kokeet, joissa aika ilmoitettu suluisissa) sammutusajat olivat alle 17 s [NFPA 2001, 2004].

### 5.1.2 Sydämen toiminta

Sydämen rytmihäiriöitä aiheuttavat sammutteet rajautuvat pelkästään halogenoituihin hiilivetyihin. Nämä voivat vaikuttaa joko yksinään tai yhdessä adrenaliini-hormonin kanssa sydänlihaksen toimintaan. Tyypillinen oire on juuri sydämen rytmihäiriö, mutta

altistuminen voi johtaa pahimmassa tapauksessa sydänkohtaukseen. Miehitetyissä tiloissa käytettävät NOAEL- ja LOAEL-arvot on esitetty aiemmin taulukossa 4.15.

### 5.1.3 Keskushermosto

Useimmat vaahdot pitävät sisällään etyleeniglykolia, josta on mainittu, että lyhytaikaisesta altistumisesta voi seurata vaikutuksia munuaisiin ja keskushermostoon, mikä johtaa munuaisten toimintahäiriöön ja aivovaurioon. Altistuminen voi aiheuttaa tajunnantason laskua. Pitkäaikainen altistuminen voi johtaa epänormaaleihin silmien liikkeisiin.

Työhygieeniset raja-arvot (HTP) etyleeniglykolille ovat

- HTP: 20 ppm; 50 mg/m<sup>3</sup> (8 h) (iho)
- HTP: 40 ppm; 100 mg/m<sup>3</sup> (15 min) (iho)
- LD<sub>50</sub>-arvo rotalle suun kautta 4 700 mg/kg.

Sammutteiden hajoamistuotteena syntyvät kaasut (CO<sub>2</sub>, CO ja HCN) ovat myös hermostoon vaikuttavia aineita. Näiden vaikutus perustuu aivojen kudosten hapen puutteeseen. Oireet ovat kutakuinkin samankaltaiset kuin alkoholimyrkytyksessä eli uneliaisuus ja koordinaatiokyvyn puute, joka voi lopulta johtaa kuolemaan.

Kemikaalikorteissa sanotaan lyhytaikaisen altistumisen vaikutuksista CO:n osalta seuraavaa:

Aineelle altistuminen voi vaikuttaa vereen, verenkiertoelimiin ja keskushermostoon. Altistuminen suurille pitoisuuksille voi johtaa tajunnantason laskuun ja kuolemaan. Lääkärin tekemä tarkkailu on tarpeen. CO:n toistuva tai pitkäaikainen altistuminen voi vaikuttaa keskushermostoon ja verenkiertoelimiin ja johtaa hermoston ja sydämen toimintahäiriöihin. CO:n epäillään vaikuttavan lisääntymiseen, kuten aiheuttavan hermostollisia ongelmia, alentunutta syntymäpainoa, lisääntyneitä kuolleen sikiön synnytyksiä ja synnynnäisiä sydänvaurioita [www.ttl.fi].

Työhygieeniset raja-arvot CO:lle Suomessa ovat

- HTP: 30 ppm; 35 mg/m<sup>3</sup> (8 h)
- HTP: 75 ppm; 87 mg/m<sup>3</sup> (15 min)
- LC<sub>50</sub>-arvo hengittämällä rotalla 4 tunnin kokeessa: 1 807 ppm.

Lyhyt- ja pitkäaikaisesta altistumisesta syaanivedylle voi olla vaikutuksia soluhengitykseen, mikä johtaa kouristuksiin ja tajuttomuuteen. Altistuminen voi johtaa kuolemaan. Pitkäaikainen tai toistuva altistuminen voi vaikuttaa kilpirauhaseen.

- HTP: 10 ppm; 11 mg/m<sup>3</sup> (15 min) (iho)
- LC<sub>50</sub>-arvo hengittämällä rotalla 30 minuutin kokeessa: 142 ppm
- välitön myrkyllisyys kalalle LC<sub>50</sub> (96 h) = 53–518 µg/l.

#### **5.1.4 Geneettiset vaikutukset, suvunjatkamiskyky ja kehityshäiriöt**

Propyleeni- ja etyleeniglykoli ja häkä aiheuttavat vaaraa perimälle, sikiölle tai lisääntymiselle [työministeriön päätös 1044/91]. Propyleeniglykolin LD<sub>50</sub>-arvo rotalle suun kautta on 20–30 g/kg. Propyleeniglykolia käytetään myös sammutusvaahdoissa. Syaanivedyn (HCN) pitkäaikaisvaikutusten on todettu vaikuttavan kilpirauhasen toimintaan.

Sammutteiden sisältämät fluoriyhdisteet eivät hajoa kovinkaan nopeasti, joten ne kertyvät elimistöön, kuten maksaan. Tällöin vaikutukset ilmenevät pitkällä aikavälillä yksilön mukaan. AFFF-vaahtojen PFOS-yhdisteen on todettu mm. aiheuttaneen lintukuolemia lintujen luontaisen rasvakerroksen puuttuttua ja tästä seuranneen hypotermian vuoksi [Moody ja Field, 2000]. Tällä hetkellä mm. Isossa-Britanniassa on meneillään ehdotus [UK, 2004], jonka mukaan maahan ei saisi tuoda aineita (muutkin kuin sammutusvaahdot), jotka sisältävät painoprosenttiin nähden enemmän kuin 0,1 % PFOS-yhdisteitä.

## **5.2 Sammutusjärjestelmän toiminnan vaikutus ihmiseen**

Sammutusjärjestelmän toiminta vaikuttaa monella eri tavalla ihmisen käyttäytymiseen. Sillä on merkitystä niin ihmisten poistumiseen kuin palomiesten toimintaan. Seuraavassa käydään esimerkein läpi asioita, joihin sammutusjärjestelmien toiminta voi johtaa.

### **5.2.1 Lämpö**

Sammutusjärjestelmän yksi toimintaperiaatteista on aiheuttaa käytettävällä sammutteella palamisketjuun häiriö, jossa lämpötilaa saadaan muutettua palamisen kannalta epäedulliseen suuntaan. Palotilanteessa lämpö voi siirtyä ihmiseen kolmella eri mekanisilla: johtumalla (esim. kuumien pintojen kosketus), kuljettumalla (esim. kuuma höyry) sekä säteilemällä.

Vedellä sammutusmekanismi toimii myös muualla kuin liekkialueella (esim. jauheet), jolloin ympäröivän tilan kosteuspitoisuus nousee. Suurella kosteuspitoisuudella on palon leviämisen ja sammumisen kannalta hyvät puolensa, mutta vesihöyry pitää sisällään paljon lämpöenergiaa ja näin vaikuttaa paljon alhaisemmissa lämpötiloissa myös ihmisen toimintaan ja toiminnan kestoon. Etenkin hengitystiet ovat paljon herkemmat kuumille vesihöyryille kuin iho.

Koettu lämpötilan nousu liittyy paljon lämpövuohon, joka ilmaisee energiamäärän pinta-alayksikköä kohden. Kohdesuojauksessa ja käsiammuttimien käytössä sammute pyritään ohjaamaan läheltä suoraan palopesäkkeeseen. Mikäli sammute ei sovellu sammuttamiseen tai polttoaineen tai sammutteen kaasuuntuminen on muuten voimakasta, aiheutuu helposti tilanne, jossa sammuttamisen jälkeinen hetkellinen lämpövuoto palopesäkkeen lähellä on varsin voimakas. Nestemäisten polttoaineiden sammutukseen liittyy aina myös riski, että polttoainetta roiskuu ympäristöön.

