

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulun koulutusohjelma / merenkulkualan insinöörin suuntautumisvaihtoehto

Kalle Tuovinen

KORKEAPAINEVESISUMUJÄRJESTELMÄ ALUKSEN SAMMUTUSLAIT-
TEISTONA

Opinnäytetyö 2013

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulku

TUOVINEN, KALLE Korkeapainevesisumujärjestelmä aluksen sammutuslaitteistona

Opinnäytetyö 39 sivua

Työn ohjaaja Lehtori Ari Helle

Toimeksiantaja Kymi Technology

Maaliskuu 2013

Avainsanat korkeapainevesisumujärjestelmät, vesisumu, palosuojausjärjestelmät, palonhallinta, palosuojaus, palontorjunta

Opinnäytetyössä käsitellään korkeapainevesisumujärjestelmän käyttöä laivojen palosuojauksessa niin hyttien, käytävien, konehuoneiden kuin lastitilojenkin osalta. Taavoitteena oli muodostaa kokonaisuus, jonka avulla myös ne, joille asia on tuntematon, pystyvät saamaan kokonaiskuvan vesisumujärjestelmien ja erityisesti korkeapainevesisumujärjestelmien toimintaperiaatteista, käyttökohteista, komponenteista, järjestelmävaihtoehdoista, palokoetestimenetelmistä sekä eduista muihin palosuojausjärjestelmiin verrattuna.

Materiaalia työhön on kerätty pääasiassa verkkojulkaisuista, vesisumujärjestelmien valmistajien kotisivuilta sekä pelastusalan kirjoista. Tietoa on pyritty käsittelemään yleisellä tasolla niin, ettei syntyisi sellaista kuvaa, että työssä käytetyt järjestelmä esimerkit olisivat ainoita oikeita ratkaisuja, vaan että vesisumujärjestelmien kokonaisratkaisut vaihtelevat valmistajien mukaan.

Vesisumujärjestelmien toimintaperiaatteena on tuottaa riittävä määrä pieniä vesipisaroita, jotka suunnataan tarpeeksi suurella nopeudella palavaan kohteeseen. Vesisumujärjestelmän käyttäminen erityisesti aluksen asuintilojen palosuojauksessa on perinteistä sprinklerijärjestelmää tehokkaampaa. Valitsemalla vesisumujärjestelmä uudiskohteeseen voidaan luoda koko alusta koskeva palosuojausjärjestelmä, jolloin välttyään erityyppisten palosuojausjärjestelmien yhdistelmiltä ja niiden aiheuttamilta lisäkustannuksilta.

Työtä tehtäessä havaittiin, että vesisumut ovat ympäristöystävällisiä sammutteita eivätkä ne aiheuta vaaraa ihmisille. Niillä voidaan korvata vaahto-, sprinkleri- ja kaasujärjestelmiä. Vesisumujärjestelmällä voidaan päästä parempiin palosuojaustuloksiin kuin millään muulla järjestelmällä, mutta sen asennus ja suunnittelu edellyttää laajaa sammutusmekanismien ymmärtämistä. Palokoetestaukset ja niiden hyväksyttävästi läpäiseminen ovat tärkein osoitus, että järjestelmä pystyy tarvittavaan palosuojaukseen kyseisessä kohteessa.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Degree Programme in Marine Technology

TUOVINEN, KALLE

High Pressure Water Mist Systems Onboard

Bachelor's Thesis

39 pages

Supervisor

Ari Helle, Senior Lecturer

Commissioned by

Kymi Technology

March 2013

Keywords

high pressure water mist systems, water mist, fire protection systems, fire control, fire protection, fire fighting

This thesis examined high-pressure water mist system for the use in marine fire protection as in cabins, corridors, engine rooms and cargo spaces. The aim was to form a complete document allowing any reader to form a general view of the water mist systems and in particular the high-pressure water mist systems and their operating principles, applications, components, system options, fire test methods, as well as the benefits compared to the other fire protection systems.

Material for the work was mainly collected from Internet publications, water mist system manufacturers websites as well as books dealing with fire protection. The information is reviewed at general level so that it would not lead to the idea that the system examples described in this study are the only existing solutions. Water mist system assemblies vary between the water mist system manufacturers.

The principle of water mist systems is to produce a sufficient number of small droplets of water and direct them at high speed to the burning object. The water mist system is more efficient on suppressing fires, in particular for the ship's accommodation fire protection system than traditional sprinkler system. By choosing a water mist system to a new construction it is possible to create a fire protection system which covers the whole ship avoiding the need of different type of fire protection system combinations and the additional costs created by these.

While doing this study it became apparent that water mists are environmentally friendly and do not pose a risk to human life. They can be used to replace the foam, sprinkler, and gas systems. In many cases, water mist system can offer better fire protection results than any other system but the installation and design of the system requires a special understanding of the mechanics of fire fighting. Fire test methods and passing the test methods successfully are the most important indication that the system is capable for required fire protection in the designated area.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	6		
2	PALAMINEN	7		
	2.1	Palamisen perusteita	7	
	2.2	Palamisen edellytykset	8	
		2.2.1	Lämpötila	9
		2.2.2	Happi	9
		2.2.3	Syttyvä aine	10
		2.2.4	Häiriintymätön ketjureaktio	10
	2.3	Paloluokat	10	
3	VEDEN SAMMUTUSMEKANISMIT	11		
	3.1	Veden ominaisuuksia	11	
	3.2	Veden sammutusominaisuudet	12	
		3.2.1	Veden jäähdyttävä vaikutus	12
		3.2.2	Lämpösäteilyn absorbointi	13
		3.2.3	Veden tukahduttava vaikutus	13
	3.3	Huomioon otettavaa vedellä sammutettaessa	13	
4	VESISUMUJÄRJESTELMÄT	14		
	4.1	Suutintyypit	15	
	4.2	Vesisumujärjestelmän ominaisuuksia	16	
		4.2.1	Pisarakoko	16
		4.2.2	Tunkeumakyky	17
		4.2.3	Pisaratiheys	17
5	KORKEAPAINESUMUJÄRJESTELMÄT	17		
	5.1	Järjestelmän pääosat	20	
	5.2	Järjestelmävaihtoehdot	20	

5.2.1 Märkäputkijärjestelmä	21
5.2.2 Avosuutinjärjestelmä	21
5.2.3 Kuivaputkijärjestelmä	22
5.3 Vesilähde	23
5.4 Esimerkkejä pumppuyksiköistä	23
5.4.1 Kaasupumppuyksikkö	23
5.4.2 Sähkötoiminen pumppuyksikkö	24
5.4.3 Akkuyksiköt	25
5.5 Korkeapainejärjestelmän putkisto	25
5.6 Alueventtiilit	26
5.7 Sprinkleri- ja avosuuttimet	28
6 VESISUMUJÄRJESTELMIIN LIITTYVIÄ MÄÄRÄYKSIÄ JA STANDARDEJA	29
6.1 NFPA	29
6.2 IMO	30
6.3 Testauslaitos	34
6.4 Vesisumusammutusjärjestelmän komponenttien standardit	34
6.5 Nestepalojen palontorjunta konehuoneessa	34
6.6 A-luokan palojen sammutus vesisumuilla	36
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	37
LÄHTEET	37

1 JOHDANTO

Veden käyttämisellä sammutusjärjestelmässä on monta etua: se on halpaa ja myrkytöntä eikä aiheuta ympäristöhaittoja. Lisäksi vettä on aluksilla helposti saatavilla, ja sen jäädyttävä vaikutus on suurempi kuin millään muulla kemiallisella yhdisteellä. Vesi onkin kautta aikojen käytetyin sammute, mutta vasta vesisumujen kehittymisen jälkeen on vettä pystytty käyttämään yhä suurempien ja vaativampien tilojen tehokkaaseen palosuojaukseen.

Vesisumujärjestelmien tyypillisimpiä käyttökohteita ovat sairaalat, vankilat, erilaiset hoitolaitokset, tunnelit, voimalaitokset sekä laivat. Kohteissa, joissa aiemmin ei ole ollut mahdollista tai järkevää käyttää vesipohjaista sammutusjärjestelmää (elektroniikkaa, sähkölaitteita tai palavia nesteitä sisältävät tilat), voidaan suojata vesisumujärjestelmällä. Vesisumujärjestelmillä voidaankin korvata sekä kohdesuojausjärjestelmiä (sprinklerit) että tilasuojausjärjestelmiä (kaasut). Arvioitaessa yleisesti vesisumujen sammutustehokkuutta ongelman muodostaa se, että kaikki vesisumujärjestelmiin liittyvät ominaisuudet ovat täysin riippuvaisia järjestelmätyypistä ja järjestelmän valmistajasta.

Opinnäytetyön alussa käsitellään palamisen perusteita ja veden sammutusmekanismeja, joista siirrytään yleisluontoiseen kuvaukseen vesisumujärjestelmistä. Korkeapainevesisumujärjestelmien toiminnasta, komponenteista ja järjestelmätyypeistä on kirjoitettu hieman kattavampi kokonaisuus järjestelmäkokonaisuuksien ymmärtämiseksi. Lopuksi käsitellään laivoille asennettavaan vesisumujärjestelmään liittyviä määräyksiä, standardeja, palokoemenetelmiä sekä palokokeista saatua tutkimustietoa. Tavoitteena on tehdä kokonaisuus, jonka avulla asiaan perehtymätönkin saisi yleiskuvauksen korkeapainevesisumujen käyttömahdollisuuksista alusten eri osastojen palosuojaukseen. Korkeapainevesisumujärjestelmää käsittelevän osion kuvien käyttöön olen saanut luvan Marioff Corporation Oy:ltä.

2 PALAMINEN

2.1 Palamisen perusteita

Palamisesta puhuttaessa viitataan syttyviin aineisiin. Ne ovat siis aineita, jotka voivat syttyä ja palaa. Nämä aineet yleensä esiintyvät kolmessa eri olomuodossa jotka ovat jähmeä, neste tai kaasu. Näihin on syttyvistä aineista puhuttaessa vielä lisättävä *sulava aine*. Tämän olomuoto on normaalilämpötilassa jähmeää, mutta kuumennettaessa se sulaa nesteeksi ja palaessaan se käyttäytyy palavan nesteen tavoin. (1,8)

Jähmeisiin syttyviin aineisiin voidaan luokitella mm. puu, paperi, kangas ja metallit. Nesteitä taas ovat esimerkiksi bensiini ja petroli. Kaasuja ovat esimerkiksi asetyleeni, nestekaasu ja ammoniakki. Sulavia aineita ovat esimerkiksi piki, steariini, parafiini, vaha, kumi, uretaani- ja styreenimuovi. (1,8)

Aineiden palotavat voidaan ilmoittaa kahdella erilaisella tavalla:

- Aineet palavat liekehtien, esimerkiksi kaasut ja höyryt.
- Aineet palavat hehkuen, esimerkiksi puhdas hiili takassa tai grillissä. Metallipalo on myös tyypillinen hehkupalo. (1,9).

