

## Korkeapainesumusovellukset

Antti Saarinen

Opinnäytetyö

Syyskuu 2015

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma



Tekijä(t) Saarinen, Antti	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 04.10.2015
	Sivumäärä 44	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Korkeapainesumusovellutukset</b>		
Koulutusohjelma Rakennustekniikka		
Työn ohjaaja(t) Jukka Konttinen		
Toimeksiantaja(t) Karibu Oy		
Tiivistelmä <p>Karibu Oy tekee tuotekehitystä automaattisen korkeapainesumutuksen parissa parantaakseen paloturvallisuutta omaehtoisessa palosuojauksessa. Lisäksi korkeapainesumujärjestelmää voidaan hyödyntää kostutus- ja jäähdytyssovellutuksissa. Opinnäytetyössä haluttiin luoda selkeä kokonaiskuva korkeapainevesisumujen sovellutuskohteista ja niiden käyttömahdollisuuksista. Työssä kartoitettiin sovellutuskohteiden mahdollisia standardeja, asetuksia, määräyksiä ja ohjeita.</p> <p>Palontorjuntasovellutuksien kannalta opinnäytetyössä selvitetään lukijalle palamisfysiikan perusteita ja veden sammuttamismekanismia, sekä esitetään vesisumun sammuttavat mekanismit ja niiden toimintaperiaatteet. Työssä on myös selvitetty kirjoitushetkellä olemassa olevat standardit vesisumusammutuksessa palosuojauksessa.</p> <p>Jäähdytys- ja kostutussovellutuskohteiden osalta käydään läpi asumisterveydelliseltä kannalta olevia asetuksia, määräyksiä ja ohjeita, sekä selvitetään korkeapainevesisumun toimintaperiaatteet jäähdytys ja kostutusilmiössä. Työssä on myös esitelty asuin- ja oleskelutilojen sisäilman vaikutusta ihmisiin lämpö- ja kosteusolosuhteiden näkökulmasta.</p> <p>Toimeksiantaja on erikoistunut teollisuus-, rakennus- sekä konetekniikkaan. Opinnäytetyö antaa toimeksiantajalleni selkeän kokonaiskuvan eri sovellutuskohteiden, asetuksista, määräyksistä ja standardeista, sekä auttaa toimeksiantajaa kohdistamaan tuotekehitystä oikeaan suuntaan. Lisäksi työ antaa yrityksen kehitystyöhön osallistuville henkilöille selkeän tietopaketin korkeapainevesisumusovellutuksista.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) Korkeapainevesisumu, vesisumu, palosuojaus, asumisterveys, jäähdytys, kostutus		
Muut tiedot		



Author(s) Saarinen Antti	Type of publication Bachelor's thesis	Date 04.10.2015
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 44	Permission for web publication: x
Title of publication <b>High pressure water mist applications</b>		
Degree programme Civil engineering		
Tutor(s) Jukka Konttinen		
Assigned by Karibu Oy		
Abstract <p>Karibu Ltd develops product for automatic high pressure water mist applications. The product named Freshwind is intended to improve the fire safety.</p> <p>High pressure water mist system can be used in moisture and cooling applications. The purpose of the thesis was to present a clear overall view of high pressure water mist in different applications. The work was also designed to identify potential areas of use in accordance with the standards, rules, regulations, and guidelines.</p> <p>The thesis explains to the reader the basics of fire physics and extinguishing mechanics of the water, as well as shows the water mist fire-fighting methods and their operating principles.</p> <p>The study also discusses indoor air quality in buildings from cooling and moisturizing point of view and investigates how high pressure water mist mechanics work in cooling and moisturizing. The thesis also describes the effects on human from indoor air temperature and humidity point of view</p> <p>Karibu Ltd specializes in industrial, construction and mechanical engineering. The thesis gives the company a clear overview of the high pressure water mist application settings, rules and standards, as well as help to focus product development in the right direction</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> )  High pressure water mist, water mist, fire protection, cooling and moisturizing		
Miscellaneous		

# 1 Sisältö

<b>1</b>	<b>OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖKOHDAT .....</b>	<b>3</b>
1.1	TAUSTA .....	5
1.2	TAVOITTEET JA RAJAUKSET .....	5
1.3	TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTONKERUU .....	6
<b>2</b>	<b>FRESHWIND-KORKEAPAINESUMUJÄRJESTELMÄ.....</b>	<b>6</b>
2.1	FRESHWIND-KOMPONENTIT .....	7
2.2	SUMUSUIHKUTUKSEN TOIMINTAPERIAATTEET .....	9
<b>3</b>	<b>PALOFYSIIKKA JA PÖLYRÄJÄHDYKSET .....</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>VEDEN SAMMUTUSMEKANISMIT .....</b>	<b>13</b>
4.1	VESISUMUN SAMMUTUSMENETELMÄT .....	13
4.1.1	<i>Jäähdytys sammutusmenetelmänä .....</i>	<i>14</i>
4.1.2	<i>Tukahdutus.....</i>	<i>17</i>
4.1.3	<i>Inertointi palonehkäisykeinona .....</i>	<i>17</i>
4.1.4	<i>Vesisumu paloräjähdysten ehkäisykeinona.....</i>	<i>18</i>
<b>5</b>	<b>VESISUMUJÄRJESTELMIEN STANDARDIT .....</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>VESISUMUN KÄYTTÖKOHTEET PALOSUOJAUKSESSA.....</b>	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>ASUMISTERVEYS .....</b>	<b>24</b>
7.1	SISÄILMA .....	26
7.2	SISÄILMAN LÄMPÖTILAN VAIKUTUKSET .....	27
7.3	SISÄILMAN KOSTEUDEN VAIKUTUKSET .....	28
7.4	SISÄILMAN KOSTUTUS .....	29
7.4	SISÄILMA KOSTUTUSJÄÄHDYTYS.....	31
<b>8</b>	<b>OPINNÄYTETYÖN TULOKSET .....</b>	<b>35</b>
8.1	AKTIIVINEN PALONTORJUNTA.....	35
8.2	PÖLYRÄJÄHTEIDEN ESTÄMINEN .....	36
8.3	PÖLYNSIDONTA .....	36
8.4	KOSTEUDEN LISÄÄMINEN SISÄTILOISSA JA TUOTANTOYMPÄRISTÖISSÄ.....	36
8.5	ENERGIAA SÄÄSTÄVÄ MENETELMÄ .....	37
<b>9</b>	<b>JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>37</b>
<b>10</b>	<b>VESISUMU TULEVAISUUDEN INNOVAATIOISSA .....</b>	<b>38</b>
	<b>LÄHTEET .....</b>	<b>39</b>
	<b>LIITTEET .....</b>	<b>41</b>
	LIITE 1. SUOMEN FINANSSIALAN KESKUSLIITON VAATIMUKSET AUTOMAATTISELLE VESISUMUSAMMUTUSJÄRJESTELMÄLLE .....	41
	LIITE 2. MOLLIERIN DIAGRAMMI.....	44
	<b>Kuviot</b>	
	Kuvio 1. Pumppuyksikkö.....	8
	Kuvio 2. Korkeapainesuutin .....	8
	Kuvio 3. Kanavistoon asennettu putkisto .....	9
	Kuvio 4. A = hehkuvan palon - ja b = liekehtivän palon perusedellytykset.....	11

Kuvio 5. Vesisumun jäädytys ja tukahdutus poistavat palamisen edellytykset. ....	14
Kuvio 6. Sumun lämpösäteilyn absorptiokyvyn riippuvuus pisarakoosta .....	16
Kuvio 7. Freshwind-prosessin torjunta pölyräjähdyksessä .....	18
Kuvio 8. Pölyräjähdysten estojärjestelmä .....	19
Kuvio 9. Adiabaattisen jäädytyksen prosessi.....	32
Kuvio 10. Sumukostutusjärjestelmä asennettuna suoraan tuloilmaan .....	33
Kuvio 11. Sumukostutusjärjestelmä asennettuna lämmönvaihtimeen .....	34
Kuvio 12. Sumukostutusjärjestelmä asennettuna lämmönsiirtimeen .....	34

### **Taulukot**

Taulukko 1. Sisäilmaston vaikutus ihmisten tuottavuuteen (Karlsson, 2000) .....	27
Taulukko 2. Suhteellisen ilmankosteuden vaikutus fysikaalisiin, biologisiin ja kemiallisiin tekijöihin IV Product AB (Karlsson, 2000) .....	29

# 1 Opinnäytetyön lähtökohdat

Viime vuosina Suomessa palokuolemista on menehtynyt keskimäärin noin 90 henkilöä. Viimeisien vuosien aikana kerätyissä palokuolematilastoissa ei ole havaittavissa yhden suuntaista kehitystä – vuonna 2014 kuoli yhteensä 87 ihmistä. Lisäksi valtioneuvoston sisäisen turvallisuuden ohjelman tavoitteena on ollut palokuolemien vähentäminen niin, että uhreja olisi enintään 50 vuonna 2015. Lisäksi on huomioitava, että suurten ikäluokkien ikääntyessä palokuolemien määrän on ennustettu Suomessa edelleen kasvavan. (Pelastustoimi, 2015.)

Palokuolemaan johtavat syyt tapahtuvat yleensä tulipalon yhteydessä välittömästi. Tavanomaisin tulipalon aiheuttama kuolinsyy on häämyrkytys, jossa uhri ei kykene poistumaan palopaikalta. Yli 95% kuolemaan johtavista tulipaloista syttyy asuinympäristössä, lisäksi tulipaloja syttyy kaikkiaan 6000 – 7000 vuosittain. (Pelastustoimi, 2015.)

Tilastot osoittavat, että iäkkäiden paloturvallisuus on selvästi heikompi kuin koko väestön keskimäärin. Palokuoleman riski alkaa selvästi kasvaa noin 65 vuoden iässä ja yli 80-vuotiailla se on eri tilastojen mukaan jo 10–20 -kertainen nuoriin ikäluokkiin verrattuna. (Pelastustoimi, 2015.)

Toimintakyvyltään rajoittuneita ihmisiä asuu sekä omissa kodeissaan että erilaisissa hoitolaitoksissa sekä palvelu- ja tukiasumisessa. He eivät pysty riittävästi huolehtimaan tulipalotilanteessa omasta turvallisuudestaan eivätkä esimerkiksi poistumaan turvaan omatoimisesti. Hoitolaitoksiin sekä palvelu- ja tukiasumiseen siirtymisen syynä on yleensä toimintakyvyn alenemisen takia asumisessa tarvittava apu ja turva. (Pelastustoimi, 2015.)