Kaasusammutteiden toiminta viilentää aina sammutettavaa tilaa, koska sammutteiden höyrystyminen ja paineen mataloituminen sitoo lämpöä ympäristöstä. Aivan suutinten läheisyydessä voi tällöin aiheutua iholle paleltumia. Vesisumu voidaan tuoda joissakin järjestelmissä palotilaan kuumana höyrynä, jolloin oleskelu suuttimen välittömässä läheisyydessä voi aiheuttaa iholle palovammoja. Hiilidioksidijärjestelmien toiminta perustuu, hapen syrjäyttävän vaikutuksen lisäksi, hiilidioksidijään jäädyttävään vaikutukseen. Tämä on tyypillistä varsinkin kohdesuojauksessa sekä käsiammuttimien käytössä. Jään lämpötila on  $-79\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Joutuessaan suurina määrinä iholle jää voi aiheuttaa vakavia paleltumia.

### **5.2.2 Savu**

Savun näkyvin komponentti on noki, jota syntyy kaikissa palamisprosesseissa. Sammutusjärjestelmän toiminta aiheuttaa melkein aina ylimääräisiä ilmavirtauksia, jotka saattavat kuljettaa savua mukanaan ympärillä oleviin tiloihin. Esimerkiksi vesisumulla on varsin tehokas kyky poistaa savua palotilasta. Varsinaista sammutteista aiheutuvaa savua ei kuitenkaan toimivista järjestelmistä muodostu.

### **5.2.3 Näkyvyys**

Näkyvyyden menettäminen haittaa pelastustyöntekijöitä sekä pakenevia ihmisiä (ja eläimiä). Näkyvyyden menetys voi aiheuttaa myös tilan ahtauden tunnetta ja paniikinomaista käyttäytymistä poistuvissa ihmisissä.

Sammutusjärjestelmät voivat osaltaan pienentää tai lisätä näkyvyyttä mm. käytettävän sammutteen mukaan. Palopesäkkeen partikkelit voivat levitä laajemmalti mutta myös kuljettua pois palotilan välittömästä läheisyydestä ilmavirtausten myötä. Samoin järjestelmän toiminta voi lennättää esineitä ja haitata näin näkyvyyttä tai levittää paloa. Sammutteiden partikkelit (jauheet, aerosolit) samoin kuin vaahto vähentävät näkyvyyttä, jolloin pintojen (seinät, lattia, esineet ym.) hahmottaminen vaikeutuu ja voi aiheuttaa vaaratilanteita (esim. aukot lattiassa).

#### 5.2.4 Palamistuotteet

Kaikista materiaaleista syntyy monia myrkyllisiä palamistuotteita. Materiaalin kemiallinen hajoaminen riippuu vahvasti lämpötilasta ja hapen saannista. Monimutkaisesta hajoamisprosessista huolimatta palamistuotteiden vaikutukset on jaettavissa hermostoon vaikuttaviin (narkoottiset, esim. CO ja HCN) ja syövyttäviin vaikutuksiin (esim. HF).

Sammutusjärjestelmän toiminta voi vaikuttaa palamistuotteiden syntyyn mm. laskemalla ympäristön lämpötilaa ja happipitoisuutta. On kuitenkin tiettyjä tyyppiä sisältäviä materiaaleja (esim. jäykkä polyuretaanivaaho), jotka synnyttävät enemmän syaanivetyä (HCN) kytevässä palossa kuin liekehtivässä palossa.

#### 5.2.5 Happipitoisuus

Happipitoisuuden aleneminen elimistössä voi johtua palamistuotteiden (esim. CO ja HCN) joutumisesta elimistöön tai palotilan vähähappisista olosuhteista. Ensin mainittu liittyy veren huonontuneeseen kykyyn kuljettaa happea elimistöön (karboksihemoglobiini), mikä ei suoranaisesti liity sammutusjärjestelmistä aiheutuvaan ongelmaan, vaan ongelmaksi muodostuu, varsinkin kaasusammutteiden osalla, palotilan vähähappinen ilma.

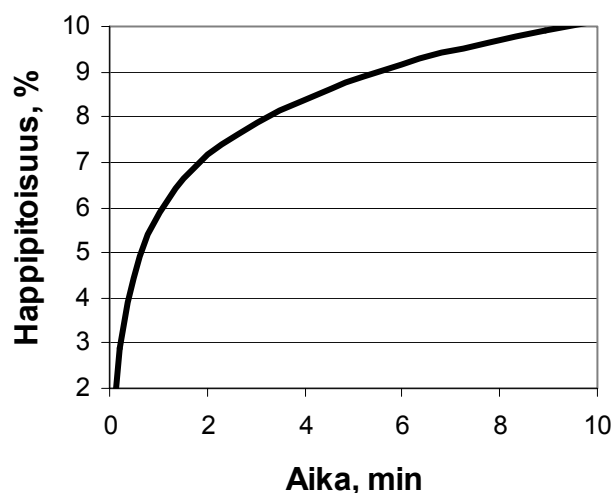
Normaalisti ihmisen elimistö aistii vähähappisuuden ja pyrkii kompensoimaan tilanteen nostamalla hengitystaajuutta sekä veren virtausnopeutta. Vähähappisissa olosuhteissa ihmisen käyttäytyminen ja vaikutukset happipitoisuuden mukaan voidaan jakaa neljään luokkaan:

- 20,9–14,4 %:n O<sub>2</sub>-pitoisuus: Vähäisissä määrin vaikutusta mm. hämärän näkökykyyn.
- 14,4–11,8 %:n O<sub>2</sub>-pitoisuus: Hengitysrytmin ja sydämen sykkeen nousu, vähäisissä määrin psyko-motorististen toimintojen hallinnan heikentymistä, lyhytmuistin huonontuminen, vaikeutuva päätöksentekokyky sekä fyysisen suorituskyvyn laskeminen.



- 11,8–9,6 %:n O<sub>2</sub>-pitoisuus: Mentaaliprosessointi ja hermolihaskontrolli heikkenevät, päätöksenteko- ja arviointikyky laskenut. Henkinen tunnetaso vaihtelee merkittävästi. Hengitystaajuus ja sydämen toiminnot kiihtyneet edellisestä tasosta.
- 9,6–7,8 %:n O<sub>2</sub>-pitoisuus: Päätöksenteon ja ajattelukyvyyn raju pudotus, joka johtaa tajunnan menetykseen ja hengityksen lakkaamiseen ja lopulta kuolemaan.

Sammutusjärjestelmien osalta kaasusammutteet voivat helpostikin saada em. vähähapaiset olosuhteet syrjäyttäessään hapen pois palotilasta, minkä vuoksi sammutteille on määritetty pitoisuusmäärät ja näitä vastaavat altistumisajat.



Kuva 5.2. Ihmisen tajunnantason menettämiseen kuluva aika pienillä happipitoisuuksilla [Purser, 1995].

Kuvassa 5.2 esitetään arvio, kuinka happipitoisuuden väheneminen ja aika, jolloin ihminen menettää tajunnan tason, korreloivat. Käyrä sijoittuu selvästi alemmaksi kuin mitä se on esim. NFPA 2001 -standardissa mainituille inerttikaasujen aiheuttamalle tilan happipitoisuudelle ja poistumisajalle.