Hyttisen (1) mukaan nämä palotavat voidaan määrittää seuraavasti:

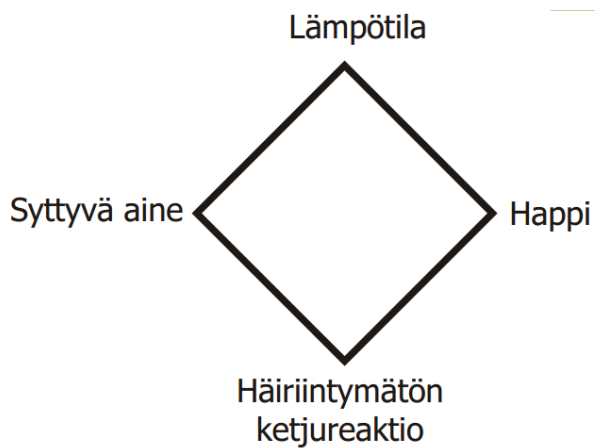
Liekehtivä palo on tapahtuma, jossa polttoaine ja hapetin ovat kaasumaisessa muodossa ja kuumasta palovyöhykkeestä säteilee valoa ja lämpöä

Hehkupalo on palamistapahtuma, jossa polttoaine on jähmeässä tai nestemäisessä muodossa ja kaasumainen happi reagoi suoraan polttoaineen rajapinnassa

Usein palamisprosessissa esiintyy molemmat palamistyytit, joko samanaikaisesti tai peräkkäin. Puuta sytytettäessä ensin se pyrolisoituu ja palaminen tapahtuu liekehtien. Myöhemmässä vaiheessa hiilen palaminen tapahtuu hehkuen. (1,9)

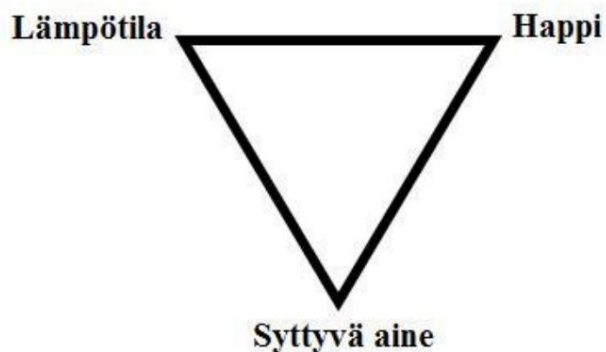
2.2 Palamisen edellytykset

Palamisilmiön aikaan saamiseksi tulee palamisen perusedellytysten olla samanaikaisesti voimassa. Jonkun perusedellytyksen puuttuminen estää palamisen. Kuvasta 1 nähdään liekehtivän palon perusedellytykset, jotka ovat syttyvä aine, riittävä lämpötila, happi sekä häiriintymätön ketjureaktio. (1,9)



Kuva 1. Liekehtivän palon perusedellytykset (1,9).

Kuvasta 2 nähdään hehkupalon perusedellytykset, jotka ovat syttyvä aine, riittävä lämpötila sekä happi. Tässä palotyypissä, verrattuna liekehtivän palon perusedellytyksiin, puuttuu ketjureaktio. Hehkupalossa hapen yhtyminen palavaan aineeseen tapahtuu aineen pinnassa ilman välittäviä reaktioita. (1,9-10)



Kuva 2. Hehkupalon perusedellytykset (1,9).

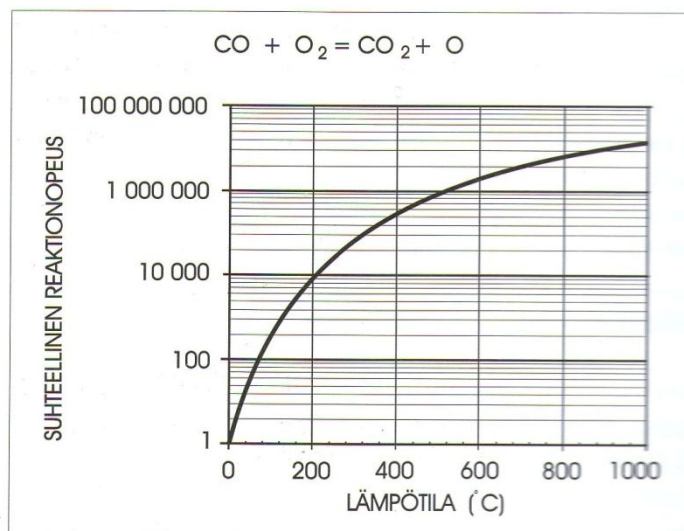
2.2.1 Lämpötila

Jotta syttyvästä jähmeästä aineesta voi muodostua pyrolyysin avulla kaasuja tai nesteistä höyrystymisen avulla höyryä, tarvitaan siihen riittävän korkea lämpötila. Lämpötilan kasvaessa taas palamisreaktio kiihtyy. Seuraavalla Arrheniuksen yhtälöllä esitetään kemiallisen palamisreaktion reaktionopeus k :

$$k = Ae^{-E/RT}$$

missä A on taajuustekijä, E reaktion aktivoitumisenergia (kJ/mol), R yleinen kaasuvakio ja T lämpötila (kelvineinä) (1,10).

Lämpötila vaikuttaa voimakkaasti reaktionopeuteen. Kuvassa 3 on esimerkki tavallisesta kemiallisesta reaktiosta tulipalossa, jossa hiilimonoksidi (CO) hapettuu hiilidioksidiksi (CO₂) ja hapeksi (O). Kuvasta voidaan todeta reaktionopeuden kasvavan matalassa lämpötilassa kaksinkertaiseksi jokaista 10 °C:n lämpötilannousua kohden. (1,10)



Kuva 3. Suhteellisen reaktionopeuden riippuvuus lämpötilasta (1,10).

2.2.2 Happi

Happi vaikuttaa palamiseen siten, että suuri palamisilman happipitoisuus kiihdyttää palamista ja taas toisaalta pieni happipitoisuus hidastaa palamista. Esimerkiksi jos palamisilman happipitoisuus laskee 16 til-%:iin, pieni liekki sammuu usein; happipitoi-

suuden edelleen laskiessa 12 til-%:iin liekin palamista tapahtuu tosi harvoin. Palon kehittyttyä täyden palon vaiheeseen saakka, jatkaa se palamista, vaikka happipitoisuus olisikin laskenut edellä mainittua alemmaksi, sillä korkeassa lämpötilassa kaikki palamisilmassa oleva happi alkaa reagoida polttoaineen kanssa. (1,10)

2.2.3 Syttyvä aine

Palamisreaktio tarvitsee aina *syttyvää ainetta*. Yleensä syttyvillä aineilla ymmärretään hiilivetyjä, kuten esimerkiksi kivihiiltä, puuta ja polttoöljyä. Syttyviksi aineiksi luetaan sellaiset aineet, jotka palavat eksotermisesti, eli ne tuottavat enemmän lämpöenergiaa palaessaan kuin mitä ne tarvitsevat palamisreaktioihin. Syttyviksi aineiksi luetaan myös kemikaalit, kuten rikki ja fosfori, sekä metallit, kuten alumiini, kalium, natrium ja rauta. (1,10-11)

2.2.4 Häiriintymätön ketjureaktio

Yksi liekehtivän palon perusedellytyksistä on *häiriintymätön ketjureaktio*. Liekehtivä palo tapahtuu useiden tai jopa kymmenien eri osareaktioiden kautta. Reaktion etenemisnopeudelle ratkaisevan tärkeitä ovat viritetyssä tilassa olevat *radikaalit*, vapaat atomit tai molekyylin osaset. (1,11)

2.3 Paloluokat

Suomessa on käytössä viisi paloluokkaa: A,B,C,D ja F. Ainoastaan paloluokille A ja B löytyy testimenetelmät. Taulukossa 1 esitetään edellä mainitut paloluokat standardien EN 2 (Eurooppa) sekä NFPA 10 (USA) mukaan (2,10). Huomioitavaa on, ettei Suomessa ole sähkölaitepaloille omaa luokkaa, vaan palot luetaan B- tai C- luokkiin sen mukaan, onko palava aine nestettä vai kaasua (1,11).

Taulukko 1. Paloluokat EN ja NFPA 10 -standardien mukaan (2,10).

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 kasvirasvapolijaiset palot.

3 VEDEN SAMMUTUSMEKANISMIT

3.1 Veden ominaisuuksia

Alla olevassa taulukossa 2 esitetään sammutuksen kannalta tärkeimmät veden ominaisuudet.

Taulukko 2. Veden ominaisuuksia (1,83).

Kemiallinen kaava	H ₂ O
jään ominaislämpökapasiteetti	2,1 kJ/kgK
veden ominaislämpökapasiteetti	4,19 kJ/kgK
höyryn ominaislämpökapasiteetti	2,01 kJ/kgK
jään sulamislämpö	333 kJ/kg
veden höyrystymislämpö	2255 kJ/kg
1 kg:sta vettä muodostuva höyry määrä	1700 l
jään tiheys 0 °C:ssa	916,8 kg/m ³
veden tiheys 0 °C:ssa	1000 kg/m ³
veden jäätymislämpötila	0 °C
veden kiehumislämpötila	100 °C
pintajännitys 20 °C:ssa	72,8 mN/m
vesi dissosioituu (hajoaa vedyksi ja hapeksi)	yli 2000 °C:n lämpötilassa
4 mm paksu vesikerros imee itseensä tulipalon lämpösäteilyä	90%
läpäisee tulipalon lämpösäteilyä	10%

Kuvan 4 mukaan voidaan todeta, että mikäli halutaan lämmittää yksi kilogramma 10 °C:n lämpöistä vettä 100 °C:n lämpötilaan, tarvitaan siihen lämpöä ~ 0,4 MJ. Kuumentuessaan vesi alkaa höyrystyä, ja tähän olomuodon muutokseen tarvitaan höyrystymislämpöä ~2,3 MJ/ kg. Palavaa tilaa vedellä sammutettaessa vesihöyry virtaa sa-

vukaasujen mukana ulos, eli savukaasujen mukana ulos kulkeutuu veden kuumentamiseen sekä höyrystymiseen tarvittu lämpömäärä ~2,6 MJ höyrystynyttä vesikilogrammaa kohden. Ihanneolosuhteissa esimerkiksi vesisumusuihkun jäähdytysvaikutus voi olla tätä luokkaa. **Vedellä on suurempi jäähdytysvaikutus, kuin millään muulla kemiallisella yhdisteellä.** (1,84)

Veden kuumentaminen		Veden höyrystäminen	kJ/kg
377		2255	
Vesi +10 °C	Vesi +100 °C	Höyry +100 °C	

Kuva 4. Veden kuumentamiseen ja höyrystämiseen tarvittavat lämpömäärät (1,84).