Asunnosta pitää poistua turvaan viimeistään 2–3 minuutin kuluttua palon syttymisestä. Palokunta ei ehdi näin nopeasti paikalle. (Pelastustoimi 2015.)

Näiden olemassa olevien tilastotietojen ja ikääntyvän väestön perusteella on perusteltua kehittää uudenlaista automaattista sammutusjärjestelmää, jolla voitaisiin lisätä pelastushenkilökunnan toiminta-aikaa tai palon vaaraan joutuneen henkilön omatoimista poistumisaikaa. Antaa lisäaikaa pelastusjoukoille palon hallitsemiseksi, kontrolloimiseksi ja sammuttamiseksi.

Lisäksi vesisumua voitaisiin hyödyntää sammutteena tiloissa, joissa ei ole käytettävissä vesijohtoverkon vettä ja joudutaan hyödyntämään vesisäiliötä. Vesisumulla sammutus on lisäksi vaaratonta sähkölaitteille ja mahdolliset vesivahingot voidaan minimoida. Järjestelmä voidaan asentaa myös täysin sähköttömästi.

Vesisumua voidaan myös hyödyntää jäähdytyksessä ja kostutuksessa. Sisäilman jäähdyttäminen adiabaattisella jäähdytyksellä on huomattavasti energiatehokkaampaa kuin koneellinen jäähdytys.

Sisäilman laatu vaihtelee Suomen sääolosuhteissa vuodenajoittain. Talvisin huoneilma kuivuu ja ilman oikea kosteus parantaa ilman laatua ja terveellisyttä.

Kesällä hellejaksoina ilman lämpötilan nousu on rasittavaa varsinkin ikäihmisille. Huoneiston jäähdytyksellä ja oikeanlaisella kostutuksella voitaisiin parantaa asumis- ja oleskelutilojen viihtyvyyttä ja terveellisyttä.

Alhainen suhteellinen kosteus edesauttaa limakalvojen kuivumista ja sen mukanaan tuomaa ärsytysoireilua. Henkilöt jotka kärsivät hengitysallergioista reagoivat voimakkaammin kuivaan sisäilmaan. Talviajan sisäilman kuivuus onkin toimistotyöntekijöiden yleisimmin kokema sisäilmastohaitta. (Seppänen & Seppänen, 1996, 22.)

Myös muista allergia oireista kärsivät ihmiset reagoivat voimakkaasti kuivaan sisäilmaan, esimerkiksi atoopikot reagoivat olosuhteissa, jotka evät muille vielä aiheuta mitään ongelmia. Atoopikkojen osuus koko väestöstä on suuri, noin kolmasosa ja jatkuvasti kasvava. (Seppänen & Seppänen, 1996, 22.). Etenkin talven kuiva sisäilma saattaa lisätä herkkäihoisten oireita (Allergia ja astmaliitto, 2015).

## 1.1 Tausta

Freshwind Oy on aloittanut tuotekehitystä yksinkertaiselle omaehtoiselle palosuojausjärjestelmälle, johon voi liittyä lähi- ja kaukohälytys. Tavoitteena on kehittää palosuojausjärjestelmä pieniin huoneistoihin, jonka hankintakustannukset pysyisivät mahdollisimman pienenä, sekä tiloihin jossa vettä tai sähköä ei ole saatavilla tai halutaan käyttää vettä mahdollisimman vähän vesivahinkojen välttämiseksi. Lisäksi järjestelmään voidaan liittää edullisesti kostutus- ja jäähdytysominaisuudet.

Tuotteelle on nähty tarve asumisen turvallisuuden lisäämisessä yksittäisissä asunnoissa. Varsinkin lisääntyvän vanhusväestön kotona asuminen on mahdollista pitempään, kun asumisympäristö on suojattu. Myös muun väestön asumisturvallisuutta on mahdollista parantaa. Järjestelmä on myös jälkiasennettava ja asennettavissa tiloihin, joissa ei ole ulkoista veden eikä sähkön lähdettä.

## 1.2 Tavoitteet ja rajaukset

Työn päätavoitteena on muodostaa korkeapainevesisumujen käytöstä yleinen kokonaiskuva, jonka avulla asiaan perehtymätönkin saisi tietoa korkeapainevesisumun käyttömahdollisuuksista palonsuojauksessa, kostutuksessa ja kostutusjäähdytyksessä. Työssä kartoitetaan myös kirjoitushetkellä olemassa olevat standardit vesisumun palontorjunnassa sekä hyödynnettävät käyttökohteet.

Opinnäytetyön alussa käsitellään yleisellä tasolla palamisfysiikkaa ja veden sammutusmekanismeja, sekä käsitellään vesisumun sammutusperiaatteet ja käyttömahdollisuudet. Työn lopussa arvioidaan yleisesti sisäilman vaikutusta ihmiseen kosteuden ja lämpöolojen kannalta sekä niiden ohjeita ja määräyksiä. Lopuksi esitetään vesisumun kostutuksen ja kostutusjäähdytyksen toimintaperiaatteet ja käyttöratkaisut olemassa oleviin ilmanvaihtojärjestelmiin.



### 1.3 Tutkimusmenetelmät ja aineistonkeruu

Tutkimusote on kvalitatiivinen, koska kvalitatiivisen tutkimuksen lähtökohtana on todellisen elämän kuvaaminen (Hirsjärvi ym. 2009, 161). Kvalitatiivinen tutkimus on luonteeltaan kokonaisvaltaista tiedon hankintaa (Hirsjärvi ym. 2009, 164), siksi kvalitatiivisen menetelmän avulla voidaan pyrkiä saavuttamaan tiedon syvyyttä, avoimuutta sekä yksityiskohtaisuutta.

Kvalitatiivisessa tutkimuksessa ei pyritä tilastollisiin yleistyksiin, vaan pyritään kuvamaan tapahtumia, ymmärtämään toimintaa tai antamaan teoreettinen tulkinta jostakin ilmiöstä. (Eskola & Suoranta, 1998, 61.)

Tutkimusstrategiana käytettiin tapaustutkimusta, koska tapaustutkimuksen tarkoituksena on selittää ja kuvailla tutkittavaa ilmiötä (Hirsjärvi ym. 2009, 138–139.) Tämän tutkimuksen tarkoituksena on kuvata vesisumun toimintaperiaatteita ja sen käyttömahdollisuuksia palosuojauksessa, sekä huoneilman jäähdytys- ja kostutusmahdollisuuksia Tapaustutkimuksen ominaisuuksiin kuuluukin, että tutkijan kiinnostuksen kohteena ovat prosessit (Hirsjärvi ym. 2009, 134).

Aineisto kerättiin alan kirjallisuudesta, alan sähköisistä julkaisuista, tiedotteista, sosiaali- ja terveysministeriön asetuksista, Suomen Finlex-lainsäädäntötietopankista, rakennusmääräyskokoelmista, LVIS-kortistoista ja alan tutkimustöistä.

## 2 Freshwind-korkeapainesumujärjestelmä

Freshwind on korkeapainesumujärjestelmä, jossa korkeapainevesi syötetään erikoisvalmisteisten suuttimien läpi, jotka hajottavat veden erittäin hienoksi sumuksi. Freshwind-järjestelmällä saavutettavan pisarakoon johdosta 100% syötetystä vedestä saadaan haihtumaan ilmassa, jolloin ei-toivottua tuotteiden tai laitteiden pintojen vettymistä ei tapahdu.

Järjestelmä toimii täysin automaattisesti. Pumppuyksikkö kostuu veden suodattimista, painemittausantureista, korkeapainepumpusta ja pumppua pyörittävästä sähkömoottorista. Taajuusmuuntajalla ohjataan pumppuyksikön toimintaa, millä paine pidetään optimaalisella alueella kaikissa tilanteissa.

Automaatiojärjestelmä valvoo suodattimien likaantumista ja pumppuyksikön painetta. Järjestelmän automaatiota voidaan ylläpitää lämpötila- ja kosteusantureilla. Suuttimet voidaan sijoittaa halutuille sijainnille ja anturit sijoitetaan suuttimien säätövyöhykkeille. Antureiden tiedot ohjataan prosessinohjausjärjestelmään johon voidaan asentaa kosketusnäyttö järjestelmän toiminta-arvojen muuttamiseksi manuaalisesti.

Järjestelmä voidaan asettaa toimimaan myös täysin sähköttömästi itse laukeavien lämpöampullien avulla ja pumppuyksikön sähkömoottori voidaan korvata mekaanisesti mäntätoimisella painepumpulla. Tämä järjestelmä on niin sanotusti kertakäyttöinen joka laukeaa lämpöampullien rikkoutuessa.

Järjestelmän käyttämä vesi voidaan ottaa rakennuksen tai kiinteistön vesijohtoverkosta. Kohteissa joissa ei ole valmiuksia liittyä vesijohtoverkoston voidaan käyttää vesisäiliötä.

## **2.1 Freshwind-komponentit**

Järjestelmän korkeapainepumppuina toimivat Danfossin korkeapainepumput. Korkeapainepumppujen tuotto vaihtelee 100 kg/h – 1750 kg/h ja suurempien tuottojen tarpeeseen pumppuyksiköt voidaan asettaa toimimaan rinnakkain. Pumppuyksiköillä tuotetaan yli 70 baarin paine, jolla suuttimista tuleva vesi saadaan mahdollisimman pieniksi pisaroiksi (0,005 – 0,015 mm), jolloin se sekoittuu parhaiten ympäröivään ilmaan.

## Pumppuyksiköt

Pumppuyksiköt koostuvat painemittauksesta, korkeapainepumpusta, paineantureista ja sähkömoottorista. Pumppuyksiköt ovat kytkettynä automaatiojärjestelmään, millä valvotaan pumpulta lähtevää painetta ja suodattimien likaantumista. Paine saadaan pidettyä haluttuna kaikissa olosuhteissa taajuusmuuntajan avulla.

- Pumppuyksikön liikkuvien osien voitelu tapahtuu vedellä, joten öljyä ei tarvita.
- Pumppu on hiljainen, lähes huoltovapaa ja sillä on 90% hyötysuhde



Kuvio 1. Pumppuyksikkö

## Suuttimet

Suuttimien ansiosta korkeapaineella syötetty vesi hajoaa pieniksi pisaroiksi. Nämä päätelaitteet (suuttimet) voidaan sijoittaa halutuille sijainneille.