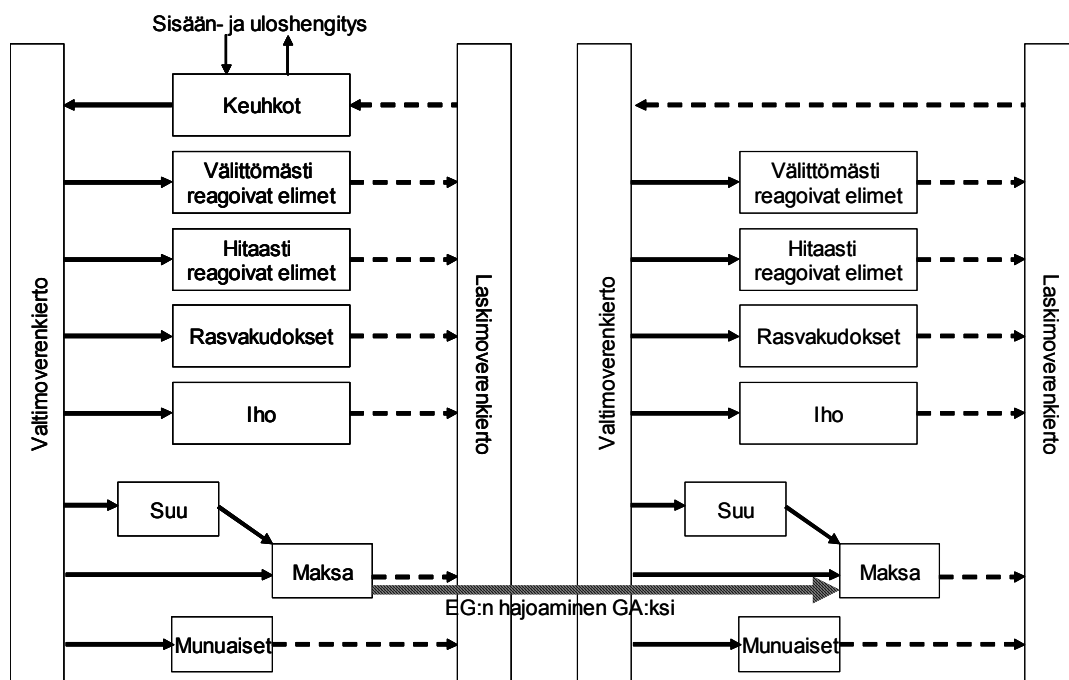
### 5.2.6 PBKP-malli

PBPK-mallilla (*Physiologically-Based Pharmacokinetic Model*) voidaan kuvata matemaattisesti jonkin aineen kulkeutumista biologiseen järjestelmään. Mallilla voidaan kuvata esimerkiksi ihmisen sisäänhengityksen aikana kulkeutuneen aineen määrää keuhkoihin ja aineen kulkeutumista edelleen pääverenkiertoon.

Mallia voidaan käyttää periaatteessa minkä tahansa aineen myrkyllisyyden tutkimiseen. Tutkimisessa käytetään eläinkokeista saatuja pohjatietoja, joita mallilla ekstrapoloidaan ihmisille vastaaviksi pitoisuuksiksi.

Sammutteiden osalta myrkyllisyyttä on tutkittu viime aikoina juuri halokarboneiden osalta. Malli käyttää eläinkokeiden perusteella saatuja pitoisuuksia (yksikkönä tavallisesti mg/L), joilla 5 min:n altistamisen jälkeen vielä havaitaan sydänlihaksen herkistyminen yhdessä tai ilman adrenaliinipistosta. Tätä vastaavaa eläinkokeista saatua arvoa käytetään mallissa pohjatietoina, jotta voidaan määrittää ihmiselle korkein altistusaika kussakin pitoisuudessa. Tärkein parametri mallissa on ihmisen pääverenkiertoon joutu- neen aineen suurin mahdollinen pitoisuus, jonka kautta altistumisajat määräytyvät.

Seuraavassa kuvataan lyhyesti, kuinka mm. useissa sammutusvaahdoissa käytetyn etyleeniglykolin (EG) ja sen hajoamistuotteen glykolihapon (GA, *Glycolic Acid*) kulkeutuminen elimistöön tapahtuu PBKP-mallissa.



Kuva 5.3. PBKP-mallin esitys kaaviomaisesti [Corley ym., 2000].

Kuvan 5.3 esittämässä kaaviossa voidaan aineelle altistuminen tuoda malliin mm. ihon, suun tai hengitysteiden kautta. Samoin nähdään, että jonkin elimen tai elintoiminnon altistuminen johtaa ennen pitkää myös muiden elimien saastumiseen. Aineen varastoituttua maksaan ja hajottua siellä tarkastellaan puolestaan hajoamistuotteiden vaikutusta elimistöön. Eri tavoin altistuminen ja monimutkaiset hajoamisprosessit elimistössä

on kuitenkin osin tiedettävä kokeellisten tulosten perusteella, jolloin tarvittavien syöttötietojen määrä voi helposti kasvaa suureksi.

## 5.3 Ympäristövaikutukset

### 5.3.1 Ilmakehä

Ilmakehäämme kohdistuvat rasitukset ovat joko otsonikerrosta heikentäviä tai ilmastoa lämmittäviä reaktioita. Sammutusaineista kielletyt halonit sisältävät klooria ja bromia, jotka katalyyttinä toimiessaan hajottavat ilmakehämme otsonia. Ilmaston lämpeneminen johtuu lyhyesti maanpinnasta tulevan lämpösäteilyn absorboitumisesta ilmakehäämme. Väliaineen lisääntyessä lämpösäteily lisää vastaavasti ilmastomme lämpötilaa.

Halonien korvaajilla, HFC- ja PFC-yhdisteillä, ei ole otsonia tuhoavaa vaikutusta (ODP, *Ozone Depleting Potential*), mutta niillä on sen sijaan pitkä elinikä ja suuri ilmastoa lämmittävä vaikutus (GWP, *Global Warming Potential*). Taulukossa 5.1 esitellään em. yhdisteiden ilmastoa lämmittäviä ominaisuuksia. Yhdisteiden GWP-arvoja verrataan suhteessa hiilidioksidin (GWP=1) ympäristökuormitukseen.

Taulukko 5.1. HFC- ja PFC-yhdisteiden GWP-arvot [www.epa.gov].

Yhdiste	Elinikä, vuotta	GWP
CO <sub>2</sub>	50-200	1
FK-5-1-12	0,014	1
HFC-23 (CHF <sub>3</sub> )	270 264 260	12240 11700 12000
HFC-125 (C <sub>2</sub> HF <sub>5</sub> )	29 32,6 29	3450 2800 3400
HFC-227ea (C <sub>3</sub> HF <sub>7</sub> )	34,2 36,5 33,0	3660 2900 3500
HFC-236fa (C <sub>3</sub> H <sub>2</sub> F <sub>6</sub> )	240 209 220	9650 6300 9400
Perfluoripropaani (C <sub>3</sub> F <sub>8</sub> )	2600 2600 2600	8690 7000 8600
Perfluoributaani (C <sub>4</sub> F <sub>10</sub> )	2600 2600 2600	8710 7000 8600
Perfluoriheksaani (C <sub>6</sub> F <sub>14</sub> )	3200 3200 3200	9140 7400 9000
Rikkiheksafluoridi (SF <sub>6</sub> )	3200 3200 3200	22450 23900 22200

Taulukkoon 5.2 listataan puolestaan NFPA 2001 -standardissa mainitun HCFC Blend A -kaasuseoksen sisältämät klooriyhdisteet, joilla kullakin on otsonikerrosta hävittävä vaikutus. Vertailun vuoksi samassa taulukossa esitetään myös kielletyt halonissammutteet.

Taulukko 5.2. HCFC Blend A -sammuteseoksen ja halonien ODP- ja GWP-arvot [www.epa.gov].