3.2 Veden sammutusominaisuudet

Veden tärkein sammutusominaisuus on jäähdytys. Veden absorboiva vaikutus lämpösäteilyyn sekä vesihöyryn tukahduttava vaikutus ovat sammutustehoa lisääviä tekijöitä esimerkiksi hyttipaloissa (1,84).

3.2.1 Veden jäähdyttävä vaikutus

Palavaan kohteeseen suihkutettu vesi kuumenee sekä höyrystyy jolloin se kykenee sitomaan lämpöä 2,6 MJ yhtä vesikilogrammaa kohden. Esimerkki: Vesisumusuihkun lävitse virtaa vettä 4 l/s. Oletuksena on, että kaikki sammutusvesi höyrystyy ja että yhden litran ominaispaino on yksi kilogramma. Laskemalla jäähdytysteho näillä luvuilla saadaan jäähdytystehoksi 10,4 MW. Voidaankin siis todeta, että vedellä on suuri jäähdytysteho. (1,84)

3.2.2 Lämpösäteilyn absorbointi

Säteilylämmön siirtymistä palosta syttyviin aineisiin saadaan tehokkaasti hidastettua vesisumun avulla. Tällöin vesipisarat muodostavat eräänlaisen "suojaverhon" absorboidessaan lämpösäteilyä itseensä, mitkä näin pienentävät säteilylämmön vaikutusta syttyviin aineisiin ja palon leviämisenopeutta saadaan rajoitettua. Mitä pienempi sumun pisarakoko on, sitä suurempi on lämpösäteilyn absorbointikyky. (1,85)

3.2.3 Veden tukahduttava vaikutus

Höyrystyessään vesi laajenee noin 1700-kertaiseksi. Tällöin yhden litran höyrystyessä siitä muodostuu 1700 litraa vesihöyryä, joka syrjäyttää saman määrän ilmaa ja savua ulos palavasta tilasta. Veden olomuodon muutos vesihöyryksi ja siitä johtuva laajeneminen aiheuttavat palotilaan ylipaineen, joka edelleen hidastaa palon tarvitseman ilman kulkeutumista palopesäkkeeseen. (1,85)

3.3 Huomioon otettavaa vedellä sammutettaessa

Vesi aiheuttaa haittavaikutuksia jouduttuaan kosketuksiin tiettyjen aineiden kanssa näiden aineiden kemiallisen reaktion vuoksi. Vesi voi myös aiheuttaa fysikaalisia haittavaikutuksia joidenkin aineiden kanssa tekemisissä ollessaan. Nämä asiat tulisikin ottaa huomioon paloa sammutettaessa. Vesi aiheuttaa mm. seuraavia reaktioita:

- *Poltettu kalkki* eli kalsiumoksidi (CaO) reagoi veden kanssa muodostaen kalsiumhydroksidia (Ca(OH)_2) sekä runsaasti lämpöä.
- Vesi sekä kalsiumkarbidi (CaC_2) muodostavat asetyleeniä (C_2H_2) sekä kalsiumhydroksidia. Asetyleeni kiihdyttää syttyvänä kaasuna paloa. Kalsiumkarbidipaloja ei vedellä saada sammutettua.
- *Räjähdyselohopea* saattaa vesisuihkun vaikutuksesta räjähtää.
- Kalsium- ja natriumperoksidit alkavat räiskyä räjähdysmäisesti levittäen paloa jouduttuaan kosketuksiin veden kanssa.
- Vesisuihkun sekä *nitroglyseriinin* kohtaaminen aiheuttaa räjähdysvaaran.
- Natrium (Na), kalium (K), kalsium (Ca), rubidium (Rb) ja caesium (Cs) reagoivat veden kanssa muodostaen vetyä, jonka syttyminen on välitöntä sekä yleensä räjähdysmäistä. Vettä ei tule käyttää tiloissa, joissa on kyseisiä aineita eikä näiden aineiden sammuttamiseen.

- Seuraavissa metallipaloissa tulisi veden käyttöä välttää näiden aineiden hajottaessa veden vedyksi sekä hapeksi: palava alumiini, magnesium, sinkki, rauta, titaani sekä termiitti. Vedyn mahdollinen räjähdysmäinen palaminen voi johdattaa sulaneen metallin räiskymiseen lähiympäristöön.
- Sammutettaessa kivihiilipaloa vedellä muodostuu hiilimonoksidia sekä vetyä. Nämä molemmat ovat syttyviä kaasuja, jotka kiihdyttävät paloa. Esimerkiksi kivihiililastissa olevan laivan ruumassa nämä kaasut aiheuttavat räjähdysvaaran, joten vesi ei sovi sinne sammutusaineeksi. Ulkoilmassa olevan kivihiilipalon sammutukseen vesi sen sijaan sopii hyvin.
- Palavien nesteiden, kuten öljy sekä rasva, palaessa on nesteen pintalämpötila yli 100 °C. Näiden nesteiden pinnoille ruiskutettu vesi saa aikaan räjähdysmäisen veden höyrystymisen levittäen palavaa nestettä ympäristöön sekä sammuttajien päälle. Suoraruisku, kuten myöskään perinteiset sprinklerit, ei sovellu näiden palojen sammutukseen, mutta vesisumulla tällaiset palot saadaan sammutettua ilman kyseisiä vaaratekijöitä.
- Monet jähmeät aineet reagoivat veden kanssa siten, että aine imee vettä itseensä ja turpoaa, jolloin sen tilavuus kasvaa. Tällaisia aineita ovat esimerkiksi paperi sekä selluloosa. Ahtaissa tiloissa turpoamisen seurauksena syntyy valtavia voimia, jotka esimerkiksi merikuljetuksissa voivat rikkoa laivan rakenteita. Laivoilla, jotka kuljettavat tällaisia aineita, tulisi vettä aina käyttää harkitusti. Runsas veden käyttö lisää vapaiden nestepintojen tilavuutta aluksessa, ja nämä nestepinnat taas edelleen vaarantavat aluksen meriturvallisuutta heikentämällä aluksen vakavuutta. (1,85-86)

4 VESISUMUJÄRJESTELMÄT

Muutaman vuosikymmenen ajan vesisumut ovat edustaneet uudempaa sammutustekniikkaa, jossa perinteisen veden sammutusmekanismit on pyritty optimoimaan. Mitä pienempiä vesipisararat ovat, sitä tehokkaammin kaikki veden kolme sammutusmekanismia tulevat hyödynnetyksi. Tarvittava vesimäärä palon sammuttamiseen on vesisumujärjestelmillä huomattavasti pienempi kuin perinteisillä järjestelmillä, joten niiden käyttö palontorjunnassa soveltuu hyvin kuljetuskalustoon, kuten laivoihin. Lisäksi

puhtaan veden etuina verrattuna CO₂-järjestelmään tai vaahtojärjestelmään on, että se on vaaraton sekä ihmisille että ympäristölle. (3,29)

Perinteiset sprinklerijärjestelmät, kuten myös kaasujärjestelmät, voidaan korvata vesisumujärjestelmällä. Palokoetestauksilla on saatu kiistatonta näyttöä kiinteiden vesisumujärjestelmien tehokkuudesta, ja laivasovellukset varsinkin matkustaja-aluksilla ovat olleet viime vuosina paljon asennettuja. Vesisumujärjestelmiä voidaan käyttää tiloissa, joissa voi ilmetä nestepaloja, sekä tiloissa, joissa on korkeita jännitteitä, toisin kuin perinteisiä sprinklerijärjestelmiä. Lisäksi kohteissa, joissa on korkealla käyntilämpötilalla käyviä laitteita, voivat perinteisen sprinklerin suuripisaraiset tipat hajottaa laitteiston, koska kohteeseen osuneilla vesipisaroilla on suuri jäähdytysteho. Vesisumun pienten pisaroiden jäähdyttävä vaikutus on huomattavasti tasaisemmin vaikuttavaa. (3,29;4,718)

Vesisumujärjestelmien valmistajia, kuten myös sumujen eri tuottamistekniikoita, on nykypäivänä useita erilaisia. Erinäiset viranomaismääräykset sekä palotestistandardit varmistavat sen, että vesisumujärjestelmien valmistajat joutuvat tekemään jatkuvaa tutkimus-, kehitys- ja testaustyötä erittäin intensiivisesti. (3,29)

4.1 Suutintyytit

Vesisumusuuttimet voidaan karkeasti jakaa kolmeen päätyyppiin:

- törmäyssuuttimet
- korkeapainesuuttimet
- paineilmasuuttimet.

Törmäyssuuttimissa suurella paineella virtaava vesi törmää kuristuksen edessä olevaan esteeseen ja hajoaa pieniksi pisaroiksi. Nämä suuttimet muistuttavat ulkonäöltään hyvin paljon perinteisiä sprinklerisuuttimia. Rakenteellisina eroina perinteisiin verrattuna on, että suuttimen kuristuksen halkaisija on kuitenkin pienempi sekä paine jonkin verran suurempi, tosin edelleen melko alhainen (<10 bar). Alhaisen paineen sekä kuristuksen edessä olevan esteen johdosta sumun liikemäärät ovat pienet, joten hienojakoisen sumun tuottaminen on vaikeaa tällä menetelmällä. (3,30)

Korkeapainesuuttimissa nimensä mukaisesti käytetään korkeaa vesipainetta (~15- 200 bar), joka yhdessä suuttimen kuristuksen kanssa hajottaa veden hienoiksi pisaroiksi. *Keskipainealueella* toimivien järjestelmien toimintapaine voi olla ~ 15- 35 bar sekä *korkeapainealueella* toimivan järjestelmän paine ~35 – 200 bar. Korkeapainejärjestelmä on huomattavasti kalliimpi kuin matalapainejärjestelmä. Korkeapainesuuttimilla saadaan tehtyä hyvin hienoja pisaroita, joilla on parempi *tunkeumakyky* kuin matalapaineisilla suuttimilla tuotetuilla pisaroilla. (3,30)

Paineilmasuuttimissa joko paineistettu ilma tai typpi yhdistetään suuttimessa paineistetun veden kanssa, jolloin vesi hajoaa sumuksi. Paineet tällaisessa järjestelmässä ovat melko alhaiset, mutta menetelmällä päästään hyvinkin pieniin pisarakokoihin, joilla on hyvä *tunkeumakyky*. Tällainen järjestelmä vaatii putkiston molemmille aineille (vesi, kaasu) sekä suuren paineilma-/ painekaasuväyhtymän. (3,30)