- Erityisesti sumutukseen suunnitellut suuttimet eivät muodosta vesitippoja
- Suutinaukon halkaisija voidaan valita käyttökohteen mukaan
- Tasainen suihkutusalue



Kuvio 2. Korkeapainesuutin

## Putkisto

Putkistot voidaan suunnitella ja toteuttaa aina käyttökohteiden tarpeiden mukaisesti. Materiaalina voidaan käyttää ruostumatonta terästä, haponkestävää terästä tai muovia.



Kuvio 3. Kanavistoon asennettu putkisto

## 2.2 Sumusuihkutuksen toimintaperiaatteet

Freshwind-järjestelmän toiminta perustuu adiabaattiseen jäähtymykseen, jossa ilman kosteutta nostamalla saadaan lämpötila laskemaan. Vesisumun haihtuessa se sitoo itseensä energiaa jolloin lämpötila laskee.

Adiabaattisessa prosessissa energian määrä on teoriassa vakio, eli sitä ei tuoda eikä sitä lähde prosessista. Mollier-kaavion avulla voidaan selkeästi ja ymmärrettävästi kuvata ilman olosuhteiden muutosta. Mollier-diagrammi kuvaa ilman käyttäytymistä kosteuden ja lämpötilan osalta. Diagrammi on liitteessä 1.

### 3 Palofysiikka ja pölyräjähdykset

Palamistapahtuma tarvitsee aina polttoaineet. Palaessaan nämä aineet kehittävät energiaa ja ne esiintyvät yleensä kolmessa eri muodossa: kaasuna, nesteinä tai jähmeänä. Jähmeihin polttoaineisiin voidaan laskea esimerkiksi puu, kangas, paperi, jotkin metallit ja pölyt.

Nesteistä ovat esimerkiksi petroli ja bensiini. Kaasuja ovat esimerkiksi nestekaasu, ammoniakki ja asetyleeni.

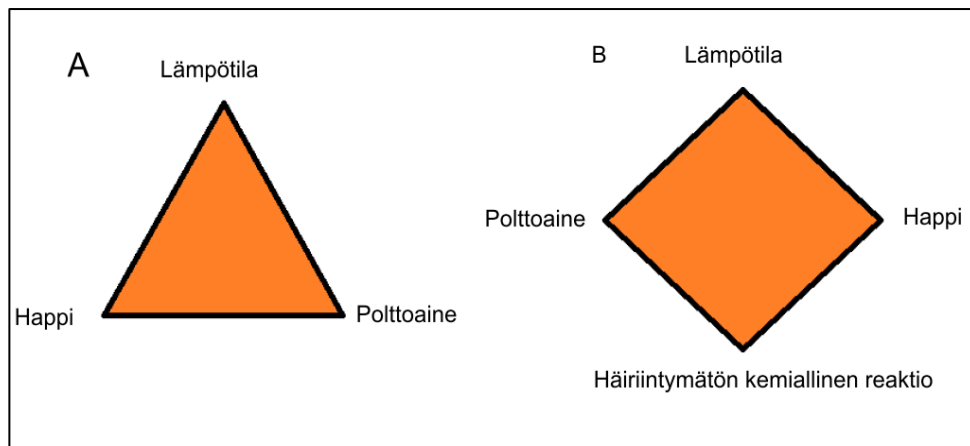
Lisäksi polttoaineista puhuttaessa on näihin aineisiin lisättävä nesteytyvä aine. Se on normaalissa olotilassa jähmeää kuten steariini, mutta kuumetessa nesteytyy ja käyttäytyy kuin polttoneste. (Hyttinen, Tolonen & Väisänen, 2008 14).

Polttoaineet palavat kahdella tavalla:

- Hehkuen; esimerkiksi metallit jähmeänä tai sulana ja hiili. Hehkuvassa palamisessa palamisreaktio tapahtuu jähmeän aineen pinnalla
- Liekehtien; esimerkiksi höyryt ja kaasut. Liekehtivässä palamisessa palamisreaktiot tapahtuvat kaasussa.

Monissa paloissa esiintyy molemmat palamistyyppit joko peräkkäin tai samanaikaisesti.

Palaminen vaatii aina perusedellytykset itse palamisilmiöön ja kaikki näiden edellytysten tulee olla samanaikaisesti voimassa. Jos jokin näistä palamisen perusedellytyksistä uupuu, palaminen estyy kokonaan. (Hyttinen, Tolonen & Väisänen, 2008 14).



**Kuvio 4. A = hehkuvan palon - ja b = liekehtivän palon perusedellytykset**

Kuviossa 4 (A) esitetään hehkuvan palotilanteen perusedellytykset. Tässä palotavassa ilma reagoi suoraan polttoaineeseen välittömästi aineen pinnassa ilman välittäviä reaktioita. Esimerkiksi: hehkuva hiili. Ilman liekkiä tapahtuvaa paloa kutsutaan siis hehkupaloksi. Kuvassa 4 (B) esitetään liekehtivän palon perusedellytykset.

Arkikielessä puhutaan yleisesti tulesta ja tämä yleensä tarkoittaa liekkipaloa. Liekehtivä palo on kuitenkin pohjimmiltaan kaasun palamista. Esimerkiksi: kun puu sytytetään sen pinnasta pyrolysoituu eli vapautuu palamiskykyisiä kaasuja, jotka palavat liekehtien, myöhemmässä vaiheessa palo muuttuu hehkupaloksi, kun hiili palaa hehkuen eikä siitä vapaudu palamiskykyisiä kaasuja. Mikäli näiden eri palamistapojen palamisedellytyksistä poistetaan yksi, palamisen edellytykset eivät täyty ja palamista ei tapahdu. (Hyttinen, Tolonen & Väisänen, 2008, 17).

### **Pölyräjähdykset**

Pölyräjähdyksiä aiheuttavat syttyvät pölyt, joiden hiukkaskoko on pienempi kuin 500 µm. Karkeamman pölyn joukossa voi olla yleensä hienompaa pölyä, jolloin pölypilvi voi edelleen räjähtää vaikka keskimääräinen hiukkaskoko on edellä mainittua suurempi. Jos ilmassa olevan pölyn hiukkaskoko saavuttaa alle 60 µm, pölyn räjähdysnopeus ei enää kasva, vaan pöly räjähtää lähes yhtä voimakkaasti kuin vastaava aine kaasuna. (Hyttinen, Tolonen & Väisänen, 2008, 41).

Syttyviä pölyjä voivat olla:

- Luonnon orgaaniset aineet, esimerkiksi sokeri-, vilja-, pellava-, hiili-, ja turvepöly
- Synteettisten aineiden, kuten muovien ja orgaanisten väriaineiden pölyt
- Metallipölyt, esimerkiksi alumiinin, magnesiumin, raudan ja sinkin pölyt

Pölypilven aiheuttaman pölyräjähdysten voi sytyttää kuuma pinta, jonka lämpötila on välillä 400 – 500 C tai korkeampi. Myös mekaaniset kipinät, esimerkiksi putoavan esineen aiheuttamat kipinät, sähkökipinät ja valokaaret sekä staattisen sähköön purkaukset voivat myös sytyttää pölyräjähdyksiä. (Hyttinen, Tolonen & Väisänen, 2008, 17).

Räjähdysvaarallista pölyä esiintyy lähinnä teollisuudessa esimerkiksi tekstiili-, vaneri, lastulevytehtaissa, turvevoimaloissa, tietyissä elintarvikkeita ja muoveja valmistavissa tehtaissa.

Pölyräjähdysten mekanismi on tavallisesti seuraava. Pölyisessä tilassa pölyä siirtyy ilmaan ilmavirtauksen aiheuttamana tai koneiden ja ihmisten aiheuttama. Tällöin ilmaan sekoittunut pöly on alttiina pölyräjähdykselle.

Jos pölypilvi syttyy, niin silloin syntyy usein ensimmäinen pölyräjähdys, jonka paine on heikko. Pölyräjähdysten paine voi kuitenkin irroittaa ympäröiviltä pinnoilta suuren määrän pölyä ilmaan sekoittaen pölyä lisää. Tästä seuraa uusi pölyräjähdys, joka on ensimmäistä räjähdystä voimakkaampi. (Hyttinen, Tolonen & Väisänen, 2008, 42-44).

Pölyn kosteutta nostamalla voidaan pienentää pölypilvien syttymisherkkyttä nostamalla sen syttymislämpötilaa ja tarvittavaa syttymisenergiaa. Tämä johtuu siitä, että veden höyrystyminen palamisen aikana sitoo lämpöä. Myös vesisumua voidaan käyttää räjähdysuojauksessa. (Hyttinen, Tolonen & Väisänen, 2008, 42-44).

## 4 Veden sammutusmekanismit

Vesi on yleisin käytetty sammute, minkä lisäksi se on täysin vaaraton ihmiselle ja ympäristölle. Veden sammutusmekanismit perustuvat jäähdytykseen ja vesihöyryn tukahduttavaan vaikutukseen, minkä merkitys kasvaa suljettujen tilojen paloissa, kuten huoneistopalot. (Hyttinen, Tolonen & Väisänen, 2008, 97).

Veden jäähdytysominaisuudet:

- Polttoaineeseen suihkutettu vesi kuumenee ja höyrystyy, jolloin se sitoo 2,6MJ lämpöä yhtä (1) vesikilogrammaa kohti. Voidaan siis todeta, että palotila jäähtyy 2,6MJ jokaista höyrystynyttä vesikilogrammaa kohti. (Hyttinen, Tolonen & Väisänen, 2008, 97).
- Pienet vesipisarot absorboivat lämpösäteilyä liekkien ja palamiskykyisten aineiden välillä. Tällöin palamisen leviäminen hidastuu ja ennestään palavien pintojen palamisnopeus hidastuu. Mitä pienempi pisarakoko saadaan sitä parempi absorbointikyky vesisumulla saadaan. (Hyttinen, Tolonen & Väisänen, 2008, 97).

Veden tukahduttamisominaisuudet:

- Höyrystyessään vesi laajenee noin 1700-kertaiseksi ja syrjäyttää saman määrän ilmaa palavasta tilasta. Vesihöyryn ulosvirtaus palavasta tilasta estää hapen virtauksen sisään. Tällöin tilan happipitoisuus pienenee, jonka seurauksena palamisnopeus hidastuu ja mahdollisesti tukahduttaa palon kokonaan. (Hyttinen, Tolonen & Väisänen, 2008, 97).