Yhdiste	Elinikä, vuotta	ODP	GWP
<i>Haloni 1211</i>	<i>16</i>	<i>6,0</i>	<i>1860</i>
<i>Haloni 1301</i>	<i>65</i>	<i>12</i>	<i>7030</i>
<i>Haloni 2401</i>	<i>20</i>	<i>&lt;8,6</i>	<i>1620</i>
HCFC-22 (CHF <sub>2</sub> Cl)	12,0	0,05	1780
HCFC-123 (C <sub>2</sub> HF <sub>3</sub> Cl <sub>2</sub> )	1,3	0,02	76
HCFC-124 (C <sub>2</sub> HF <sub>4</sub> Cl)	5,8	0,02	599

### 5.3.2 Vesistöt

Sammutusaineista vain vaahdoilla on suurin todennäköisyys joutua suurina määrinä vesistöihin. Vesistöjen kuormituksesta kertovien yleisten tunnuslukujen, kuten BOD (biologinen hapentarve), COD (kemiallinen hapentarve), myrkyllisyys vesieliöille sekä fosfori-, raskasmetalli ja typpipitoisuudet voidaan liittää myös sammutusvaahtoihin.

Vaahdoilla BOD/COD-arvot ovat tyypillisesti 40–60 %, ja alinta tasoa hallitsevat synteettiset ja ylintä proteiinivaahdot. Proteiinivaahtojen suurempi luku selittyy sillä, että proteiiniperäinen vahto sisältää paljon mikroeliöille soveltuvia ravinteita.

Vaahdoissa esiintyy myös jonkin verran raskasmetalleja sekä typpiyhdisteitä, joilla on vesien rehevöitymisen kannalta merkitystä. Tämä on varsinkin proteiinivaahtojen ongelmana. Mikäli vesistöihin joutuu sammutusjauheita (esim. ABC-luokka), voivat fosforiyhdisteet aiheuttaa niin ikään vesikasvillisuuden rehevöitymistä.

Myrkyllisyyttä vesieliöille mitataan tyypillisimmin LD<sub>50</sub>-arvolla, joka kuvastaa annosta, jolla 50 % altistetuista eliöistä kuolee tavallisesti 24 h:n kuluessa. Vaahdoilla (konsentraatti tai liuos) arvot vaihtelevat suuresti muutamista milligrammoista aina muutamiin grammoihin litraa kohden. Liuosten pH-arvot ovat lähellä neutraalia, mutta esimerkiksi jauheiden vesiliuokset ovat yleisesti ottaen happaman puolella (pH n. 4–5).

Synteettisten vaahtojen pinta-aktiiviset fluoriyhdisteet ovat tällä hetkellä varsin vilkkaan keskustelun alla. Vaikka fluoriyhdisteiden ei-fluorattu osa hajoaisikin luontoon, fluorattu-osa jää hajoamattomana luontoon pitkiksi ajoiksi ja voi vesistöihin päästessään aktivoitua uudelleen. Vaahdot sellaisenaan aiheuttavat paitsi esteettisen haitan myös vesistöjen flokkisuutta.

Lopuksi on kuitenkin muistettava, että harvoissa tapauksissa sammutteet muodostavat akuuttia ongelmaa vesieliöille, koska käytettävät sammutemäärät ovat verraten pieniä ja vesistöt suuria. Sen sijaan vesistöt toimivat ekosysteemissä kierrättäjänä hitaasti hajoaville yhdisteille.

### 5.3.3 Maaperä

Maaperään joutuvien sammutteiden voidaan olettaa olevan myös vaahtoja, jauheita tai vesipohjaisia sammutteita, jotka valuvat maastoon palontorjunnan tai sen harjoittelun myötä tai esim. sammutusjärjestelmän lauettua. Yleistä sammutteille on niiden vesiliukoisuus, joten sammutteet kulkeutuvat myös maaperästä ennen pitkää vesistöihin ja pohjavesiin, jolloin vaikutukset ovat samat kuin edellisessä luvussa.

NFPA 1150 -standardi käsittelee A-vaahtojen käyttöä rakennus- ja maastopalojen torjunnassa. Standardissa mainitaan myös LD<sub>50</sub>-arvot niin vaahtokonsentraatille kuin vaahdoliuoksellekin. Vaahtokonsentraatille akuutti myrkytys suun kautta on oltava LD<sub>50</sub> > 500 mg/kg ja ihon kautta annettuna LD<sub>50</sub> > 2 000 mg/kg. Vastaavat arvot vaahdoliuokselle ovat LD<sub>50</sub> > 5 000 mg/kg ja LD<sub>50</sub> > 2 000 mg/kg.

Sammutteen myrkyllisyys vesieliöille testataan kirjolohella, jolla LC<sub>50</sub>-arvon tulee olla suurempi kuin 10 mg/L 96 tunnin altistuksen jälkeen. BOD-arvolle on annettu alaraja 60 %, joka tulee saavuttaa vähintään 42 päivän kuluessa.

## **5.4 Vaikutus laitteisiin, järjestelmiin ja rakenteisiin**

### **5.4.1 Sähkölaitteet**

Sammutteiden soveltuvuus sähkölaitteiden kanssa on usein tarkasteltu asia. Ainoa sammute, joka sellaisenaan soveltuu sähkölaitteiden sammuttamiseen tai ei aiheuta vaurioita sähkölaitteille, on kaasu. Useinkaan kaasun käyttö ei tosin ole mahdollista miehitetyille tiloille asetettujen vaatimusten ja suositusten takia.

Muille sammutteille sähkölaitteet ja sammute -asettelu voidaan jakaa ainakin kahteen seuraavaan osaan: sammuttamisen aikaiseen ja sen jälkeen tapahtuvaan tarkasteluun. Ensin mainittuun liittyvät lähinnä sammutteen aiheuttamat jänniteläpilyönnit, joita voi tapahtua käytettäessä vettä tai hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>-järjestelmien suuttimet ovat yleensä maadoitettuja). Sammuttamisen jälkeinen tarkastelu liittyy puolestaan sammutteiden tai niiden hajoamistuotteiden aiheuttamiin syöpymisiin (esimerkkeinä jauhepölyn kostuessaan muodostama hapan yhdiste tai fluorattujen hiilivetyjen hajoamistuotteena syntyvä syövyttävä fluorivety). Jälkisiivouksesta ja pintojen puhdistuksesta onkin tässä tapauksessa suuri hyöty pelastettavan materiaalin määrään nähden.

NFPA-standardeissa on kerrottu mm. vesipohjaisten ja CO<sub>2</sub>-järjestelmien suurimmat turvaetäisyydet suojaamattomista sähkölaitteista. Mitoitus alkaa 13,8 kV:sta ja 0,17 m:stä ja nousee lineaarisesti aina 750 kV:n ja 4,2 m:n jännite-etäisyys-pariin.

### **5.4.2 Tilan tiiveys ja paineen kesto**

Tilan tiiveys luo edellytykset kaasujärjestelmien toiminnalle. Yleensä kaasujärjestelmien luoma ylipaine tilaan on noin 200 Pa. Rakenteille tämä asettaa luonnollisesti vaatimuksia mm. tiivistysten ja ovien kiinnipysymisen kanssa. Kaikkiin pintoihin kohdistuu

luonnollisesti voima, joka voi haitata esim. ovien kautta tapahtuvaa poistumista tai paineistettuun tilaan saapumista.

Mahdollisen paineen suuruuteen vaikuttavia asioita ovat mm.:

- suuttimessa olevan sammutteen termodynaaminen olotila (neste, kaasu)
- suuttimen rakenne
- rakennuksen tilavuus sekä seinien pinta-ala
- tulen koko
- alkutilanne (lämpö, kosteus ym.) sammutettavassa tilassa
- sammutteen määrä
- sammutteen virtausnopeus.