4.2 Vesisumujärjestelmän ominaisuuksia

Sammutustehokkuuteen eniten vaikuttava tekijä vesisumun ominaisuuksista on sumun *pisarakokojakauma*. *Vesivuon tiheys* sekä pisaroiden *tunkeumakyky* ovat myös hyvin merkittäviä asioita. Nämä vesisumun ominaisuudet määräävät sen, soveltuuko sumu kaasujärjestelmän korvaajaksi tilasuojauksessa vai sprinklerit korvaavaksi kohdesuojaukseksi. (3,30)

4.2.1 Pisarakoko

Vesisuihkun tai vesisumun pisarakokoa on hyvin vaikea kuvailla vain yhdellä numerolla vesisumun muodostuessa suuresta joukosta erikokoisia pisaroita. Vesisumun määrittämiseen/ kuvaamiseen löytyy useita eri tapoja. Tuomisaaren (3) mukaan: *Vesisumuna pidetään suihkua, jonka $D_{v,0,99}$ (halkaisija, jota pienempi halkaisija on 99%:lla nestetilavuuden pisaroista) metrin päässä suuttimesta keskellä suihkun poikileikkausta on alle 1mm. Käytännössä $D_{v,0,99} \leq 400 \mu\text{m}$, sillä sitä suuremmat pisarat saavat jo aikaan allaspalojen pinnan sekoittumista ja roiskimista. Usein sumujen pisarakoot ovat vielä paljon pienempiä: tilavuuskeskihalkaisija voi olla alle 100 μm .*

Vesisumut voidaan jakaa kolmeen luokkaan pisarakoon perusteella (5,10):

- Luokka 1: $D_{v,0,1} = 100 \mu\text{m}$, $D_{v,0,9} = 200 \mu\text{m}$

- Luokka 2: $D_{v0,1} = 200 \mu\text{m}$, $D_{v0,9} = 400 \mu\text{m}$
- Luokka 3: $D_{v0,9} > 400 \mu\text{m}$

4.2.2 Tunkeumakyky




Edellytyksenä, että pisarat pääsevät kulkeutumaan liekkiin ja palavaan aineeseen, on riittävän suuri liikemäärä. Edullisinta vedenkäytön kannalta onkin, että vesi saataisiin kulkeutumaan liekkiin nestemäisenä. Näin optimoidaan sekä sammutusnopeus että tarvittavan veden määrä. (3,31)

4.2.3 Pesaratiheys

Palopesäkkeeseen hyvällä liikemäärällä johdetut pienet pisarat eivät vielä takaa hyvää sammutustulosta. Vaaditaan myös riittävän suurta pisaroiden määrää. Pisaroiden eli veden määrä voidaan tilanteesta riippuen ilmoittaa tilavuusvirtana joko yksikkötilavuutena (vrt.kaasut) tai yksikköpinta-alana (vrt.sprinklerit). (3,31)

5 KORKEAPAINEVESISUMUSAMMUTUSLAITTEISTOT

Korkeapaineisilla vesisumusammutuslaitteistoilla pyritään hallitsemaan, tukahduttamaan sekä sammuttamaan tulipalot suihkuttamalla korkeapaineista pienipisaraista vesisumua palokohteeseen. Järjestelmän toimintatapa riippuu järjestelmän valmistajasta, sovelluskohteesta ja lainsäädännöllisistä järjestelmävaatimuksista. Vesisumun mikrooppiset pisarat muodostuvat järjestelmän aktivoitua ja käynnistettyä korkeapainepumput, jotka pumppaavat vettä erikoissuuttimien lävitse. Korkea paine aikaansaa pisaroille hyvän liikemäärän, jolloin pisarat tunkeutuvat palokohteeseen jäähdyttäen palavaa ainetta sekä sen välitöntä ympäristöä. Höyrystyessään vesi jäähdyttää tehokkaasti sitoen energiaa ympäristöstä, mutta laajetessaan myös syrjäyttää happea paikallisesti. Suuri määrä pieniä vesipisaroita estää myös lämpösäteilyn leviämisen palokohteesta ympäristöön. Näiden elementtien yhteisvaikutus tekee korkeapaineisesta vesisumusta erittäin tehokkaan järjestelmän paloja vastaan. Kuvassa 5 esitetään korkeapaineisella järjestelmällä aikaan saatavien pisaroiden keskimääräisiä kokoja verrattuna muihin järjestelmiin. (6)

	Tyypillinen pisara- kokojakauma (mm)	Pisaroiden määrä vesilitrassa	Pisaroiden pinta-ala (m ²)
 Perinteinen sprinkleri	1...5	15 000 - 2 milj.	1...6
 Matalapaine- vesisumu	0.2...1	2 milj. - 250 milj.	6...30
 HI-FOG®	0.025...0.2	250 milj. - 150 mrd. erinomainen jäähdytyskyky	30...250 lämpösäteilyn tehokas pysäytys

Kuva 5. Pisaroiden kokojakaumat eri järjestelmien välillä (6).

Korkeapainevesisumujärjestelmillä voidaan korvata perinteiset sprinklerijärjestelmät, kaasujärjestelmät ja vaahtojärjestelmät. Vesisumu sopii hyvin sekä kiintoaine- että nestepaloille. (6)

Vesisumujärjestelmien teho perustuu kolmen sammutusmekanismin yhtäaikaiseen toimintaan. Nämä mekanismit ovat jäähdytys, lämpösäteilyn absorbointi ja hapen syrjäyttäminen. Perinteisten sprinklerijärjestelmien ensisijainen sammutusmekanismi on palavan aineen kasteleminen ja sitä kautta palon rajoittaminen. Tästä syystä ne käyttävätkin vettä todella paljon verrattuna vesisumujärjestelmiin. Korkeapainevesisumujärjestelmät käyttävätkin huomattavasti vähemmän vettä perinteisiin sprinklerijärjestelmiin verrattuna saavuttaen silti vähintään yhtä hyvät tulokset. Kuvassa 6 esitetään veden kulutusta 30 minuutin suihkutusajalta perinteisen sprinklerilaitteiston ja korkeapainevesisumujärjestelmän kaasupumppuyksiköllä tuotetun kesken. (6)



Kuva 6. Yksi korkeapainevesisumujärjestelmän suutin vapauttaa noin 380 litraa vettä 30 minuutissa, kun käytetään kaasupumppuyksikköä. Perinteisen sprinklerijärjestelmän suutin vapauttaa samassa ajassa noin 3600 litraa vettä (6).

Vesisumusammutusjärjestelmien toiminta ja tehokkuus ovat riippuvaisia useista eri tekijöistä. Tällaisia ovat mm. veden pisarakoko ja kokojakauma, järjestelmän paine, vesisumun liikenoisuus, pisaroiden *tunkeuma* palokohteeseen sekä *vesivuon* tiheys. Muita järjestelmän toimivuuteen vaikuttavia asioita ovat suutinten sijoittaminen, suutinten rakenne, ympäristön mahdolliset vaikutukset järjestelmälle ja järjestelmän perusrakenne. Järjestelmien toimintatehokkuus on siis monen tekijän summa, ja näistä syistä johtuen vesisumujärjestelmiä palotestataan puolueettomissa testauslaitoksissa voimassa olevien palotestistandardien ja viranomaissääntöjen edellyttämällä tavoilla. (6)

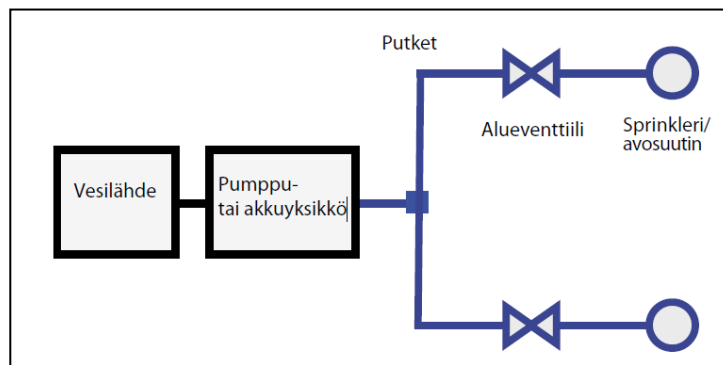
Verrattuna matalapaine- tai keskipainevesisumuihin on korkeapainevesisumuilla eri testeissä todettu olevan seuraavia etuja (6):

- parempi tunkeumakyky palon lähteeseen
- parempi suojattavan alueen peittokyky
- parempi jäähdysteho johtuen nopeammasta veden höyrystymisnopeudesta
- pienempi järjestelmän paino
- pienempi vedenkulutus.

5.1 Järjestelmän pääosat

Tyypillinen Marioff Corporation Oy:n HI-FOG[®]-järjestelmä koostuu seuraavista osista (kuva 7):

- vesilähde
- korkeapainepumppuyksikkö tai akkuyksikkö
- putkisto
- alue- ja / tai konehuoneventtiilit
- suuttimet



Kuva 7. Tyypilliset HI- FOG[®]-järjestelmän osat (6).

Lisäksi järjestelmään voidaan tarpeen vaatiessa liittää ilmaisu- ja laukaisukeskus, pikapaloposteja, kompressoreita, mittareita yms. järjestelmää täydentäviä laitteita (6).

5.2 Järjestelmävaihtoehdot

Järjestelmän olennaisimpiin osiin kuuluu korkeapainepumppu- tai akkuyksikkö, jonka tehtävänä on luoda järjestelmään sekä vedenpaine että virtaus. Laivoilla järjestelmä on jaettu useisiin eri alueisiin, koska palontorjuntamenetelmät vaihtelevat ympäristön mukaan. Palosuojaus aluksilla voidaan jakaa kolmeen pääluokkaan (6):

- kohdesuojaukseen
- koneistojen suojaukseen
- asuintilojen suojaukseen

Yleisesti palosuojausta voidaan parantaa yhdistämällä aktiivista ja passiivista (rakenteellista) palosuojausta. Suunnittelijoiden harkittavaksi jää arvioida riittävä ja toimiva palosuojauksen tarkoituksenmukaisuus. (6)

Korkeapainepumpuilta/ -akuilta vesi johdetaan alueventtiileiden kautta suuttimille, jotka ovat järjestelmän viimeiset pisteet eri osastoilla. Nämä suuttimet muuntavat putkistossa virtaavan korkeapaineisen veden sumuksi. Alueventtiileiden toiminnalla sekä erilaisilla suutintyypeillä voidaan järjestelmiä vielä hieman jakaa erityyppisiksi. (6;7,9)

5.2.1 Märkäputkijärjestelmä

Märkäputkijärjestelmä on jatkuvasti paineistettu järjestelmän ylläpitopaineeseen pneumaattisella pumpulla. Märkäputkijärjestelmässä käytetään normaalisti avoimia alueventtiileitä, joten niiden molemmin puolin vallitsee sama paine. Näin ollen putkistossa vallitsee sama ylläpitopaine pumpulta suuttimiin. (7,10)

Suuttimet ovat suljettuja niiden ollessa ehjiä, mutta aukeavat lämmön hajottaessa lasiampullin. Lasiampullin hajotessa vesi virtaa sprinklerisuuttimien kautta ulos ja putkiston paine laskee. Paineanturi tai virtausmittari aktivoi korkeapainepumput, jotka nostavat paineen yli 100 baariin. Ainoastaan ne suuttimet, joiden lasiampulli on lauennut, tuottavat vesisumua. (7,10)

Tällaista järjestelmää käytetään erityisesti hyttien tai yleisten tilojen palonsuojaukseen sekä tiloissa, joissa ei välttämättä tarvita manuaalista laukaisua tai elektronista palohälytysjärjestelmää. Etuina on, että vettä suihkutetaan vain sinne missä lämpötila on kohonnut riittävästi. (6)

5.2.2 Avosuutinjärjestelmä

Avosuutinjärjestelmän suuttimina ei käytetä lasiampullisuuttimia vaan nimensä mukaisesti avoimia suuttimia. Järjestelmässä pidetään jatkuvaa ylläpitopainetta pumppuyksikön ja alueventtiileiden välillä. Alueventtiilit ovat tässä järjestelmässä normaalisti suljettuja ja jakavat suojatut alueet toiminnallisiin kokonaisuuksiin.