### 4.1 Vesisumun sammutusmenetelmät

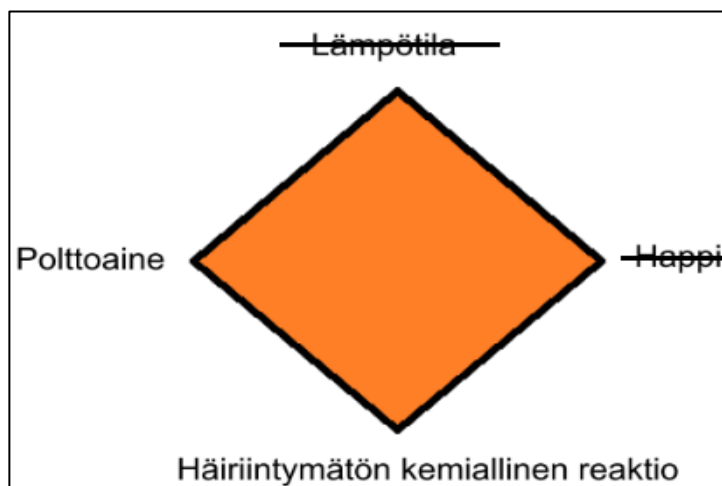
Vesisumun sammutusmenetelmät perustuvat lämpötilan alentamiseen eli jäähdytykseen ja happipitoisuuden pinentämiseen eli tukahduttamiseen. Jäähdytyksessä lämpötilaa pyritään alentamaan sellaiseksi, että palo sammuu eikä syttymistä tapahdu jäähdytykseen loputtua.



Tukahdutusella pienennetään palavan tilan happipitoisuus sellaiseksi, ettei palaminen ole mahdollista. (Hyttinen, Tolonen & Väisänen, 2008, 84).

Sammuttaminen voidaan määritellä seuraavasti:

*Sammuttaminen on palamisen edellytysten poistamista. Palo sammuu, kun vähintään yksi palamisen edellytys poistetaan. Tulokseen päästään tehokkaammin, jos useampia edellytyksiä poistetaan* (Hyttinen, Tolonen & Väisänen, 2008, 84).



Kuvio 5. Vesisumun jäähdytys ja tukahdutus poistavat palamisen edellytykset.

#### 4.1.1 Jäähdytys sammutusmenetelmänä

Veden sammutusominaisuudet paranevat mahdollisimman pienellä pisarakoolla, jolloin vesisumun pisaroiden pinta-ala on suuri. Toisin sanoen mitä pienempi pisarakoko, sitä suurempi on vesipisaroiden pinta-ala ja sitä paremmin lämpöä siirtyy palavasta tilasta ympäröiviin pisaroihin. Vesisumulla sammutus perustuu siihen, että vedellä jäähdytetään liekkiä ja kuumaa savua. Ensin vesipisarat kuumenevat ja sitten höyrystyvät. Tarpeeksi pienillä vesipisaroilla kaikki suihkutettu vesi höyrystyy ympäröivään palotilaan. Jäähdytyksessä palamisen edellytyksistä poistetaan lämpötila kuvan 1. mukaisesti. (Hyttinen, Tolonen & Väisänen, 2008 270).

Vesisumulla saatu jäähdytysteho on moninkertainen verrattuna sprinklerijärjestelmään sen pienten vesipisaroiden ansiosta. Esimerkiksi: 1 litra 10 °C:n lämpöistä vettä suihkutetaan korkeapainesumuna 0,1 mm:n ja 1,0 mm:n pisarakoolla 500 °C:n lämpöiseen savuun. Voidaan laskea kuinka suuri on lämpövirta savusta pisaroihin. (Hyttinen, Tolonen & Väisänen, 2008, 271).

$$(1) \theta = \alpha * A * (t_s - t_v)$$

Jossa:  $\theta$  = lämpövirta savusta vesipisaroihin (W)

$\alpha$  = pisaroiden lämmönsiirtokerroin (w/m<sup>2</sup> C)

A = Pisaroiden yhteenlaskettu pinta-ala (m<sup>2</sup>)

$t_s$  = Savun lämpötila °C

$t_v$  = Sammutusveden lämpötila °C

Lasku suoritetaan edellä mainitulla kaavalla (1) 0,1 mm:n pisarakoolla

$$\theta = \frac{1200 \text{ W} * 15 \text{ m}^2 * (500 - 10) \text{ C}}{\text{m}^2 * \text{ C}} = 8820 \text{ kW}$$

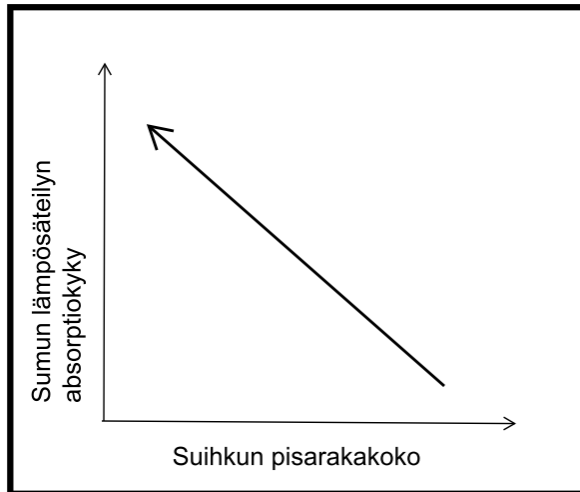
Lasku suoritetaan edellä mainitulla kaavalla (1) 1,0 mm:n pisarakoolla

$$\theta = \frac{100 \text{ W} * 15 \text{ m}^2 * (500 - 10) \text{ C}}{\text{m}^2 * \text{ C}} = 735 \text{ kW}$$

Voidaan huomata, että pienemmällä pisarakoolla saavutetaan huomattavasti suurempi lämpövirta savusta pisaroihin. Sumusuihkun hyvää lämmönsitomiskykyä käytetään sammutuksen lisäksi myös suojaamaan sammuttajaa ja pelastettavaa henkilöä lämpösäteilyltä ja pistoliekeiltä.

Suojasumun lämpösäteilyn absorptiokyky riippuu seuraavista tekijöistä:

- suihkun pisarakoko
- suihkun vesivirta
- suihkukulma
- suihkun homogeenisuus



**Kuvio 6. Sumun lämpösäteilyn absorptiokyvyn riippuvuus pisarakoosta**

Vesisumun lämpösäteilyn absorptiokyky kasvaa kuvion 6. mukaisesti sumun suihkun pisarakoon pienetessä. Pisarakoon pienetessä vesisumu on tiheämpää mikä parantaa absorptiokykyä. Parhaimmillaan suojaavan vesisumun absorptiokyky on noin 80 %, kuitenkin osa lämpösäteilystä kulkee sumun läpi osumatta vesipisaroihin. (Hyttinen, Tolonen & Väisänen, 2008, 272).

Vesisumusammutuksen lisäetuna on myös pienten pisaroiden nopea leviäminen koko palotilaan. Tällöin vesisumun sammuttava vaikutus ylettyy myös pintojen ja kalusteiden alle, kuten sängyn alle. Lisäksi vähäisellä vesimäärän ansioista voidaan välttyä suuremmilta vesivahingoilta ja kastuvien tilojen, sekä pintojen määrältä

#### 4.1.2 Tukahdutus

Hyttinen, Tolonen & Väisänen (2008, 88.) määrittelevät tukahdutuksen seuraavasti:

*Tukahdutuksessa pienennetään ilman happipitoisuus alle rajahappipitoisuuden, jolloin palo sammuu. Rajahappipitoisuudella tarkoitetaan ilman happipitoisuuden suurinta arvoa, jossa palo sammuu. Useimmat liekkiäpalot sammuvat 12 – 15 %:n happipitoisuudessa. Hehkuen palavat aineet, kuten puuhiili pystyvät palamaan alemmassa happipitoisuudessa, kuin liekkiäpalo. Tukahdutuksessa palamisen edellytyksistä poistetaan happi.* (Hyttinen, Tolonen & Väisänen, 2008, 88).

Inertointi on yksi tukahdutusmenetelmistä. Inertoinnilla tarkoitetaan happipitoisuuden pienentämistä kemialisesti reagoimattomalla aineella kuten vesi. Palotilaan suihkutettu vesisumu höyrystyy ja yhdestä höyrystyneestä vesilitrasta syntyy noin 1,7m<sup>3</sup> 100 C:n lämpöistä höyryä. Höyryn tilavuus kasvaa edelleen lämpötilan noustessa. Inerttikaasu joka tässä tapauksessa on vesihöyry syrjäyttää palavasta tilasta oman vastaavan tilavuuden palokaasuja ja ilmaa. Syrjäyttämällä tarkoitetaan, että vesihöyryn suuruinen tilavuus palokaasuja ja ilmaa virtaa ulos palavasta tilasta. (Hyttinen, Tolonen & Väisänen, 2008, 89).