Halokarbonisammutteilla syntyy tilaan hetkellisesti alipainetta, joka johtuu nestefaasin muuttumisesta kaasuksi. Tämän jälkeen, kun kaasu on lämmennyt, tilaan syntyy ylipaine. Inerttikaasuilla syntyvä paine on alusta saakka positiivinen [DiNenno, 1997].

## 6. Tulevaisuuden sammutteet ja sammutusteknologiat

Tässä luvussa luodaan katseet tulevaisuuteen ja siihen, miltä tulevaisuuden sammutteet ja sammutusteknologiat näyttävät. Kehityksen kulkua ohjaavat nykyisin hyvin pitkälti ympäristömme hyvinvointiin liittyvät kansainväliset sopimukset. Montrealin pöytäkirjan nojalla on jo kielletty kloorattujen ja bromattujen hiilivetyjen käyttö, ja Kioton pöytäkirjan astuessa voimaan – mahdollisesti jo vuoden 2005 aikana – seuraisi tästä myös kasvihuonekaasujen (hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi, fluorihilivedyt, perfluorihilivedyt ja rikkiheksafluoridi) päästöjen rajoitus yhteensä 5,2 % vuoden 1990 tasosta vuosina 2008–2012. Nämä rajoitukset vaikuttaisivat luonnollisesti myös kehittyvän sammutusteknologian suuntaukseen. Ainoan poikkeuksen sammutteiden käytössä tulevaisuudessakin muodostavat puolustusvoimien kulkuneuvot ja muut sovellukset sekä lentokoneet, joissa palon sammuttaminen mahdollisimman nopeasti on välttämätöntä.

Viime aikojen keskustelu sammutteiden myrkyllisyydestä ihmisille on myös kiihtynyt – osaksi uusien sammutteiden esiintulon seurauksena. Liikkuvassa palontorjunnassa käytettyjen AFFF-vaahtojen valmistuksen 3M-yhtiön menetelmällä on todettu muodostavan haitallisia PFOS-yhdisteitä. DuPont-yhtiön menetelmällä (telomerisaatio) valmistettuja AFFF-vaahtoja on tutkittu myös, koska on epäilty, että niistä syntyisi toista haitallista PFOA-yhdistettä. Kuitenkin vuoden 2003 aikana valmistuneen EPA:n tutkimuksen mukaan AFFF-vaahtojen telomerisaatio-valmistusmenetelmällä ei todistettavasti voida tuottaa haitallista PFOA-yhdistettä, joten AFFF-vaahtojen valmistus tällä menetelmällä jatkuu tulevaisuudessa näiltä osin. On kuitenkin muistettava, että vaahdot ja halokarboanit pitävät sisällään kaikista huolimatta fluoriyhdisteitä, joiden hajoaminen luonnossa voi kestää kymmeniä vuosia [EPA, 2003].

Hiilidioksidisammutusjärjestelmien käyttö tulevaisuudessa on myös epävarmaa, sillä sammutusjärjestelmien pitoisuudet ovat noin 3–4 kertaa suurempia kuin pitoisuudet, joissa havaitaan tajunnan tason menetys jo muutamassa minuutissa. Tällöin esimerkiksi järjestelmän vahinkolaukaisu koituu kohtalokkaaksi.

### 6.1 Termiset sammutteet

Termisistä sammutteista vedellä riittää sovelluksia niin kiinteiden sammutusjärjestelmien kuin liikkuvan palontorjunnan puolella. Standardisoinnin myötä käyttökohteita tulee yhä enemmän myös vesisumulle. Varsinkin tilasuojauksessa vesisumu tulee olemaan enemmän normaalisti miehitettyjen tilojen (esim. toimistojen) ja erikoissovellusten sekä -rakennusten (mm. tunnelit) suojaustapa. Sprinklerteknologiassa asuntosprinklerit ja



suurien varastojen suojaaminen entistä suurempien virtaamien sprinklereillä ovat tulevaisuuden kehittyvä suuntaus.

Liikkuvassa palontorjunnassa rakennuspalojen sammutukseen käytettävien suoran ja epäsuoran sammutusmenetelmien lisänä käytetään pulssitettua korkeapainevesisumua (*3D-water fog*) ja A-vaahoja. Liikkuvan palontorjunnan käytössä oleva korkeapainesumu muistuttaa hyvin paljon kiinteiden sammutusjärjestelmien vesisumun periaatteita. Vesisumua käytettäessä hyökkäystaktiikkana voi olla hyökkäävä (*offensive*), jolloin päämääränä on palon sammuttaminen, tai torjuva (*defensive*), jolloin voidaan joko jäähdyttää kaasuja tai inertoida vyöhyke vesisumulla [[www.firetactics.com](http://www.firetactics.com)]. A-vaahtojen käytössä voidaan hyödyntää vastaavasti vaahtojen monikäyttöisyyttä eri vahtoluvuilla ja sekoitussuhteilla.

Inerttien sammutteiden käyttämistä ei tulevaisuudessa tulla rajoittamaan, joten näiden laajentuva käyttö tulevaisuuden tilasuojasammutteina on hyvinkin todennäköistä.

## 6.2 Kemialliset sammutteet

Kemiallisista sammutteista uusimpina sammutteina ovat tulleet halokarbonit. Tulevaisuus näillä sammutteilla rajoittuu lähinnä tilasuojaukseen kiinteissä sammutusjärjestelmissä, koska tällä hetkellä käsisammuttimien käyttö on sallittua ainoastaan miehittämättömissä tiloissa ja erikoissovelluksissa. Ympäristönäkökulmasta tarkasteltaessa voi kuitenkin käydä niin, että fluorattujen hiilivetyjen käyttö, ja samalla valtaosa clean agents-sammutteista, tultaisiin kieltämään. Tällöin niiden korvaajina voisivat olla inertit sammutteet ja vesisumu.

Kehitteillä olevan standardisoinnin myötä aerosolijärjestelmien käyttökohteet tulevat varmasti laajenemaan. Tällä hetkellä aerosolijärjestelmä on vielä varsin tuntematon käsite. Aerosolien ja niiden palamistuotteiden myrkyllisyys kuitenkin rajoittaa järjestelmien käytön vain miehittämättömiin tiloihin.

Käsisammuttimien puolella tullaan tulevaisuudessa näkemään Euroopan markkinoilla entistä enemmän vesipohjaisia ja rasvapaloihin soveltuvia sammuttimia uuden F-paloluokituksen myötä. Tämä näkynee myös kiinteiden sammutusjärjestelmien lisääntyvänä tarjontana.

### 6.3 Sammuteseokset

Tulevaisuudessakin mukana ovat sammuteseokset, kuten vesipohjaiset liuokset sekä vesisumujärjestelmissä käytetyt kaksitoimisuuttimet, joilla pystytään tuottamaan tilaan kahta sammutetta (vettä ja typpeä). Näiden lisäksi tulevaisuuden sammuteseoksia on kokeiltu mm. halokarbonien osalta Skaggsin ym. [1999] tutkimuksessa, jossa FE-36- ja FM-200-sammutteiden seassa käytettiin ammoniumpolyfosfaattijauhetta (APP). Kyseiset fluoratut hiilivedyt synnyttävät palamistuotteena fluorivetyä (HF), jonka muodostumista pyrittiin tutkimuksessa estämään APP:n avulla. Käytettäessä 15 %:n APP-seosta sekä halokarbonisammutetta saatiin sekä sammutusajat että keskimääräiset HF-pitoisuudet pienenevän molemmille sammutteille. FE-36-sammutteelle vastaavat vähennykset olivat 33 % ja 96 % sekä FM-200-sammutteelle 40 % ja 60 %. EPA:n hyväksymä Envirogel-sammute on kyseisten FE-36- ja APP-sammutteiden seos, jota saa käyttää miehityksissä tiloissa käsiammuttimissa haloni 1211:n korvaajana.