Palonilmaisujärjestelmän tiedon perusteella voidaan alueventtiili aukaista joko manuaalisesti tai automaattisesti. Alueventtiilin avaaminen laukaisee järjestelmän korkeapainepumput käyntiin, minkä jälkeen vesisumua alkaa muodostua jokaisesta alueventtiilin takana olevasta suuttimesta samanaikaisesti. (7,10)

Avosuutinjärjestelmät ovat parhaimmillaan rajattujen tilojen suojauksessa, joten tällaisia järjestelmiä käytetään useimmiten konehuonetilojen suojauksessa. Haittapuolina voidaan mainita, että avosuutinjärjestelmä tarvitsee erillisen palonilmaisujärjestelmän ja kaukolaukaisujärjestelmän sekä joskus järjestelmä saattaa käyttää vettä tarvittavaa määrää enemmän. (6)

5.2.3 Kuivaputkijärjestelmä

Kuivaputkijärjestelmä on rakenteeltaan märkäputkijärjestelmän kaltainen, mutta kuivaputkijärjestelmässä käytetään normaalisti suljettuja alueventtiileitä. Järjestelmän yläpitoaine siis rajoittuu alueventtiiliin. Alueventtiilin sekä sprinklerisuuttimien välisessä putkistossa on paineistettua ilmaa, jonka tilaa seurataan. (6)

Sprinklerisuuttimen lasiampullin lauettua paineistettu ilma purkautuu ulos putkistosta. Paineenvalvontakytkin havaitsee paineen laskun ja aukaisee alueventtiilin, joka päästää veden virtaamaan lauennun sprinklerisuuttimen kautta vesisumuna huonetilaan. Alueventtiilin aukeaminen myös käynnistää korkeapainepumput. (6)

Kuivaputkijärjestelmää käytetään tyypillisesti kohteissa, joissa on vaarana putkiston jäätyminen. Vaihtoehtoisesti jäätymisaltiltiissa paikoissa voidaan käyttää märkäputkijärjestelmää, kun putkisto on täytetty jäänestoaineella. (6)

Kuivaputkijärjestelmää voidaan myös käyttää ns. kaksitoimisena pre- action-järjestelmänä, jolloin palonilmoitinlaite aktivoi ja avaa suojattavan tilan alueventtiilin, jolloin vesi virtaa sprinklereille asti, mutta vesisumua saadaan vasta, kun lämpö rikkoo sprinklerin ampullin. Tällaisia järjestelyjä käytetään tyypillisesti tiloissa, joissa halutaan välttää veden tulo tilaan ampullin tahattomasta mekaanisesta rikkoutumisesta, kuten esim. joidenkin herkkien sähkölaitteiden osalta. (6)

5.3 Vesilähde

Akkuyksikön vesilähteenä toimivissa vesipulloissa käytetään puhdasta ns. juomakelpoista vettä. (6)

Pumppuyksiköissä vesilähteenä käytetään erillistä vesisäiliötä (laivat) tai kiinteistön runkovesilinjaa (rakennukset) tai erillistä sprinklerivesilinjaa. Vesisäiliön kokoon vaikuttaa valittu järjestelmä, paikalliset vaatimukset sekä valittu pumppuyksikkö. Kaasupumppuyksikön tarvitseman vesisäiliön koko voi olla 3 - 9 m³, kun taas sähköpumppuyksikkö voi vaatia 10 - 30 m³:n säiliön. Eniten säiliön kokoon vaikuttavia tekijöitä ovat järjestelmältä vaadittu mitoitusala ja toimiaika. Mahdollisten epäpuhtauksien varalta on pumppuyksiköt varustettu suodattimilla, jotka poistavat mahdolliset veteen joutuneet pienpartikkelit, jotta järjestelmän toiminta pysyisi luotettavana. (6)

Lisäksi laiva-asennuksissa tulee olla merivesiyhteys järjestelmään, mikäli vesisäiliö pääsee tyhjenemään. Tämän yhteyden tulee olla järjestetty niin, että meriveden sisäänotto tapahtuu konehuoneen ulkopuolisesta merivesilähteestä. Tämän merivesiputken ja korkeapainepumpun välillä tulee olla venttiili, jonka avautuminen on joissain järjestelmissä toteutettu sähköpneumaattisesti 24 voltin tasavirralla. Venttiili aukeaa, kun vesisäiliön alaraja-anturi tunnistaa veden loppuvan, ja venttiili sulkeutuu automaattisesti järjestelmän kytkeydyttyä valmiustilaan. (6;7,18-19)

5.4 Esimerkkejä pumppuyksiköistä

5.4.1 Kaasupumppuyksikkö

Marioffin GPU (Gas Driven Pump Unit) -kaasupumppuyksikön (kuva 8) käyttövoimana on paineistettu kaasu, joten se ei tarvitse toimiakseen ulkopuolista energiaa. Pumppuyksikkö on joko ilma- tai typpikäyttöinen mekaaninen mäntäpumppu. Vesipulloja käytetään yleisemmin vain sprinklerisovelluksissa, ja niiden lukumäärä riippuu palotesteissä käytetystä veden määrästä. Käyttökohteina ovat yleisimmin kevyen ja normaalin sprinkleriluokan kohteet sekä konehuoneet. Kaasupumppuyksikkö käyttää vähemmän vettä kuin sähköpumppuyksikkö, joten se on suosittu vaihtoehto mm. hotellien, perinnekohteiden, tietokonekeskuksien ja junien palonhallintajärjestelmänä. (6)



Kuva 8. GPU-pumppuyksikkö (6).

5.4.2 Sähkötoiminen pumppuyksikkö

Marioffin SPU (Sprinkler Pump Unit) on sähkötoiminen pumppuyksikkö (kuva 9), jossa jokainen sähkömoottori pyörittää kahta korkeapainepumppua. Sähkömoottoreiden määrä sovitetaan suojattavan kohteen mukaan ja tarvittaessa pumppuyksiköitä voidaan liittää toisiinsa lisätehon saavuttamiseksi. Merenkulun sovelluksissa tulee pumppuyksikössä olla yksi ylimääräinen sähkömoottori varalla, mikäli jossain moottoreista ilmenee toimintavika. Putkistossa pidetään yllä noin 25 baarin jatkuva paine pneumaattisella pumpulla. (6)



Kuva 9. SPU-pumppuyksikkö (6).

5.4.3 Akkuyksiköt

Tyypillisesti akkuyksiköitä (kuva 10) käytetään kohdesuojaukseen tai pienten tilojen, kuten konehuoneiden sekä keittiöiden rasvakeittimien palosuojaukseen. Käyttövoimana tässä järjestelmässä toimii paineistettu kaasu. Kaasu johdetaan vesipullojen läpi avosuuttimille ja siitä eteenpäin vesi-kaasuseos leviää suojattavaan kohteeseen. Akkuyksikkö ei tarvitse ulkopuolista käyttövoimaa, koska se on energiasta riippumaton sammutusjärjestelmä.(6)



Kuva 10. MAU (Machinery Space Accumulator Unit)-yksikkö (6).

5.5 Korkeapainejärjestelmän putkisto

Tyypillisesti putket ovat ruostumatonta haponkestävää terästä (AISI 316L) halkaisijaltaan 12- 60 mm (taulukko 3). Putket ovat siis halkaisijoiltaan pieniä verrattuna perinteisiin sprinklerijärjestelmiin. Putkien pienet halkaisijat mahdollistavat putkien taivuttamisen työkohteessa, jolloin putkien piiloasentaminen ahtaisiin tiloihin helpottuu ja asentamisaika lyhenee. Halkaisijaltaan 60 mm ja sen yli olevat putket liitetään toisiinsa laippaliitoksilla ja tätä pienemmät leikkuurengasliitoksilla. (6)

Taulukko 3. Korkeapaineputkien vakiokoot HI-FOG[®]-järjestelmissä (6).

Putken halkaisija	Käyttö	Taivutussäde
12 mm	Haaraputki	30 mm
16 mm	Jakoputki	40 mm
20 mm	Pääjakoputki	63 mm
30 mm	Runkoputki	75 mm
38 mm	Runkoputki	95 mm
60 mm	Päärunkoputki	150 mm

Putkien ja niiden liitososien tulee olla tarkoitettu korkeapainekäyttöön ja niiden tulee tyypillisesti kestää neljä kertaa järjestelmän käyttöpainetta vastaava paine. Putkisto tulee testata järjestelmän käyttöönottoaiheessa NFPA (National Fire Protection Association) -vaatimusten mukaisesti: Koko järjestelmän putkisto paineistetaan 1,5 kertaiseen käyttöpaineeseen 120 minuutin ajaksi. Tällä testausmenetelmällä varmistetaan, että putket on oikein asennettu sekä, putkien, niiden liitosten ja koko järjestelmän vesitiiviys. (6)

Uudiskohteen järjestelmäsuunnittelun yhteydessä tehtävien hydraulisten laskelmien perusteella valitaan järjestelmässä käytettävät putket. Yleensä jokaisen runkoputken päähän asennetaan käsikäyttöinen palloventtiili, jonka kautta järjestelmästä voidaan huuhtoa pois sinne mahdollisesti kertynyt ilma sekä muut epäpuhtaudet. Erityisesti märkäputkijärjestelmästä tulisi palloventtiiliä käydä aukomassa määrääjoin, jotta mahdollisesta ilmasta järjestelmässä päästäisiin eroon. Ilma tällaisessa järjestelmässä voi heikentää sen toimintaa. (6)

5.6 Alueventtiilit

Märkäputkijärjestelmän alueventtiileiden tarkoituksena on jakaa sprinklerijärjestelmä eri osastoihin. Ne ovat normaalisti avoimia venttiileitä (kuva 11). Veden virrassa venttiilin lävitse lähettää virtausmittari siitä tiedon eteenpäin ohjausyksikköön, joka käynnistää järjestelmän automaattisesti. (6)



Kuva 11. Märkäputkijärjestelmän alueventtiili (6).