#### 4.1.3 Inertointi palonehkäisykeinona

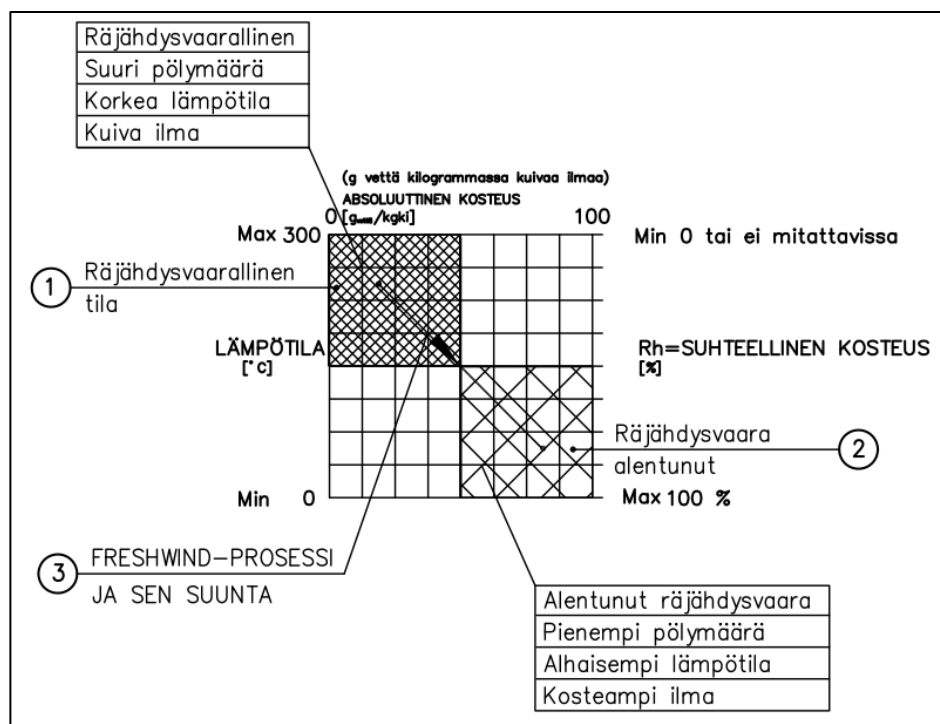
Inertointia käytetään myös palonehkäisykeinona. Eli poistetaan tilasta palamisen edellytyksiä, mutta ennen kuin palo on syttynyt. Kun palon estämiseen lähdetään tilanteesta ennen syttymistä, niin korkeaa lämpötilaa ei ole vielä muodostunut, eikä palavaa ainetta ole mahdollista poistaa. Edellä mainittujen palamisen edellytysten poistaminen ei siis tule kyseeseen. Jäljelle jää siis kaksi palamisen edellytystä, jotka voidaan poistaa palonehkäisykeinona. Ne ovat palotilan happipitoisuuden poistaminen ja häiriintymätön kemiallinen reaktio. Monet aineet esimerkiksi turve- ja metallipölyt voivat olla sekoittuneen ilmaan ja ne palavat usein humautamalla, mikä aiheuttaa pölyräjähdysten vaaran. Inertointia käytetään siis paloräjähdysten estämiseksi kemian- ja petrokemian teollisuudessa, sekä turve- ja hiilivoimaloiden polttoaineiden käsittelylinjastoilla ja vilja-, turve-, ja hiilisiiloissa. (Hyttinen, Tolonen & Väisänen, 2008, 90-91).

#### 4.1.4 Vesisumu paloräjähdysten ehkäisykeinona

Vesisumua voidaan hyödyntää paloräjähdysten ehkäisykeinona. Räjähdysvaarallista tilaa kostutetaan, jolloin vesisumulla on ilmaa pesevä vaikutus, mikä vähentää ilmaan sekoittuneen pölyn määrän ja lisää pölyn kosteutta pienentäen sen syttymisherkkyttä ja nostaa sen syttymislämpötilaa ja tarvittavaa syttymisenergiaa. Erityisesti pölyn siirtoon käytetyissä kuljettimissa ja erityisesti pneumaattisissa kuljettimissa voi syntyä turbulenssia. Pyörrevirtaukset sekoittavat pölyä pinnoilta ilmaan mikä lisää pölyräjähdysten herkkyyttä. (Hyttinen, Tolonen & Väisänen, 2008, 42).

Vesisumu sitoo ilmaan sekoittuneen pölyn, jolloin pöly tarttuu ilmassa leijuviin mikropisaroihin ja putoaa maahan. Pinnoille tippunut märkä pölyaines ei myöskään uudelleen sekoitu helposti ympäröivään ilmaan. Tällä tavalla ilmaan sekoittuneen pölyn määrä vähenee ja pölyräjähdysten mahdollisuus pienenee.

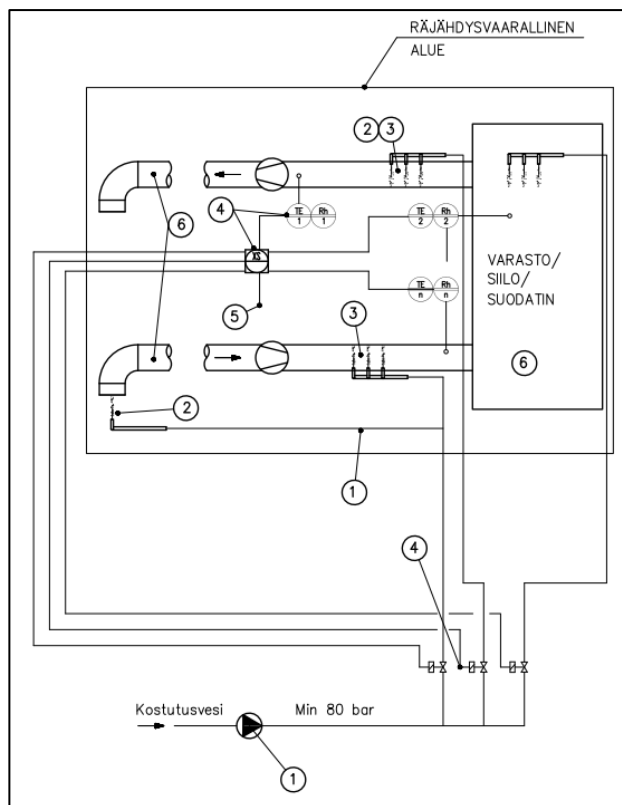
Pölyräjähdystä voidaan myös ennaltaehkäistä adiabaattisella jäähdytyksellä ja nostamalla ilman suhteellista kosteutta. Kuvioissa 7. on esitelty periaatteellinen prosessikaavio lämpötilan ja suhteellisen kosteuden aiheuttamasta pölyräjähdysvaaran alenemisesta.



Kuvio 7. Freshwind-prosessin torjunta pölyräjähdyksessä

Pölynsidontajärjestelmä pölyräjähdysten estämiseksi voitaisiin toteuttaa esimerkiksi jo olemassa oleviin hake- ja purusiiloihin. Kuviossa 9 on esitelty periaatteellinen pölynsidontajärjestelmä jälkiasennuksena olemassa olevaan kohteeseen.

Putkisto (1) voidaan asentaa muovi tai metalliputkistona, sumusuuttimet (2), sekä kosteus- ja lämpötila-anturit asetetaan halutuille sijainneille kanaviin ja siiloon (4). Kosteus- ja lämpötila-anturit valvovat kanavien ja siilon kosteus- sekä lämpöolosuhteita. Anturien säätö- ja ohjaustiedot viedään prosessinohjausjärjestelmään (5). Kun anturien raja-arvot ylittyvät lämpötilan tai kosteuden osalta, prosessinohjausjärjestelmä avaa venttiilin, joka päästää vettä suuttimiin, kunnes saavutetaan haluttu suhteellinen kosteus tai lämpötila. Olosuhteiden palautuessa normaaliksi ohjausjärjestelmä sulkee venttiilit. Jokainen suutinryhmä toimii itsenäisenä säätövyöhykkeenä, jolloin tarvittavaa jäädytystä ja kostutusta voidaan hallita aina tietyllä alueella tai tietyssä tilassa. Ohjausjärjestelmään (5) voidaan asentaa myös kosketusnäyttöpaneeli jolloin käyttäjä voi vapaasti muuttaa haluttuja antureiden raja-arvoja.



Kuvio 8. Pölyräjähdysten estojärjestelmä

## 5 Vesisumujärjestelmien standardit

Opinnäytetyön kirjoitushetkellä kartoitettiin nykyhetkellä olevia standardeja vesisumujärjestelmistä palonsammutuksessa.

*Standardi on toistuvaan tapaukseen tarkoitettu yhdenmukainen ratkaisu. Toisin ilmaistuna standardi on hyvän vallitsevan käytännön kirjallinen kuvaus. (Sandberg, 2014, 33).*

Suomessa ei ole valmiita standardeja vesisumujärjestelmille, mutta Yhdysvalloissa on muodostettu NFPA 750 –vesisumukomitea, (National Fire Protection Association, Water Mist Fire Suppression Systems Committee), joka on tehnyt vesisumujärjestelmän asennusta koskevan standardin.

Standardissa määritellään vesisumujärjestelmien toimivan kolmessa pääryhmässä. (NFPA 750, 2015.)

- Korkeapaine (yli 34,5 bar)
- Välipaine (12,1-34,5 bar)
- Matalapaine (korkeintaan 12,1 bar)

Lisäksi standardi määrittää vesisumujärjestelmän viisi mahdollista käyttötapaa palosuojauksessa. (NFPA 750, 2015 10)

- Palon sammutus (fire extinguishment)
- Palo rajoittaminen (fire suppression)
- Palon hallinta (fire control)
- Lämpötilan hallinta (temperature control)
- Säteilyn absorboituminen (exposure protection)

Standardi myös määrittelee materiaalit, jotka reagoivat veden kanssa muodostaen haitallisia yhdisteitä tai räjähdysvaaran. Näitä aineita ovat reaktiiviset metallit mm. sulfidi, syaniitit metallialkoksidit. Vesisumun käyttö on ehdottomasti kielletty näissä olosuhteissa. (NFPA 750, 2015, 10)

Standardi määrittelee myös vesisumujärjestelmän vaatimukset neljään eri pääryhmään: suojausjärjestelmän käyttötapa, suuttimien toimintatapa, sumun tuottotapa ja järjestelmän toimintatapa jotka ovat seuraavat.

- Suojausjärjestelmän käyttötapa (system application). Käyttötapa tulisi suunnitella kattamaan tilan suojaus, kohteen suojaus tai tilan osan suojaus. Suunnitelmassa tulisi myös huomioida onko tila / kohde tai sen osa suljettu vai avoin.
- Suuttimien toimintatapa. (automatic, nonautomatic, multi-functional) Suuttimien laukaisu voidaan asettaa toimimaan automaattisesti, jolloin jokainen suutin toimii täysin itsenäisesti, esimerkiksi rikkoutuvin lämpöampullein. Ei-automaattiset suuttimet toimivat ryhmässä jolloin kaikki suuttimet laukeavat samanaikaisesti ulkopuolisella laukaisujärjestelmällä. Monitoimiset suuttimet voivat olla automaattisten ja ei-automaattisten suuttimien yhdistelmä.
- Sumun tuottotapa (Single fluid nozzle, twin fluid nozzle). Ruiskusuuttimien tuottotapa voidaan jakaa kahteen ryhmään. Single fluid nozzle jossa suurella paineella tuleva vesi pirstoutuu sumuksi tai Twin fluid nozzle jossa ilma sekoittuu suihkutettavaan veteen suuttimen sisällä muuttaen tämän sumuksi.
- Järjestelmän toimintatapa. (Deluge systems, wet pipe systems, preaction systems, dry pipe systems). Jokaisessa tavassa putkisto paineistetaan joko ilmalla, kaasulla tai vedellä, minkä lisäksi järjestelmä on kytketty vesijohtoverkostoon tai vesisäiliöihin. Palotilanteessa paine purkautuu automaattisesti suuttimista lämpöampullien rikkoutuessa tai ei-automaattisissa suuttimissa antureilla toimivan etälaukaisujärjestelmän avulla. (NFPA 750, 2015 17).