Sammuteseoksen periaatteina ovat tällä hetkellä, kuten edellä on mainittu, sammutteen myrkyllisten hajoamistuotteiden vähentäminen käyttämällä toista aktiivista sammutetta tai kemiallisen ja termisen sammutteen yhdistäminen tai kaksifaasisammutteiden käyttäminen, jolloin päästäisiin tehokkaampaan sammutustulokseen. Jää nähtäväksi, löytyykö myös sellainen sammute, jolla olisi kaikkia näitä ominaisuuksia.

## 7. Yhteenveto

Tutkimukseen on kerätty tietoa sammutteiden ja sammutusjärjestelmien nykytilanteesta pääosin EN- ja NFPA-standardeista, englanninkielisistä oppikirjoista sekä valmistajien Internet-sivuilta. Tutkimustieto on tarkoitettu lähinnä pelastusviranomaisille, ja siitä käyvät ilmi mm. nykyisen sammutusteknologian mahdollisuudet ja rajoitukset.

Työn alussa käsitellään yleisimpiä sammutteita (jauhe, kaasut, vaahdot ja vesipohjaiset aineet) sekä niiden ominaisuuksia sammutusvaikutuksen ja koostumuksen kannalta. Liikkuvan palontorjunnan eniten käyttämiä sammutteita ovat jauheet ja vaahdot, joiden tarjonta on myös kaupallisesti erittäin suurta. Kiinteän palontorjunnan tarjonta keskittyy enemmän vesipohjaisiin sekä kaasusammutteisiin. Kaasusammutteiden puolella viime vuosikymmenien kehitystyö halonien korvaajien löytämiseksi on tuonut lukuisia uusia kaupallisia kaasusammutteita.

Seuraavaksi tarkastellaan käsiammuttimien, liikuteltavien sekä muiden käsin kannettavien sovellusten nykytilannetta standardisoinnin ja kaupallisen tarjonnan osalta. Käsiammuttimien osalta kaupallinen tarjonta on runsasta, mikä johtuu pitkälti sammuttimien monikäyttöisyydestä. Uusimpina tulokkaina käsiammutinpuolella ovat rasvapalojen vesipohjaiset sammuttimet. Olemassa oleva standardisointi kattaa hyvin käsiammuttimille asetettavat rakenteelliset vaatimukset (mm. painelaitteina) ja sammutustehokkuuden määrittämisen.

Tutkimuksen neljännessä luvussa tarkastellaan kiinteiden sammutusjärjestelmien nykytilannetta kehittyvän teknologian ja siihen liittyvän standardoimistyon näkökulmasta. Työssä esitellään seuraavat järjestelmät: sprinklerilaitteistot, vaahtolaitteistot, vesipohjaiset järjestelmät (myös vesisumu ja vesivalelu), jauhejärjestelmät sekä kaasujärjestelmät. Tarkastellusta aineistosta NFPA-standardeissa on kattavin kokonaisuus kiinteiden sammutusjärjestelmien asennukseen sekä niiden sovelluskohteisiin liittyvästä tiedosta. EN-standardit ovat vielä kehitteillä mm. aerosoli- ja vesisumujen osalta. Kansainvälisellä merenkulkujärjestöllä (IMO) on asennusohjeiden lisäksi sammutustestit, jotka esim. NFPA-standardeista puuttuvat. Työssä käydään läpi juuri IMO:n sammutustestejä laivojen lastiruumien ja konehuoneiden suojaamiseksi.

Työn lopussa tarkastellaan sammutteiden ja sammutusjärjestelmien vaikutuksia ihmisiin, ympäristöön ja laitteisiin. Sammutteiden ja näiden hajoamistuotteiden aiheuttamat akuutit ongelmat johtuvat pääosin kaasumaisten aineiden kulkeutumisesta ihmisiin. Näin ne ärsyttävät hengitysteitä ja vaikuttavat keskushermostoon. Pitkäaikaisvaikutukset johtuvat pääosin sammutteiden hitaasti hajoavien yhdisteiden kerääntymisestä ihmisiin. Sammutusjärjestelmien toiminta voi heikentää esim. ihmisen poistumiskykyä mm. näkyvyyden menettämisen, lämpötilavaihtelun sekä happipitoisuuden alenemisen vuoksi.

Sammutteiden aiheuttamaa rasitetta ympäristöön tarkastellaan pitkälti kaasumaisten ja vaahtosammutteiden osalta, koska niillä on koostumuksensa puolesta suurin haitta ympäristöä kohtaan. Esimerkiksi suurinta osaa kaasumaisista sammutteista (myös uudet tulokkaat) joko rajoitetaan tällä hetkellä tai tullaan rajoittamaan kansainvälisten sopimusten nojalla.

Suuntauksen tulevaisuuden sammuttamiselle luovat osin ympäristösopimukset mutta myös tutkimuksesta saatava tieto, jota on pystyttävä hyödyntämään esim. sammutusjärjestelmää suunniteltaessa. Tällä hetkellä liikkuvan palontorjunnan käyttöön on tarjolla runsaasti vesipohjaisia sammutteita (mukaan lukien vaahdot), mutta myös liikuteltavien sammuttimien (mm. jauhesammuttimet) kapasiteetti on jo sitä luokkaa, että esim. tiheään asuttujen alueiden palontorjuntakäyttöön ne olisivat eräs varteenotettava vaihtoehto.

Miehitettyjen tilojen suojaamiseen tullaan käyttämään vesisammutusjärjestelmiä niiden turvallisuuden, tehokkuuden sekä toiminta-ajan vuoksi. Esimerkkeinä voidaan mainita varasto- ja asuntosprinklerit sekä vesisumujärjestelmät. Kaasujärjestelmien tulevaisuus voi mahdollisesti rajoittua ainoastaan inertteihin sammutteisiin tilasuojauksessa, koska nämä kaasut esiintyvät jo luonnostaan ilmakehässä ja ovat näin aidosti puhtaita sammutteita.

Miehittämättömien tilojen suojaus antaa tulevaisuudessa laajimmat puitteet eri sammutteivaihtoehdoille; toistaiseksi tilasuojaus rajoittuu ajoneuvojen moottoritilojen suojaamiseen. Oikein suunnitellulla kohdesuojauksella pystytään puolestaan sammuttamaan alkanut palo tehokkaimmin ja näin minimoidaan syntyneet vahingot. Kohdesuojaukseen perustuvia ratkaisuja käytetään erityisesti teollisuudesta.

## Lähdeluettelo

Andstén, T. 1998. A-vaahtojen soveltuvuus palokunnan käyttöön. Palontorjuntatekniikka, Vol. 3, s. 14.

Andstén, T. & Weckman, H. 1997. Sammutteiden identifiointi. Osa 1. Sammutejauheet. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 41 s. + liitt. 16 s. (VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1872.) ISBN 951-38-5171-0.

Andstén, T. & Weckman, H. 1999. Sammutteiden identifiointi. Osa 2. Nestesammutteet. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 39 s + liitt. 6 s. (VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1942.) ISBN 951-38-5412-4.

Anon. 2001. The Cutting Extinguisher – concept and development. Swedish Rescue Services Agency. 36 s. ISBN 91-7253-090-1.

Autosuojien paloturvallisuus, ohjeet 1997. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa E4. Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. 5 s. ISBN: 951-37-2269-4.

BS 7937. 2000. Specification for portable fire extinguishers for use on cooking oil fires (class F). London, GB: British Standards Institution. 10 s.

CEA 4001. 2004. Sprinklerilaitteistot, suunnittelu ja asentaminen. CEA Omaisuusvaikutuskomitea. Comité Européen des Assurances. 182 s.