Alueventtiili voidaan sulkea manuaalisesti esimerkiksi huoltojen tai tarkistusten ajaksi. Rutiinitestausta varten venttiilistä löytyy testausliitäntä simuloimaan sprinklerisuuttimien laukeamista. (6)

Avosuutinjärjestelmän alueventtiileitä käytetään lähinnä eri koneistotilojen jakamiseen (kuva 12). Venttiilit ovat normaalisti suljettuja. Palonilmaisinjärjestelmän lähettäessä tiedon mahdollisesta palosta ohjausyksikköön voidaan venttiili aukaista automaattisesti ohjausyksikköpääteeltä tai manuaalisesti venttiililtä. Auetessaan venttiili päästää korkeapaineisen veden virtaamaan kaikkien siinä tilassa olevien avosuuttimien kautta vesisumuna kohteeseen. (6)



Kuva 12. Avosuutinjärjestelmän alueventtiili (6).

5.7 Sprinkleri- ja avosuuttimet

Sprinklerisuuttimia (kuva 13) käytetään passiivisissa kohteissa, joissa kohdetilan lämpötilannousu laukaisee sprinklerin. Lämpötilan kohoaminen tiettyyn pisteeseen saakka hajottaa sprinklerin lasiampullin sille määrättyssä lämpötilassa. Nämä lämpötilaan reagoivat suuttimet tulee valita sen perusteella, mikä on niiden laukeamislämpötila. Normaalisti vaihtoehtoina ovat 57 °C, 68 °C, 79 °C, 93 °C ja 141 °C. Yleensä näistä kahta ensimmäistä käytetään huonetiloissa ja viimeistä tyypillisimmin saunassa. Nimellinen laukeamislämpötila tulisi valita niin, että se on vähintään 30 °C suurempi, kuin on oletettu ympäristön suurin lämpötila. (6)



Kuva 13. HI- FOG -sprinklerisuuttimia (6).

Sprinklerisuuttimen laukeaminen vapauttaa karaventtiilin, mikä sallii korkeapaineisen veden virtauksen suuttimien lävitse. Sprinklerisuuttimet koostuvat sprinkleri-rungosta, karaventtiilistä, mikrosuuttimista sekä lasiampullista. Suuttimet on varustettu 300 µm suodattimilla tukkeutumien estämiseksi. Normaalisti sprinklerit valmistetaan messingistä ja päällystetään kromilla tai nikkelillä. (6)

Jokaisella valmistajalla on useita erimallisia suuttimia erityyppisiin tiloihin, kunkin kohteen vaatimusten mukaan. Eniten suuttimen valintaan vaikuttavat tekijät ovat suojattavan tilan tyyppi, palotestit, tilan normaalilämpötila, tilan korkeus, asennuspaikka (katto, lattia, seinä), pumppuyksikön tyyppi sekä suojattavan tilan ilmanpuhtaus. (6)

Avosuuttimet (kuva 14) ovat nimensä mukaisesti aina avoimia, eli niissä ei ole lasiampullia, jonka mukaan laukeaminen tapahtuu, vaan alueventtiili, jonka avaaminen laukaisee kaikki sen takana olevat avosuuttimet. Normaalisti tällaisia suuttimia käytetään kohteissa, joissa laukaiseminen tapahtuu joko manuaalisesti tai automaattisesti palonilmaisinalitteiston antaman ilmoituksen perusteella. (6)



Kuva 14. HI- FOG -avosuuttimia (6).

Avosuutin muodostuu suuttimen rungosta, mikrosuuttimista ja 300 µm suodattimesta. Suuttimien valmistusmateriaalina on ruostumaton teräs. (6)

6 VESISUMUJÄRJESTELMIIN LIITTYVIÄ MÄÄRÄYKSIÄ JA STANDARDEJA

6.1 NFPA

Vesisumusammutusjärjestelmät on suunniteltava ja asennettava National Fire Protection Associationin standardin NFPA 750, Standard on Water Mist Fire Protection Systems mukaisesti. Tämä standardi sisältää minimivaatimuksia vesisumujärjestelmän asennukselle, suunnittelulle, ylläpidolle ja testaukselle. Lisäksi standardi käsittää vaatimukset järjestelmän kaikille komponenteille ja materiaaleille. (8,1)

NFPA 750-standardi ei käsittele vesisumujärjestelmän toimintaperiaatteita, vaan asennusta koskevat vaatimukset perustuvat täysimittaisiin palokokeisiin. Standardi ei kuitenkaan sisällä palokoemenetelmiä, vaan ne ovat täysin sovellutuksesta riippuvaiset ja vastuu annetaan järjestelmän valmistajalle sekä puolueettomalle testauslaitokselle. (8,21)

Järjestelmäkokonaisuudelle on asetettu tiettyjä toimintavaatimuksia ja järjestelmän asennukselle annetaan tiettyjä yleisluontoisia ohjeita. Standardi sisältää ohjeistuksen järjestelmän hydraulisille ja pneumaattisille virtauslaskuille sekä vaatimukset neste- ja kaasusäiliöille. Lisäksi standardi sisältää vaatimukset järjestelmän dokumentoinnille, hyväksynnälle ja ylläpidolle. (8,1)

6.2 IMO

Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO ei suorita palokoetestauksia, mutta se on ollut luomassa palokoemenetelmiin liittyviä standardeja, jotka sisältävät, kuinka palokokeet pitää todellisuudessa suorittaa. Näillä palokoemenetelmillä varmistetaan vesisumusammutusjärjestelmän *vastaava* sammutustehokkuus kuin SOLAS (Safety of Life at Sea)- sopimuksen mukaisilla sammutusjärjestelmillä. (8,56)

IMO:n kiertokirjeen MSC/668 liitteessä A *Component manufacturing standards of equivalent water-based fire-extinguishing systems* on suuttimien testauksen standardi. Komponenttitestejä on yli kaksikymmentä ja kaikkien testien läpikäyminen hyväksyntään asti saattaa kestää jopa vuoden. Testeissä tarkastellaan esimerkiksi suuttimen ja laukaisumekanismien mekaanista kestävyyttä, korroosion kestävyyttä erilaisissa ympäristöissä, kuumuuden ja lämpöshokin vaikutuksia, tukkeutumisalttiutta ja iskunkestävyyttä. (8,56;5,20)

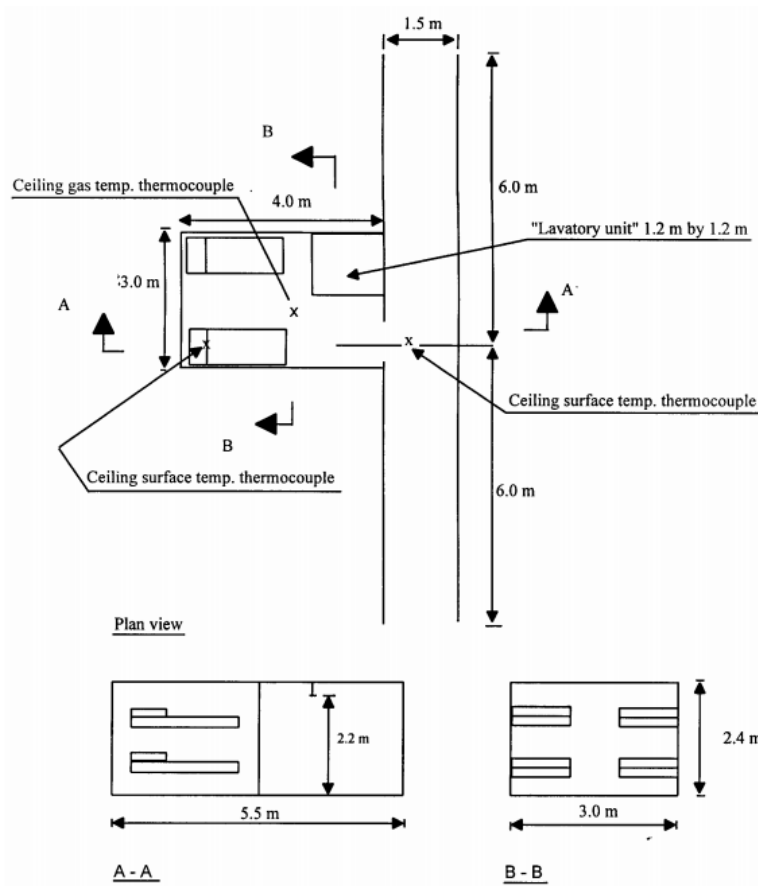
Aluksen palokoetestauksiin liittyviä IMO:n kiertokirjeitä on pääasiassa neljä kappaletta:

Res.MSC.265 (84) *Amendments to the Revised Guidelines for Approval of Sprinkler Systems Equivalent to that Referred to in Solas Regulation II- 2/ 12 (Resolution A.800(19))* sisältää palokoemenetelmät niille alueille, jotka perinteisesti suojattaisiin sprinklerijärjestelmillä. Näitä alueita ovat laivan hytit, julkiset tilat, myymälätilat sekä varastotilat. (9,5)

Hytti- ja käytäväalueen palokoetta varten tulee rakentaa 3 m x 4 m x 2,5 m kokoinen hytti, joka sijaitsee keskellä 1,5 m x 12 m x 2,5 m kokoista käytävää (kuva 15). Käytävän molemmat päädyt ovat avonaiset. Hytissä on kaksi kerrosvuodetta ja kaksi lämpötilanmittauspistettä, toinen lämpömittari mittaa savukaasujen lämpötilaa läheltä hyttin kattoa ja toinen lämpömittari mittaa kattopinnan lämpötilaa. Yksi lämpömittari sijaitsee käytävässä ja mittaa käytävän kattopinnan lämpötilaa. Palokoemenetelmät sisältävät kuusi erilaista koetta, joissa sytytyskohta tai sytytystapa vaihtelee:

1. Hytti: palo alkaa toisesta alavuoteesta
2. Hytti: palo alkaa toisesta ylävuoteesta
3. Hytti: toisesta alavuoteesta alkava tuhopoltto

4. Käytävä: hyttipalo alkaa toisesta alavuoteesta, hytin sprinklerit epäkunnossa
5. Käytävä: sytytyskohta sprinklerin alapuolella
6. Käytävä: sytytyskohta kohden sprinklerin välissä (9,9-12)



Kuva 15. Hytti- ja käytäväalueen palokoetta varten rakennettavan tilan mitoitus (9,19).