Suomessa vesisumusammutuslaitteistolle ei ole omaa määriteltyä standardia. Vesisumusammutuslaitteisto voidaan kuitenkin asentaa vaihtoehtoiseksi sammutuslaitteistoksi esimerkiksi sprinklerilaitteistolle. Standardien uupuessa vesisumusammutusjärjestelmälle on kuitenkin olemassa erilaisia säännöksiä, ohjeita ja määräyksiä.



Suomen laki pelastustoimen laitteista määrittelee seuraavasti:

**Sen, joka saattaa markkinoille tai luovuttaa toiselle pelastustoimen laitteen, on varmistettava ja voitava luotettavasti osoittaa, että laitteet täyttävät niille säädetyt vaatimukset.** (Laitelaki 10/2007).

*Pelastustoimen laitteen katsotaan olevan sitä koskevien vaatimusten mukainen, jos valmistaja on antanut vaatimustenmukaisuudesta asianmukaisen vakuutuksen ja tehnyt laitteeseen sitä koskevan merkinnän tai jos laitteen vaatimustenmukaisuus on osoitettu **arviointilaitoksen suorittamassa varmentamismenettelyssä.*** (Laitelaki 10/2007).

CEA (Euroopan vakuutus- ja jälleenvakuutusalan keskusliitto) on tehnyt säädöksen sprinklerilaitteiston suunnittelulle ja asentamiselle. (CEA4001, 2007). Tässä säädöksessä on määritelty yhtenäiset ja korkeatasoiset Euroopan laajuiset henkilöiden ja omaisuuksien suojauksen ehdot. Suomen CEA:n jäsenjärjestö FK (Suomen finanssialan keskusliitto) on tehnyt näihin sääntöihin kansallisia lisäyksiä ja täsmennyksiä, joilla on muun muassa pyritty ottamaan huomioon maamme paikalliset erityisolosuhteet. Sovellettaessa näitä sääntöjä **muiden vaihtoehtoisten sammutusjärjestelmien toteutuksessa kuten vesisumujärjestelmissä tulee noudattaa Suomen finanssialan keskusliiton määrittelemiä vaatimuksia.** (CEA4001, 2007). Finanssialan keskusliiton vaatimukset ja ohjeet esitellään liitteessä 1.

## 6 Vesisumun käyttökohteet palosuojauksessa

VTT tiedotteen 1798 (Tuomisaari, 1996, 16.) mukaan vesisumujärjestelmiä käytetään kohteisiin, jotka on perinteisesti suojattu tavanomaisin sprinklerein tai kaasujärjestelmin. Esteenä järjestelmien suuremmalle käytölle on yleispätevien vaatimusten puute. Tämä johtaa siihen, että kutakin kohdetta varten on tehtävä täysimittaisia palokokeita, jotka ovat kalliita. Asennuksia on tehty kohteisiin, joissa on olemassa standardikoemenetelmät sammutusjärjestelmän testaamiseksi. Näitä ovat mm. laivat, kaasu- ja höyryturbiini ja muut erikoistilat.

## **Laivat**

Uudet määräykset edellyttävät kaikkien matkustajalaivojen matkustajatilojen sprinklausta. Myös halonit kiellettiin, ja mm. laivojen konehuoneiden palosuojaukseen oli löydettävä vaihtoehtoja. Näistä syistä johtuen vesisumuihin liittyvää tutkimusta on tehty voimakkaasti laivasovelluksiin. Useita vesisumujärjestelmiä on jo asennettu matkustajatiloihin, ts. hytteihin, käytäviin, julkisiin tiloihin, myymälöihin ja varastoihin. Myös joihinkin konehuoneisiin on hyväksytty sekä tila- että kohdesuojausjärjestelmiä. Täysimittaisissa palokokeissa vesisumujärjestelmä on voitu osoittaa huomattavasti tehokkaammaksi autokannensammutusjärjestelmäksi. (Tuomisaari, 1996, 16).

## **Kaasu- ja höyryturbiinit**

Vesisumujen käytöstä on tehty tutkimusta kaasu- ja höyryturbiinien sammutusjärjestelmäksi. Sammutustehokkuuden lisäksi on huomioitava jäähdytys, joka tässä sovellutuksessa ei saa olla liian tehokas laitevaurioiden välttämiseksi. Vesisumujärjestelmien arviointia varten on olemassa valmis palokoemenetelmä. Käytännön asennuksia on jo useita mm. puhelinkeskukset, ATK- ym. elektroniikkatilat. Elektroniikkatilat ovat haasteellisia, koska vesivahingot eivät saa muodostua ongelmaksi. Tilat ovat yleensä myös hyvin tuuletettuja. Vesisumut näyttävät lupaavilta myös elektronisten laitteiden palosuojauksessa. (Tuomisaari, 1996, 16).

## **Muut tilat ja rakennukset**

Käyttökohteiksi sopivat mm. tunnelit, parkkihallit, toimitilat, liiketilat, serverisalit, elektroniikkatilat, sairaalat, terveyskeskukset ja asuintilat. Vesisumujärjestelmä on myös mahdollista asentaa ilman ulkopuolista sähköä tai vettä. Vesi voidaan ottaa säiliöstä ja veden suihkutusta toteutetaan mäntäpumpuilla. Muita tiloja ovat tehtaiden tuotantolinjat, varastotilat, keittiöt, palavia nesteitä sisältävät tilat ym. Periaatteessa laivojen matkustajatilojen testimenetelmiä voi soveltaa myös asuinrakennuksiin. (Tuomisaari, 1996, 16).

## Mahdollisuudet

Suomessa lisääntyvässä määrin tehtävät puurunkoiset 3 – 8 kerroksiset kerrostalot tulee varustaa automaattisella sammutuslaitteistolla.

Automaattisen vesisumujärjestelmän soveltuvuus on parempi puukerrostalokohteisiin ottaen huomioon mahdollisen vesivahinkojen riskin verrattuna sprinklerijärjestelmään. Palotilanteessa vesisumujärjestelmä säästäisi rakennuksen mittavilta vesi- ja savuvahingoilta.

## 7 Asumisterveys

Laissa ja ohjeissa on annettu terveyshaittojen ohjearvoja ja toimenpiderajoja, jotta nykyiset asumisterveydelliset olosuhteet asuin- ja oleskelutiloissa täyttyvät.

*Asumisterveyteen kuuluvat asuntojen sekä päivähoito- ja koulutilojen, oppilaitosten, lastenkotien, vanhainkotien ja muiden vastaavien julkisten tilojen terveydelliset olosuhteet. Terveyshaitalla tarkoitetaan terveydensuojelulain 1 §:ssä mainittuja tekijöitä: ihmisessä todettavaa sairautta, muuta terveyden häiriötä tai sellaisen tekijän tai olosuhteen esiintymistä, joka voi vähentää väestön tai yksilön elinympäristön terveellisyyttä. Esimerkiksi eräiden rakennusmateriaalien sisältämien kemiallisten aineiden päästöt sisäilmaan riippuvat voimakkaasti sisäilman lämpötilasta ja kosteudesta. (Valvira, 2015).*

Sosiaali- ja terveysministeriö on antanut asetuksen (545/2015) oleskelutilojen ja asuntojen terveydellisistä olosuhteista, jotka ovat velvoittavia. Suomen rakentamismääräyskokoelmassa määritellään rakentamista koskevat yleiset edellytykset. Asetuksena annetut ja Suomen rakentamismääräyskokoelmaan kootut rakentamista koskevat säännökset ovat velvoittavia.

Rakentamismääräyskokoelman säännökset on jaettu osiin, jotka on ryhmitelty sisältönsä mukaisesti pääluokkiin. RakMK D2 rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto osiossa on määritelty sisäilman kosteuden ja lämpöolojen velvoittavat säännökset, joista ei voida poiketa. (Ympäristöministeriö, 2015) .

Asumisterveysohjeessa määritellään, että asunnon, muiden sisätilojen ja oleskelutilojen olosuhteiden tulee olla sellaiset, ettei niistä aiheudu tiloissa oleville ihmisille terveyshaittoja. (Finlex, STM, 2003:1). Terveydensuojelulain 1§:n nojalla terveyshaitalla tarkoitetaan esimerkiksi asuinympäristöstä olevasta tekijästä tai olosuhteesta aiheutuvaa sairautta tai terveyden häiriötä. Lain tarkoittaman terveyshaittana pidetään myös altistumista terveydelle haitalliselle aineelle tai olosuhteelle siten, että sairauden tai sen oireiden ilmeneminen on mahdollista. Asumisterveysohjeessa (Finlex, STM, 2003:1) ja Asumisterveysopas (Finlex, STM, 2007) julkaisussa esitellään asuntojen terveydellisiä ohjeita.

Todettakoon, että sosiaali- ja terveysministeriön laki (Finlex, STM 545/2015.) asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista ja Suomen rakentamismääräyskokoelmaan kootut rakentamista koskevat säännökset ovat velvoittavia. Lainsäädännön ja asetusten jatkeena on vapaaehtoisuuteen perustuvaa ohjeistusta tai opastusta kuten Asumisterveysohje (STM 2003:1) ja Asumisterveysopas (STM 2007).

Rakennusmääräyskokoelmassa todetaan kosteus- ja lämpöolojen osalta seuraavasti:

*Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että sisäilman kosteus pysyy rakennuksen käyttötarkoituksen mukaisissa arvoissa. Sisäilman kosteus ei saa olla jatkuvasti haitallisen korkea eikä kosteus saa tiivistyä rakenteisiin eikä niiden pinnoille tai ilmanvaihtojärjestelmään siten, että se aiheuttaa kosteusvaurioita, mikrobien tai pieneliöiden kasvua tai muuta terveydellistä haittaa. (RakMK D2, 2003)*

*Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että oleskeluvyöhykkeen viihtyisä huonelämpötila voidaan ylläpitää käyttöaikana niin, ettei energiaa käytetä tarpeettomasti. (RakMK D2, 2003)*

*Oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan lämmityskauden suunnitteluarvona käytetään yleensä lämpötilaa 21 °C. Oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan kesäkauden suunnitteluarvona käytetään yleensä lämpötilaa 23 °C. (RakMK D2, 2003)*

## 7.1 Sisäilma

Nykyaikana ihmiset oleskelevat sisätiloissa noin 90% ajasta. Tästä syystä sisäilman laatu on tärkeämpää ihmisille kuin ulkoilman laatu. Pelkästään Suomessa huono sisäilma aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia sairauskustannusten ja poissaolojen muodossa. Tästä syystä hyvä sisäilmalla on merkittävä vaikutus ihmisten yleiseen hyvinvointiin. (Seppänen & Seppänen, 1996, 10).