Corley, R. A., Weitz, K. K., Gies, R. A. & Thrall, K. D. 2000. Development of a PBPK Model for Ethylene Glycol and its Metabolite, Glycolic Acid. Saatavilla osoitteesta: [http://cerhr.niehs.nih.gov/news/egpg/PBPK\\_Corley\\_Model.pdf](http://cerhr.niehs.nih.gov/news/egpg/PBPK_Corley_Model.pdf).

DiNunno, P. J. 1997. Direct Halon Replacement Agents and Systems. Teoksessa: NFPA Fire Protection Handbook. 18. painos. Quincy: National Fire Protection Association. Chapter 6–19. ISBN 0-87765-377-1.

EN 3-7. 2004. Portable fire extinguishers – Part 7: Characteristics, performance requirements and test methods. Brussels, BE: European Committee for Standardization.

EN 1568-1. 2000. Fire extinguishing media – Foam concentrates – Part 1: Specification for medium expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids. Brussels, BE: European Committee for Standardization.

EN 1568-2. 2000. Fire extinguishing media – Foam concentrates – Part 2: Specification for high expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids. Brussels, BE: European Committee for Standardization.

EN 1568-3. 2000. Fire extinguishing media – Foam concentrates – Part 3: Specification for low expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids. Brussels, BE: European Committee for Standardization.

EN 1568-4. 2000. Fire extinguishing media – Foam concentrates – Part 4: Specification for low expansion foam concentrates for surface application to water-miscible liquids. Brussels, BE: European Committee for Standardization.

EN 1866. 1998. Mobile fire extinguishers. Brussels, BE: European Committee for Standardization.

EN 2. 1992. Classification of fires. Brussels, BE: European Committee for Standardization.

prEN XXXX. Fixed firefighting systems – Aerosol extinguishing systems – Part 1: Components for aerosol extinguishing systems. Brussels, BE: European Committee for Standardization.

prEN XXXX. Fixed firefighting systems – Aerosol extinguishing systems – Part 2: Design installation and maintenance of aerosol extinguishing systems. Brussels, BE: European Committee for Standardization.

EPA. 2003. Telomer Technical Workgroup. Luettelon numero: OPPT-2003-0012. Saatavilla osoitteesta: <http://www.docket.epa.gov>.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus otsonikerrosta heikentävistä aineista (EY) N:o 2037/2000.

Ewing, C. T., Faith, F. R., Hughes, J. T. & Carhart, H. W. 1989. Flame Extinguishment Properties of Dry Chemicals: Extinction Concentrations for Small Diffusion Pan Fires. Fire Technology, Vol. 25, No. 2, s. 134–149.

Ewing, C. T., Faith, F. R., Romans, J. B., Siegmann, C. W., Ouellette, R. J., Hughes, J. T. & Cathart, H. W. 1995. Extinguishing Class B Fires With Dry Chemicals: Scaling Studies. Fire Technology, Vol. 31, No. 1, s. 17–43.

EY Neuvoston direktiivi 98/18/EY. Matkustaja-alusten turvallisuussäännöistä ja -määräyksistä.

Fischer, G. & Leonard, J. T. 1995. Effectiveness of fire extinguishing powders based on small scale suppression tests. Washington, DC: Naval Research Laboratory. 22 s.

Hague, D. R. 1997. Dry Chemical Agents and Application Systems. Teoksessa: NFPA Fire Protection Handbook. 18. painos. Quincy: National Fire Protection Association. Chapter 6–21. ISBN 0-87765-377-1.

IMO 2001. International Code for Fire Safety Systems (FSS Code). Lontoo: International Maritime Organisation. 261 s. ISBN 92-801-5111-8.

ISO/FDIS 7165. 1999. Fire fighting – Portable fire extinguishers – Performances and construction. International Standard. 43 s.

JAR-OPS. 2003. Käsisammuttimet JAR-OPS 1.790. Teoksessa: Yhteiseurooppalaiset ilmailuvaatimukset. Kaupallinen ilmakuljetus (Lentokoneet) JAR-OPS 1. Muutos 6, 1.8.2003. Saatavilla osoitteesta:  
[http://www.lentoturvallisuushallinto.fi/lentoturvallisuushallinto/normit/normi\\_uusi/pdf/kokoelmat/imt/jar/jar.htm](http://www.lentoturvallisuushallinto.fi/lentoturvallisuushallinto/normit/normi_uusi/pdf/kokoelmat/imt/jar/jar.htm)

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös palavista nesteistä 313/85. 1985. Suomen säädöskokoelma.

Liikenne- ja viestintäministeriön asetus eräiden kalastusalusten turvallisuudesta 65/2000. Suomen säädöskokoelma.

Liikenne- ja viestintäministeriön asetus vaarallisten aineiden kuljetuksesta tiellä annetun liikenne- ja viestintäministeriön asetuksen muuttamisesta 313/2003. Suomen säädöskokoelma.

Mawhinney, J. R. & Solomon, R. 1997. Water Mist Suppression Systems. Teoksessa: NFPA Fire Protection Handbook. 18. painos. Quincy: National Fire Protection Association. Chapter 6–15. ISBN 0-87765-377-1.

Moody C. A. & Field J. A. 2000. Perfluorinated Surfactants and the Environmental Implications of their Use in Fire Fighting Foams. Environmental Science & Technology, Vol. 34, No. 18.

NFPA 10. 2002. Standard for Portable Fire Extinguishers. Quincy: National Fire Protection Association. 58 s.

NFPA 11. 2002. Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam. Quincy: National Fire Protection Association. 85 s.

NFPA 12. 2000. Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems. Quincy: National Fire Protection Association. 49 s.

NFPA 15. 2001. Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection. Quincy: National Fire Protection Association. 63 s.

NFPA 16. 2003. Standard for the Installation of Foam-Water Sprinkler and Foam-Water Spray Systems. Quincy: National Fire Protection Association. 30 s.

NFPA 17. 2002. Standard for Dry Chemical Extinguishing Systems. Quincy: National Fire Protection Association. 23 s.

NFPA 17A. 2002. Standard for Wet Chemical Extinguishing Systems. Quincy: National Fire Protection Association. 15 s.

NFPA 750. 2003. Standard on Water Mist Fire Protection Systems. Quincy: National Fire Protection Association. 65 s.

NFPA 1145. 2000. Guide for the Use of Class A Foams in Manual Structural Fire Fighting. Quincy: National Fire Protection Association. 20 s.

NFPA 1150. 1999. Standard on Fire-Fighting Foam Chemicals for Class A Fuels in Rural, Suburban, and Vegetated Areas. Quincy: National Fire Protection Association. 16 s.

NFPA 2001. 2004. Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems. Quincy: National Fire Protection Association. 106 s.

NFPA. 2002. Automatic Sprinkler Systems Handbook. Editor Dubay, C.P.E. Quincy: National Fire Protection Association. 965 s

Onnettomuustutkintakeskus 2002. Linja-autojen palot Suomessa vuonna 2001. Tutkintaselostus. Saatavilla osoitteesta: <http://www.onnettomuustutkinta.fi/uploads/p0zbp1.pdf>



Purser, D. A. 1995. Toxicity Assessment of Combustion Products. Teoksessa: The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 2. painos. Quincy: National Fire Protection Association. Chapter 2–8. ISBN 0-87765-354-2.

Rakennusten paloturvallisuus, määräykset ja ohjeet 2002. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa E1. Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. 40 s. ISBN 951-37-3762-4.