Hytti- ja käytäväalueilla tulee käyttää automaattisia sprinklereitä, joissa suutin laukeaa automaattisesti lämpötilan rikkoessa lasiampullin. Kokeen suoritus on kaikissa tapauksissa samanlainen: palon sytytyksen jälkeen palo saa kehittyä vapaasti ensimmäisen sprinklerin laukeamiseen asti. Ensimmäisen sprinklerin lauettua koetta jatketaan kymmenen minuuttia, minkä jälkeen mahdolliset jäljelle jääneet liekit sammutetaan. Näiden kokeiden läpäiseminen ei edellytä täydellistä palonsammutusta toisin kuin konehuonesuojauksessa, vaan vesisumujärjestelmän tulee pystyä rajaamaan ja hallitsemaan paloa kymmenen minuuttia. Palokoetestit läpäistäkseen tulee tiettyjen mitattujen lämpötila-arvojen tulla alitetuksi sekä tietyt palovahingot eivät saa ylittää raja-arvoja. (9,12-13;5,20)

MSC/ Circ. 668 *Alternative Arrangements for Halon Fire- Extinguishing Systems in Machinery Spaces and Pump- Rooms* sisältää palokoemenetelmät konehuoneille ja pumppuhuoneille, jotka on yleensä suojattu kaasujärjestelmin. Nämä palokoemenetelmät sisältävät nestemäisten polttoaineiden palot pienissä konehuoneissa 500 m^3, keskikokoisissa konehuoneissa 3000 m^3 sekä suuremmissa konehuoneissa esim. tankkerit ja konttialukset >math>3000 \text{ m}^3</math>. Testaustilassa tulee olla 2 m x 2 m tuuletusaukko yhdessä seinässä. Suuren dieselmoottorin malli pilssitiloineen tulee valmistaa keskelle palokoetilaa. Nestemäisten polttoaineiden palokokeisiin kuuluu matala- ja korkeapaineisia polttoainelinjoja, voiteluainelinjoja, hydraulikkaöljylinjoja. Eri öljyjen paloja suoritetaan suihkepaloina, valuvina öljypaloina ja allaspaloina. Osa paloista eristetään suoralta vesisumun vaikutukselta teräslevyin. Palokokeet sisältävät kolmetoista erilaista palotilannetta: kahdeksassa tapauksessa käytetään tavanomaista dieseliä (korkean leimahduspisteen öljyjä), neljässä tapauksessa käytetään heptaaniöljyä (matalan leimahduspisteen öljyjä) ja yhdessä tapauksessa käytetään palavaa puulavaa, jossa sytteenä käytetään heptaania. (8,58)

Konehuonesuojauksessa vesisumujärjestelmän tulee sammuttaa kaikki palot, mukaan lukien pilssipalot, sekä estää palojen uudelleen syttyminen. Tämä palokoemenetelmä edellyttää kaikkien palojen täydellistä sammuttamista. Vesisumujärjestelmissä voidaan tapauskohtaisesti sallia yhdistelmiä, joissa on sekä katoissa olevia avosuuttimia että ilmastointikanavissa olevia suuttimia. Myös vaahdotusaineen käyttö voidaan hyväksyä pilssitilan suojauksessa. Vesisumujärjestelmässä tulee olla erilliset suuttimet pilssitilojen suojaukseen, mikäli pilssitilan korkeus ylittää 0,75 m. Konehuoneen vesisumujärjestelmän suuttimet ovat avosuuttimia ja alueventtiilin aukaisemisen tulee olla myös manuaalisesti mahdollista. Vesisumujärjestelmän lauettua tulee vedensäänin jatkua ainakin 30 minuuttia, joko vesisäiliöstä tai merivesiyhteydestä. (8,58)

MSC.1/ Circ. 1387 *Revised Guidelines for the Approval of Fixed Water- Based Local Application Fire- Fighting Systems for Use in Category A Machinery Spaces (MSC/Circ.913)* sisältää palokoemenetelmät konehuoneessa olevien laitteistojen kohdesuojaukseen. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi kattilat ja polttoainelinjat. (8,59)

Kohdesuojausjärjestelmän käyttötarkoituksena on lisätä konehuoneen paloturvallisuutta. Kohdesuojauksista voidaan käyttää kohteissa, joissa on vaarana tulenaran nesteen

vuotaminen kuumille pinnoille, kuten koneiden pakoputket, generaattorit, kattilat ja separaattorit. Kohdesuojajärjestelmä on tarkoitettu täydentämään konehuoneen tilasuojaukseen tarkoitettua järjestelmää ja sen tarkoituksena on tarjota välitöntä palosuojaukseen ilman, että koneita tarvitsisi sammuttaa, miehistöä evakuoida konehuoneesta, ilmanvaihtoa tarvitsisi sammuttaa tai konehuonetta muuten eristää. Mikäli konehuone ei ole jatkuvasti miehittettynä, tulee laukaisujärjestelmän toimia sekä manuaalisesti että automaattisesti. (8,59)

Palokoemenetelmällä arvioidaan vesisumusuuttimien soveltuvuus kyseisiin kohteisiin ja se on pohjana suunniteltaessa suuttimien pystysuoraa tai vaakasuoraa asennusverkostoa. Palokoemenetelmän tarkoituksena on arvioida suuttimien maksimietäisyydet toisistaan, minimi- ja maksimietäisyydet palavasta kohteesta, pienin veden virtausnopeus sekä minimi- ja maksimitoimintapaineet. Palokoealueen tulee olla vähintään 100 m² ja korkaudeltaan maksimissaan 5 m. Palokokeet suoritetaan 1 MW:n ja 6 MW:n suuruisina suihkepaloina, joissa palavana aineena käytetään kevytöljyä. Vesisumujärjestelmän tulee sammuttaa suihkepalot viiden minuutin kuluessa siitä, kun vesisumujärjestelmä laukaistiin. Vesisumun tuottoa, kuten myös öljysuihkeen tuottoa, jatketaan vielä viiden minuutin jälkeen, ja mikäli öljy syttyy uudestaan palamaan, katsotaan palokokeen epäonnistuneen. (8,59)

MSC.1/ Circ. 1430 Revised Guidelines for the Design and Approval of Fixed Water-Based Fire-Fighting Systems for Ro-Ro Spaces and Special Category Spaces sisältää palokoemenetelmät ro-ro-lastitilojen sekä erityisluokkiin kuuluvien tilojen tilasuojaukseen. (10,1)

Palokoemenetelmän tarkoituksena on arvioida vesipohjaisten sammutuslaittosten tehokkuutta ro-ro-lastitilojen sekä erityisluokkiin kuuluvien tilojen palosuojauksessa kattokorkeuden ollessa enintään 5 m. Palokoetesteillä saadaan määriteltyä suutinten sijoitus, suutintyyppi, veden virtausnopeus, vedenpaine sekä järjestelmän hydrauliset suunnitteluvaatimukset. Palokoetestissä käytettävän hallin tulee olla pinta-alaltaan vähintään 300 m² ja huonekorkeudeltaan vähintään 8 m. Hallissa tulee olla koneellinen tai luonnollinen ilmanvaihto, ilmanvaihdolle ei saa olla rajoittavia tekijöitä. Palokoetesteissä simuloidaan sekä kuorma-auton että henkilöauton alta alkavia paloja lastiruumassa. Autojen mallit valmistetaan teräksestä ja niiden kylkiin tulee vanerilevyt, joiden palamisastetta arvioidaan testin päätyttyä. Palolähteenä käytetään EUR- stan-

dardin mukaisia puisia kuormalavoja. Palokokeiden aikana mitataan savukaasujen lämpötilaa kahdesta eri kohdasta ja putkiston vedenpainetta mahdollisimman läheltä putkiston keskipistettä. Palokoetestin läpäisyyn vaikuttaa palokaasujen lämpötilamittaukset, palolähteen vauriot ja vanerilevyjen saamat palovauriot. (10,10-17)

6.3 Testauslaitos

Vesisumusammutusjärjestelmän palokoestaukset on suoritettava puolueettoman testauslaitoksen toimesta, esimerkiksi VTT (Suomi), SP (Ruotsi) sekä SINTEF (Norja). Kyseisen testauslaitoksen pitää olla akkreditoitu palokoestaukseen ja/ tai sen tulee osoittaa pätevyys vesisumusammutusjärjestelmän testaukseen. Vesisumusammutusjärjestelmän on suoritettava palotestit standardissa määriteltyjen suoritusarvojen mukaisesti. Palokoesteista on oltava täydelliset testiraportit, joista käyvät ilmi standardipalokokeet sekä niissä käytetyt komponentit, suuttimien korkeudet ja asennusvälit, järjestelmän minimitoimintapaineet, mitoitusalat sekä mahdolliset muut asiat, jotka ovat voineet vaikuttaa sammutustehoon. (11,192;8,58)

Testauslaitoksen tekemän testiraportin mukaan, jossa vesisumusammutusjärjestelmä täyttää standardissa määritellyt suoritusarvot, muodostaa perustan luokituslaitoksille hyväksyä kyseinen järjestelmä. IMO:n kiertokirjeet sisältävät standardit sekä palokoemenetelmille että suutinten testauksille. (8,58)

6.4 Vesisumusammutusjärjestelmän komponenttien standardit

Vesisumusammutusjärjestelmässä käytettävän komponentin on täytettävä European Committee for Standardizationin (CEN) tai International Organization for Standardizationin (ISO) tuotestandardissa esitetyt vaatimukset. Mikäli tuotestandardia ei ole, komponentin on täytettävä standardissa FM Approvals, Class Number 5560 'Approval Standard, Water Mist Systems' tai Underwriters Laboratories UL 2167 'Water Mist Nozzles for Fire Protection Service' esitetyt vaatimukset. (11,193)

6.5 Nestepalojen palontorjunta konehuoneessa

Vesisumuja voidaan käyttää nestepalojen tukahduttamiseen esimerkiksi konehuoneissa laivoilla. Laajoja testauksia on suoritettu arvioitaessa vesisumun mahdollisuuksia sekä rajoituksia konetilojen suojauksessa. (4,718)