Sisäilman tärkeimmät tekijät ovat lämpöolosuhteet, sekä ilman laadulliset tekijät (kemialliset ja biologiset epäpuhtaudet, kosteus ja pöly). Näissä tekijöissä olevat puutteet tai ongelmat voivat oleellisesti vaikuttaa ihmisten viihtyvyyteen, terveyteen ja työtehoon.

Erialaisten haitallisten tekijöiden vaikutus ihmiseen on hyvin monimutkainen ilmiö. Sisäilmaongelmista johtuvat oireet riippuvat monesta tekijästä: ihmisen yleisestä terveydentilasta, altistusajasta, iästä, herkistymisestä, kuormituksesta jne. Tästä syystä absoluuttisia raja-arvoja huoneilman laadullisille tekijöille ei voida asettaa. Lisäksi tutkimuksien ja kehityksen myötä niitä joudutaan jatkuvasti tarkistamaan. (Seppänen & Seppänen, 1996, 11).

Ihmiset pystyvät sietämään huonoja sisäilmaolosuhteita, jos olosuhteet muuten ovat erinomaiset tai jos he ovat muutoin hyvin motivoituneita. Esimerkkinä voidaan sanoa työpaikan hyvä työilmapiiri tai korkea palkka auttavat sietämään huonojakin sisäilma-olosuhteita. Tämä ei olisi tietenkään suotavaa, koska huono sisäilma voi aiheuttaa pitkällä aikavälillä terveydellisiä riskejä. Sisäilmasto-olosuhteita ei tulisi koskaan päästää niin huonoiksi, että niistä aiheutuisi välitöntä terveydellistä haittaa. Erityisesti on huomioitava tilat, joissa lapset, vanhukset ja sairaat viettävät paljon aikaa. Tällaisten tilojen sisäilma-olosuhteet tulee pitää jatkuvasti hyvinä. (Seppänen & Seppänen, 1996, 12).

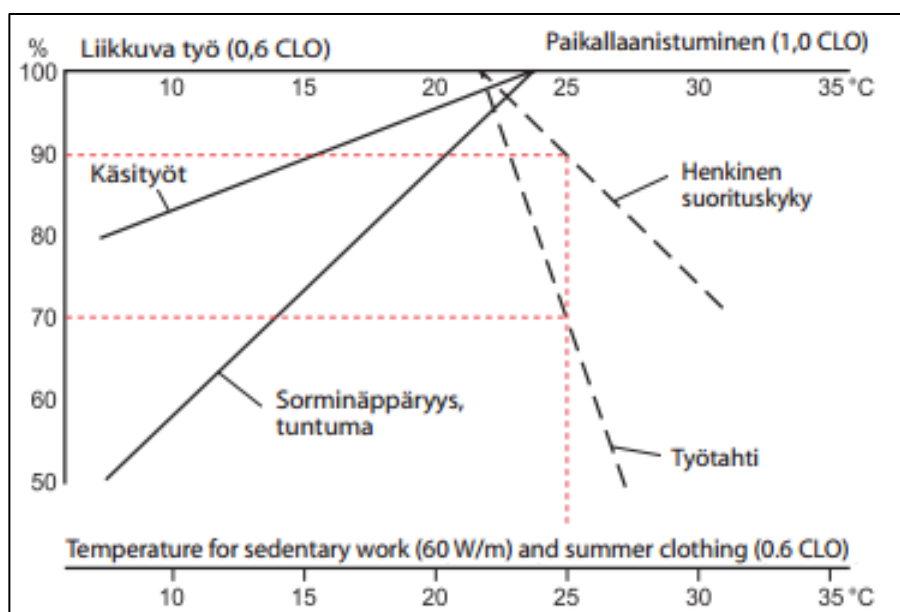
## 7.2 Sisäilman lämpötilan vaikutukset

Tutkimusten perusteella ihmisten keskittymiskyky laskee hyvin nopeasti huoneen lämpötilan noustessa. Jo kohtalainenkin lämpö (26-28 astetta) laskee keskittymiskykyä. Tällaisissa lämpötiloissa on todettu työtehon laskevan selvästi. (Korhonen & Lintunen, 2003, 43). Asumisterveysohjeen mukaan asunhuoneistojen ja oleskelutilojen lämpötilan tulisi olla 21 °C ja yli 26 °C:een sisäilmaa pidetään terveyshaittana. (STM 2003:1).

*Ihmiset kokevat lämmön hyvin yksilöllisesti. Toiset viihtyvät paremmin viileässä ja toiset lämpimässä huoneilmassa. Lämpöaistimukseen vaikuttavat huoneen lämpötilan lisäksi ilmankosteus, vaatetus, toiminnan laatu, lämpösäteily ja ilman virtausnopeus. (Hengitysliitto, 2015).*

*Ihminen sopeutuu näennäisen hyvin sekä kylmään että lämpimään ilmastoon. Siitä huolimatta on todettu että kaikki ihmiset viihtyvät parhaiten tietyssä noin 20-24 asteen ihannelämpötilassa. (Korhonen & Lintunen, 2003, 43).*

Kylmä Aapinen-julkaisussa on esitelty taulukko huoneenlämpötilan vaikutuksesta ihmisten suorituskykyyn. Taulukosta 1 voidaan nähdä tuottavuuden ja henkisen suorituskyvyn teho liikkuvassa ja paikallaan istuen tehdyssä työssä. Työnantaja voi menettää merkittävän osan työntekijän kapasiteetista jos ihanteellisista lämpöolosuhteista poiketaan. (Karlsson, 2000).



Taulukko 1. Sisäilmaston vaikutus ihmisten tuottavuuteen (Karlsson, 2000)

Tutkimusten perusteella ihmisten keskittymiskyky laskee hyvin nopeasti huoneen lämpötilan noustessa. Jo kohtalainenkin lämpö (26-28 astetta) laskee keskittymiskykyä. Tällaisissa lämpötiloissa on todettu työtehon laskevan selvästi. (Korhonen & Lintunen, 2003, 43). Asumisterveysohjeen mukaan asunhuoneistojen ja oleskelutilojen lämpötila tulisi olla 21 °C ja yli 26 °C:een sisäilmaa pidetään terveyshaittana. (STM 2003:1).

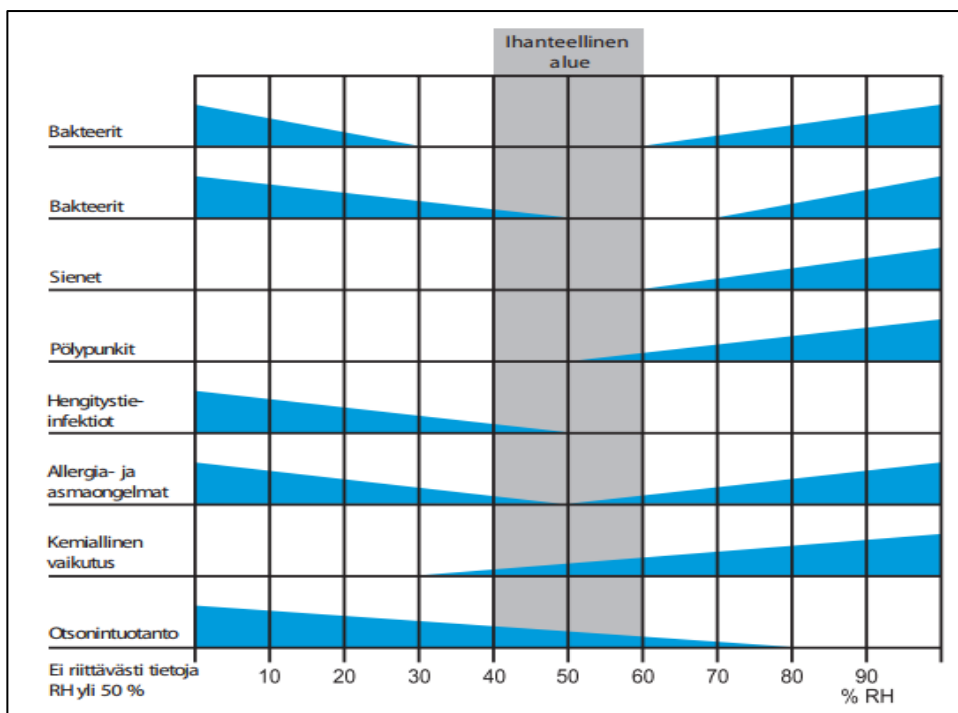
Tutkimusten perusteella ihmisten keskittymiskyky laskee hyvin nopeasti huoneen lämpötilan noustessa. Jo kohtalainenkin lämpö (26-28 astetta) laskee keskittymiskykyä. Tällaisissa lämpötiloissa on todettu työtehon laskevan selvästi. (Korhonen & Lintunen 2003 43). Asumisterveysohjeen mukaan asunhuoneistojen ja oleskelutilojen lämpötila tulisi olla 21 °C ja yli 26 °C:een sisäilmaa pidetään terveyshaittana. (STM 2003:1).

### 7.3 Sisäilman kosteuden vaikutukset

Asumisterveysohjeen mukaan sisäilman kosteuden asuniloissa tulisi olla noin 20 – 60 %. Näistä arvoista voidaan poiketa ja poikkeamia ei voida pitää terveyshaittana, jos muut asumisen terveydelliset edellytykset täyttyvät. Kuitenkin hengityслиiton mukaan *”kuiva ilma lisää hengitysteiden, limakalvojen ja ihon ärsytysoireita. Se heikentää liman poistumista hengitysteistä, mikä lisää limakalvojen tulehdusriskiä.”* (Hengityслиitto, 2015). Alhainen ilman kosteus lisää myös staattisen sähkön muodostumista. (STM 2003:1)

Liiallisella kosteudella ei katsota olevan suoranaisia haitallisia terveysvaikutuksia ihmiseen, mutta liiallinen kosteus voi tiivistyä rakenteisiin ja pahimmillaan johtaa rakenteiden homevaurioihin, jotka voivat aiheuttaa vakaviakin terveyshaittoja. (Hengityслиitto 2015)

Useissa maissa mm. Ruotsissa, Suomessa ja Saksassa tehtyjen tutkimuksien mukaan sisäilman suhteellisen kosteuden aiheuttamat haitalliset vaikutukset ihmiseen jäävät vähäisiksi, jos sisäilman kosteus asettuu alueelle 40 – 60 %. (Karlsson 2000). Tässä IV Product AB:n julkaisussa on esitetty taulukkomuodossa sisäilman kosteuden vaikutus fysikaalisiin, biologisiin ja kemiallisiin tekijöihin.