Riley, J. F. & Kraus, M. R. 1986. Selecting and using wheeled fire extinguishers: Training, inspection and maintenance. Plant Engineering, Vol. 40, No. 22, s. 58–60.

Skaggs, R. R., Daniel, R. G., Miziolek, A. W., McNesby, K. L., Herud, C., Bolt, W. R. & 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.

SPEK. 2001. Alkusammutuskalusto. Tekniikka opastaa 5. Suomen pelastusalan keskusjärjestön julkaisu. 2. painos. 67 s. ISBN 951-797-116-8.

SVK. 2002. Tulityöt. Suomen vakuutusyhtiöiden keskusliiton suojeleohje 01/2002. 6 s. Saatavilla osoitteesta:

<http://www.vakes.fi/SVK/suomi/vahingontorjunta/ohjeet/tulityot.pdf>

SVK. 2003. Sähköpalojen torjunta. Suomen vakuutusyhtiöiden keskusliiton suojeleohje. 01/2003. 4 s. Saatavilla osoitteesta:

<http://www.vakes.fi/svk/suomi/vahingontorjunta/ohjeet/sahkopalot.pdf>

Tapscott, R. E. 1997. Combustible Metal Extinguishing Agents and Application Techniques. Teoksessa: NFPA Fire Protection Handbook. 18. painos. Quincy: National Fire Protection Association. Chapter 6–26. ISBN 0-87765-377-1.

Troup, J. 1998. Extra Large Orifice (ELO) Sprinklers: An Overview of Full-scale Fire Test Performance. Journal of Fire Protection Engineering, Vol. 9. No. 3. s. 27–39.

Tuomisaari M. 1996. Vesisumujärjestelmät sammutustekniikassa. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 31 s. (VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1798.) ISBN 951-38-4993-7. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1996/T1798.pdf>

Tuotanto- ja varastorakennusten paloturvallisuus, ohjeet 1997. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa E2. Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. 7 s. ISBN 951-37-2268-6.

Työministeriön päätös perimälle, sikiölle ja lisääntymiselle työssä vaaraa aiheuttavista tekijöistä 1044/1991. Suomen säädöskokoelma.

UK. 2004. Vuoden määräykset ympäristönsuojelusta (perfluoro-oktaanisulfonaatin käyttöä koskevat rajoitukset). Ilmoituksen numero: 2004/0413/UK. Yhdistynyt kuningaskunta.

UL 300. 1998. Fire Testing of Fire Extinguishing Systems for Protection of Restaurant Cooking Areas. Northbrook, IL: Underwriters Laboratories Inc. 22 s. ISBN 1-55989-940-9.

Vaari, J. 2004. Sammutustekniikan luonnontieteelliset perusteet, Helsinki, Edita Prima Oy. 215 s. ISBN 951-37-4077-3.

Vesiliikenneasetus 124/1997. Liikenne- ja viestintäministeriö. Suomen säädöskokoelma.

Tekijä(t) Rinne, Tuomo & Vaari, Jukka			
Nimeke <b>Uudet sammutteet ja sammutusteknologiat</b> <b>Kirjallisuustutkimus</b>			
Tiivistelmä Tähän kirjallisuustutkimukseen on koottu kattava selvitys liikuteltavien ja kiinteiden sammutusjärjestelmien nykytilanteesta käytetyn sammutusteknologian ja sammutteiden osalta. Lähtökohtana on käytetty EN- ja NFPA-standardeja. Jo vuosikymmenen ajan kestäneen tutkimustyön käynnistäjänä on ollut tarve kehittää kielletyille halonisammutteille korvaajia. Kehitystyö on ollut vilkasta varsinkin kaasusammutteiden osalta.  Työssä esitellään liikuteltavien ja kiinteiden sammutusjärjestelmien sekä itse sammutteiden toimintamekanismeja, toimivuuden todentamista (testejä ja niiden luonnetta) sekä käyttö- ja soveltamis-kohteita. Selvityksessä käsitellään lisäksi sammutteiden myrkyllisyyttä ja sammutusjärjestelmien aiheuttamaa vaaraa ihmisille sekä ympäristöhaittoja ilmakehälle, vesistöille ja maaperälle. Työn lopussa luodaan katsaus tulevaisuuden sammutteisiin ja sammutusteknologioihin.			
Avainsanat fire extinguishers, fire extinguishants, halogenated compounds, replacement, foam extinguisher, dry powder extinguishers, carbon dioxide extinguishers, clean agent extinguishers, sprinklers, inert gases			
Toimintayksikkö VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT			
ISBN 951-38-6544-4 (nid.) 951-38-6545-2 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Projektinnumero	
Julkaisu-aika Maaliskuu 2005	Kieli Suomi, engl. abstr.	Sivu-ja 160 s.	Hinta D
Projektin nimi		Toimeksiantaja(t) Palosuojelurahasto	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	



Author(s) Rinne, Tuomo & Vaari, Jukka			
Title <b>The new fire extinguishing agents and technologies</b>			
Abstract An extensive literature review of the fire extinguishants and the extinguishing systems (both portable and fixed) of present-day has been carried out. The basis of this work is collected from the EN- and the NFPA-standards.  Phase out of halons has been the main activator of the international research of last decade. The research is focused on finding suitable substituents for halons. There has come especially major part of new gas extinguishants during the development work.  This work deals with the operation mechanisms, verifying them (i.e. tests and nature of the tests), and potential applications of the fire extinguishants and the extinguishing systems. The concern of the toxicity of agents is also discussed related to living organisms and environmental views. Finally, there is a look to the future about the extinguishing agents and methods.			
Keywords fire extinguishers, fire extinguishants, halogenated compounds, replacement, foam extinguisher, dry powder extinguishers, carbon dioxide extinguishers, clean agent extinguishers, sprinklers, inert gases			
Activity unit VTT Building and Transport, Kivimiehentie 4, P.O.Box 1803, FI-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-6544-4 (soft back ed.) 951-38-6545-2 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )			Project number
Date March 2005	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 160 p.	Price D
Name of project		Commissioned by Palosuojelurahasto	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (soft back edition) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374	

Halonien valmistuksen ja käytön lopettaminen lainsäädännön keinoin on johtanut intensiiviseen tutkimustyöhön korvaavien aineiden ja teknologioiden kehittämiseksi. Palontorjunnan alalla haloneja korvaavia aineita on ehditty kaupallistaa useita. Useimmilla, ellei kaikilla, uusilla synteettisillä sammutuskemikaaleilla voidaan osoittaa olevan eriasteisia ongelmia henkilöturvallisuudessa, ympäristöystävällisyydessä tai sammutustehossa. Kirjallisuustutkimuksessa käsitellään edellä mainittujen seikkojen lisäksi liikuteltavien ja kiinteiden sammutusjärjestelmien nykytilannetta käytetyn sammutusteknologian ja sammutteiden osalta.

Tutkimuksesta saatu tieto on tarkoitettu ensisijaisesti pelastusviranomaisille tietopaketsiksi erilaisten sammutteiden ja sammutusteknologioiden nykytilasta, mahdollisuuksista ja rajoituksista. Tietoa voivat hyödyntää myös pelastustekniset suunnittelutoimistot sekä vakuutusala.

---

Tätä julkaisua myy  
VTT TIETOPALVELU  
PL 2000  
02044 VTT  
Puh. 020 722 4404  
Faksi 020 722 4374

Denna publikation säljs av  
VTT INFORMATIONSTJÄNST  
PB 2000  
02044 VTT  
Tel. 020 722 4404  
Fax 020 722 4374

This publication is available from  
VTT INFORMATION SERVICE  
P.O.Box 2000  
FI-02044 VTT, Finland  
Phone internat. + 358 20 722 4404  
Fax + 358 20 722 4374

---