Useiden eri vesisumujärjestelmien suorituskykyä konehuonepaloissa arvioitiin kansainvälisen merenkulkujärjestö IMO:n (International Maritime Organization) palotestimenetelmien mukaisesti. Testeissä tutkittiin mm. sumun ominaisuuksia (sumukuvio, pisarakoko), järjestelmätyyppejä (järjestelmän paine, veden virtausnopeus, suuttimien sijoitus), palotilanteita (palotyyppi, palonkoko ja sijainti) sekä erilaisia ilmansaanti/-poisto muotoja. Testit osoittivat, että vesisumujärjestelmillä kyetään sammuttamaan erilaisia hiilivetypaloja, joita voi konehuoneissa ilmetä. Verrattuna kaasujärjestelmiin sammutusajat olivat pidemmät, mutta sumut saivat palot nopeasti hallintaan. Samalla ne jäähdyttivät ympäristöä ja pitivät hiilimonoksidi(CO) sekä hiilidioksidi(CO₂) -arvot alhaisina. NRC:n (National Research Council of Canada) suorittamien testien mukaan konehuoneosaston lämpötila laski 50 °C:seen alle viidessätoista sekunnissa järjestelmän laukaisun jälkeen sekä mitattujen maksimi hiilimonoksidi(CO) sekä hiilidioksidi(CO₂) -arvojen todettiin jäävän alle 0,08 %:iin ja 3,5 %:iin. Alhaisen lämpötilan sekä alhaisten kaasupitoisuuksien vuoksi savusukeltajille olisi jo tässä vaiheessa tarpeeksi turvallista tulla sammuttamaan palo lopullisesti. (4,719)

Vesisumun sammutuskyky konehuoneessa määräytyy pääasiassa palon suuruudesta, esteiden määrästä, tuuleuksesta, konehuoneen geometriasta, suutintyyppistä sekä suuttimien sijoituksesta konehuoneessa. Suuret palot verrattuna osaston kokoon ovat helpommin sammutettavissa kuin pienet palot, mikä johtuu palamisen jo kuluttamasta hapesta sekä siitä, että vesisumun höyrystyessä vesihöyryksi se syrjäyttää happea vielä lisää. (4,719)

Konehuoneiden tilavuuksien sekä seinäkorkeuksien kasvu heikentää vesisumun sammuttavaa vaikutusta, koska hienoa vesisumua on vaikea saada hyvällä liikemäärällä kulkeutumaan palavaan kohteeseen. Sammutustehokkuuteen vaikuttaa myös se, onko konehuoneessa tuuletus päällä, höyryvuotoja jne. Siitä huolimatta vesisumun tehokkuus tällaisissa tapauksissa on parempi kuin esimerkiksi CO₂-järjestelmän. Vesisumun tehokkuuteen vaikuttaa paljon suuttimien sijoitus osastolla, kuten itse suuttimen välimatkat, suuttimien korkeus katosta sekä kuinka moneen eri korkeustasoon suuttimia on sijoitettu. Matalapaineisiin järjestelmiin verrattuna korkeapaineiset järjestelmät suoriutuivat paremmin useimmissa palokokeissa, mikä johtui pienemmästä pisarakoosta sekä paremmasta pisaroiden liikenopeudesta. Matalapaineiset järjestelmät pärjäsivät paremmin avonaisten nestepalojen palotorjunnassa, mikä johtui suuremmasta veden virtausnopeudesta sekä suuremmasta pisarakoosta. Sammutusjärjestelmää valit-

taessa tulisikin selvittää suojattavan kohteen suurimmat paloriskit, minkä mukaan valitaan, millä painealueella järjestelmä toimii. Luonnollisesti järjestelmän hinta, luotettavuus sekä yksinkertaisuus ovat tärkeitä asioita vesisumujärjestelmää valittaessa. (4,719)

6.6 A-luokan palojen sammutus vesisumuilla

Vesisumujen tehokkuus A-luokan paloja vastaan on todettu useissa eri testeissä, ja nykyään vesisumuja käytetäänkin useissa kohteissa, joissa juuri nämä palot ovat suurin riskitekijä. Suojattuina kohteina ovat esimerkiksi laivojen hytit, käytävät sekä yleiset tilat, talot, kulttuurilliset kohteet ja kirjastot. (4,720)

Ruotsin teknillinen tutkimuslaitos, Marioff Corporation Oy sekä Norjan palotutkimuslaboratorio tekivät sarjan kokeita, joissa arvioitiin vesisumun käyttöä alusten hyttipaloja sekä yleisten tilojen paloja vastaan. Palotilanteet näissä testeissä olivat simuloitu tuhopoltto, leimahtava palo ja puulaatikon palo sekä avoimien että kiinni olevien oven kanssa. Testeissä tutkittiin lähinnä erityyppisten suuttimien, vuontiheyksien ja suutinten sijoittamisen vaikutusta palontorjuntaan alusten asuintiloissa. (4,720-721)

Testit osoittivat, että hyttitilojen lämpötilat laskivat nopeasti alhaisiksi ja että palo joko saatiin hallintaan tai sammutettua vesisumun lauettua. Perinteisiin sprinklereihin verrattuna vesisumut sammuttivat suojan takana olevan palon paremmin ja antoivat vastaavan tai paremman palosuojauksen pienelle hytille. Vesisumujärjestelmien suorituskyky oli riippuvainen palon sijainnista, suutinten sijoittelusta ja veden leviämiskuvioista. Palon ollessa kaukana suuttimista tai suojassa yläsängyn takana korkeapainesumujärjestelmät saivat paremmin pienennettyä lämmönlouvetustasoa, kokonaislämpöä sekä palokaasujen lämpötiloja. Palon ollessa lähellä suuttimia ja avoimessa paikassa matalapainesumujärjestelmät suoriutuivat yhtä hyvin tai hieman paremmin kuin korkeapainejärjestelmät. (4,721)

Yleisiä tiloja koskevat testit suoritettiin sohva- ja puulaatikkopaloilla useilla eri koonpanoilla. Nämä testit osoittivat, että vesisumuilla voidaan hallita paloa, mutta vesisumun kyky kontrolloida tai sammuttaa palo väheni sitä mukaa, kun osaston koko suureni ja huonekorkeus kasvoi. Vesisumujärjestelmä tulisi valita ja suunnitella tilaa todennäköisimmin uhkaavaa paloa vastaan sekä suojattavan tilan geometrian mukaan. (4,721)

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Vesisumujärjestelmät ovat osoittautuneet hyviksi sammutusjärjestelmiksi useissa käyttökohteissa. On vain vähän kohteita, joissa niitä ei voida käyttää, ja vesisumujärjestelmien valmistajat tekevät jatkuvaa tutkimus- ja kehitystyötä, jotta niiden käyttömahdollisuudet lisääntyisivät. Vesisumujärjestelmien suunnittelu ja hyväksyntä perustuu yksittäisiin, täysimittaisiin palokokeisiin, jotka rajoittavat laajamittaisten hyväksyntöjen saamista.

Eri vesisumujärjestelmien valmistajat joutuvatkin tekemään jatkuvia palokoetestauksia järjestelmien hyväksymiseksi. Suurin osa palokoetestauksista tehdään yksityisinä toimeksiantoina, jolloin tutkimukset sekä niiden tulokset ovat toimeksiantajan ja järjestelmän valmistajan välisiä eikä niistä löydy tietoa mistään. Tämä tuottikin ongelmia etsiessäni tietoa palokokeissa käytetyistä tutkimusmenetelmistä ja niiden tuloksista.

Vesisumujärjestelmien toimintaperiaatteista löytyy jonkin verran yleisluonteista tietoa, mutta järjestelmien toimintapaineisiin perustuvaa erottelua ja sen myötä järjestelmien välistä vertailua tai tutkimustietoa on vaikea löytää. Tässä työssä onkin aluksi selvitetty kaikille vesisumuille ominaisia piirteitä, minkä jälkeen on kuvailtu tarkemmin korkeapainevesisumujen ominaispiirteitä ja järjestelmävaihtoehtoja. Järjestelmän komponenttien, erityisesti suuttimien rakenteista löytyy todella niukasti tarkentavaa tietoa siksi, että komponentit ovat todella tarkoin patenttisuojattuja. Tässä työssä onkin kerrottu korkeapainevesisumujärjestelmän komponenteista hieman yleisemmällä tasolla, eikä komponenttien rakenteita ole analysoitu sen tarkemmin.

LÄHTEET

1. Hyttinen, V. 1998. Palofysiikka. Tammer- Paino Oy.
2. Rinne, T. & Vaari, J. 2005. Uudet sammutteet ja sammutusteknologiat. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. [Viitattu 06.02.2013] Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2005/T2290.pdf>

3. Tuomisaari, M. 1996. Konehuoneen sammutus- ja palonilmaisujärjestelmät. VTT Rakennustekniikka. [Viitattu 28.01.2013] Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1996/T1794.pdf>
4. Jianhong, L. Guangxuan, L. Peide, L. Weicheng, F & Qiang L. Progress in research and application of water mist fire suppression technology. Chinese Science Bulletin 2003 vol.48 No. 8 718-725. [Viitattu 18.02.2013] Saatavissa: <http://csb.scichina.com:8080/kxtbe/fileup/PDF/03ky0718.pdf>
5. Tuomisaari, M. Vesisumujärjestelmät sammutustekniikassa. VTT Rakennustekniikka. [Viitattu 18.02.2013] Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1996/T1798.pdf>
6. Marioff Corporation Oy. (Marioff Oy:n luvalla). [Viitattu 21.02.2013] Saatavissa: <http://www.marioff.com/>
7. Ultra Fog Ab. High pressure water fog sprinkler system. Installation guideline. [Viitattu 22.02.2013] Saatavissa: <http://www.ultrafog.se/LinkClick.aspx?fileticket=uqZfKWGmAkE%3d&tabid=171&mid=881&language=en-US>
8. National Fire Protection Association. NFPA 750 Standard on Water Mist Fire Protection Systems. 2006. [Viitattu 09.03.2013] Saatavissa: ftp://196.3.165.114/Standards/2_ORGANISATIONS/NFPA/NFPA%20750.pdf
9. Res.MSC.265 (84). Amendments to the revised guidelines for approval of sprinkler systems equivalent to that referred to in solas regulation II- 2/12 (Resolution A.800 (19)). [Viitattu 13.03.2013] Saatavissa: [http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=22046&filename=265\(84\).pdf](http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=22046&filename=265(84).pdf)
10. MSC.1/ Circ.1430. Revised guidelines for the design and approval of fixed water-based fire- fighting systems for Ro-Ro spaces and special category spaces.

[Viitattu 13.03.2013] Saatavissa:

<http://www.mardep.gov.hk/en/msnote/pdf/msin1230anx1.pdf>

11. Comité Européen des Assurances. Sprinklerilaitteistot suunnittelu ja asentaminen.

CEA 4001: 2007- 06 (fi). [Viitattu 11.03.2013] Saatavissa:

[http://www.tukes.fi/Tiedostot/pelastustoimen_laitteet/aineisto/sprinklerilaitteistot
suunnittelu.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/pelastustoimen_laitteet/aineisto/sprinklerilaitteistot_suunnittelu.pdf)