**Taulukko 2. Suhteellisen ilmankosteuden vaikutus fysikaalisiin, biologisiin ja kemiallisiin tekijöihin IV Product AB (Karlsson, 2000)**

## 7.4 Sisäilman kostutus

Kosteuden määrää ilmassa eli ilman kosteus ilmaistaan lähinnä kahdella eri tavalla:

- Suhteellinen kosteus [% RH], joka ilmoittaa periaatteessa vesihöyryn määrän ilmassa suhteessa siihen, paljonko kyseisessä lämpötilassa vesihöyryä mahtuu ilmaan (tavanomaisissa sisä- ja ulkolämpötiloissa). (Sandberg, 2014, 21).
- Absoluuttinen kosteus [g/kg tai kg/kg], joka ilmoittaa, paljonko vesihöyryn määrä on kuivaa ilmakiloa kohden. (Sandberg, 2014, 21).

Suhteellista kosteutta käytetään tavallisesti ilmaisemaan ulkoilman tai sisäilman kosteutta, mutta suunnittelussa, ilmastointitekniikan prosesseissa ja laskelmissa käytetään absoluuttista kosteutta, koska absoluuttisen kosteuden avulla ymmärtää paremmin, milloin ilmasta alkaa tiivistyä kosteutta. (Sandberg, 2014, 21).



*Ilmankostuttimen tarkoituksena on lisätä sisäilman kosteutta joko yksittäisessä huoneessa tai koko asunnossa. Laitteessa on vesisäiliö ja tekniikka kosteuden siirtämiseksi huoneilmaan. Sisäilma on Suomessa kuivaa joulukuusta helmikuuhun, jolloin ilmankostutukselle voi olla tarvetta. (Hengitysliitto, 2015)*

Teollisuudessa on paljon prosesseja, jotka vaativat toimiakseen sekä sopivan lämpötilan että kosteuden. Vaativimmillaan lämpötilan ja kosteuden tarkkuusvaatimus voi olla esim. 22 C +/- 0,3 C ja 45 % RH +/- 3% RH. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi painotalot, paperin ja vanerin valmistus jne. Orgaaninen materiaali, kuten paperi supistuu ja laajenee suhteellisen kosteuden muuttuessa, joten painojälki voi tulla epätarkaksi. Lehtipainoissa liian kuiva paperi katkeaa painokoneessa helposti. Vaate-, saha- ja puusepänteollisuudessa tarvitaan talvella kostutusta. Elintarvikkeiden, juuresten ja vihannesten varastoinnissa sopivan suhteellisen kosteuden merkitys on suuri. Museoissa taideteosten takia ja musiikkitiloissa soittimien takia täytyy ylläpitää tiettyä suhteellista kosteutta. (Sandberg, 2015, 83).

Talviolosuhteissa asuintilojen sisäilman viihtyvyyttä ja terveellisyttä voitaisiin parantaa kostuttamalla, mutta kostuttaessa sisäilmaa täytyy huomioida vesisumun sitova lämpöenergia, joka edesauttaa sisäilman lämpötilan laskua.

Vesisumujärjestelmän haasteena kostutuksessa asuin- ja huonetiloissa tulee olemaan liiallinen kosteus kesä aikana ja talvisin kuiva, mutta kylmä sisäilma. Huoneilman kostuttamista tulisi välttää, kun ilman kosteus asunnossa syntyvän tai ulkoilman mukana tulevan kosteuden takia ylittää arvon 7g vesihöyryä / kg kuivaa ilmaa, tämä arvo vastaa huoneilman kosteutta 45% RH, kun lämpötila on 21 C (STM, 2003, 42).

Hengitysliiton mukaan talviaikoina huoneilma on liian kostea, jos se ylittää RH 45 %. Hetkelliseen ylitykseen on yleensä syynä ihmisen toiminnoista syntyvä kosteus (pyykin pesu, ruoan laitto). Liiallinen kosteus voi etenkin talviaikaan vahingoittaa asunnon rakenteita ja mahdollistaa esimerkiksi homeiden lisääntymisen, jotka puolestaan voivat aiheuttaa vakaviakin terveyshaittoja. (Hengitysliitto, 2015).

## 7.4 Sisäilma kostutusjäähdytys

Huoneilman lämpötilalla tarkoitetaan:

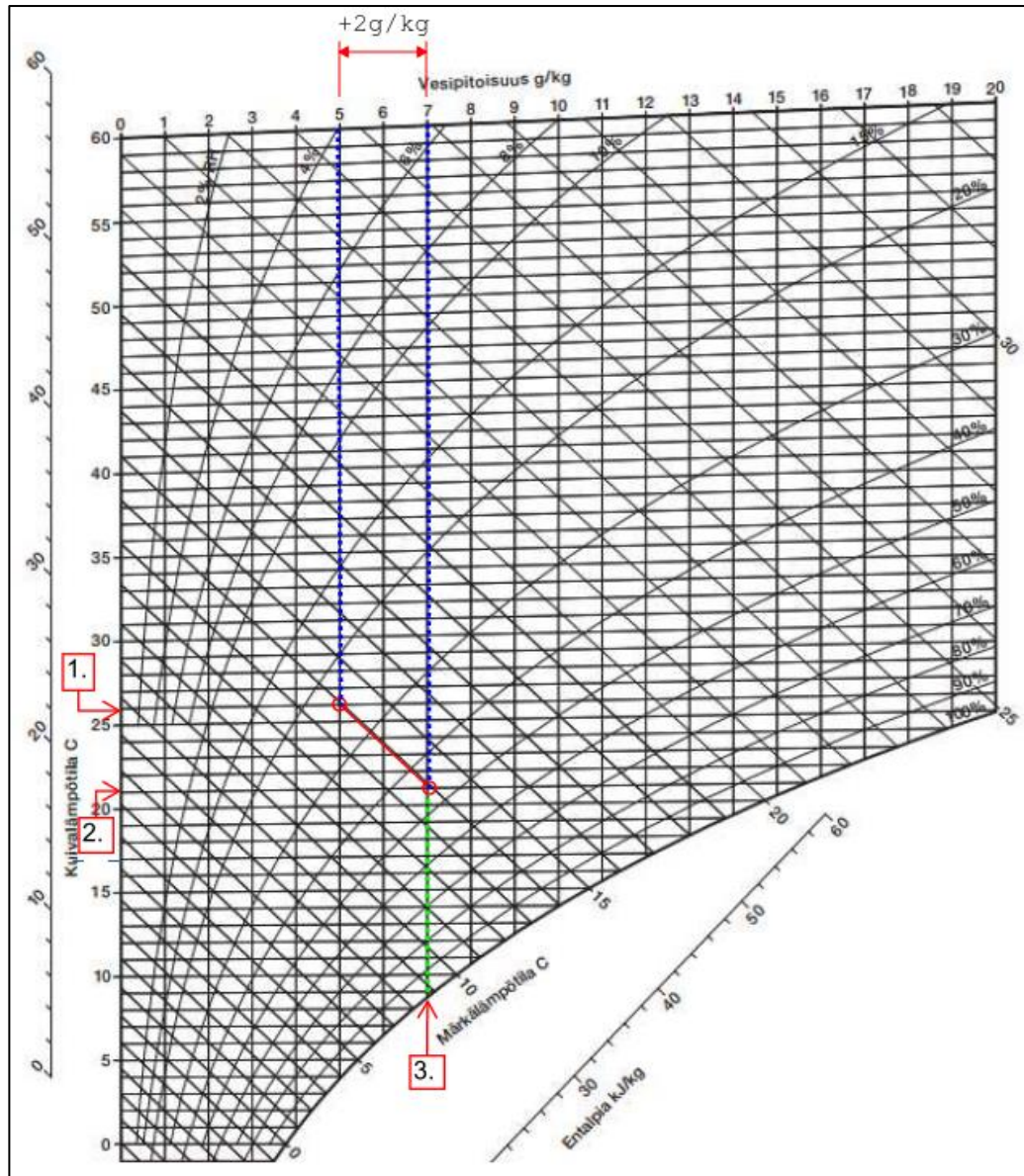
*ilman lämpötilaa mitattuna mistä tahansa oleskeluvyöhykkeeltä 1,1m:n korkeudelta. (STM asumisterveysohje, 2013, 10).*

*Rakennusten jäähdytystarve kasvaa tulevaisuudessa suurempien sisäisten lämpökuormien takia. Samanaikaisesti sisäilmasto- ja työtahovaatimukset kiristyvät. (LVI 73-40026).*

Höyrystyessään vesi sitoo itseensä lämpöä. Tätä ilmiötä voidaan hyödyntää kostutusjäähdytyksessä. Adiabaattisessa jäähdytysprosessissa ilman tila asettuu vakioentalpiasuoralle ja ilman lopullinen olosuhde riippuu kostutuksen määrästä. Kuvion 9 esimerkillä voidaan todeta miten lämpötila ja kosteus muuttuvat kun sisäilmaa jäähdytetään sumusuihkulla adiabaattisessa prosessissa. Kuvion lähtötilanteessa (1.) lämpötilan oletetaan olevan 26°C ja RH noin 25 %. Tämä tilanne voisi vastata talviolosuhteissa tuotantotilojen sisäilmaolosuhteita, jossa syntyy huomattava määrä hukkalämpöä. Tuotantotilaan suihkutettaisiin sumukostutusta, jolloin vesi alkaa haihtua sisäilmaan.

Mollier-diagrammin mukaan adiabaattisessa jäähdytyksessä prosessi kulkee vakioentalpiasuoraa, eli punaista suoraa pitkin pisteeseen (2.) haluttuun 45% suhteelliseen kosteuteen, mihin päästyään sisäilman lämpötila on jäähtynyt 21°C:een. Samalla voidaan huomata ilman absoluuttisen kosteuden nousseen samalla 5 grammasta 7 grammaan per kg kuivaa ilmaa, mutta ilman ominaisentalpia pysyy kokoajan 38 kJ/kg:ssa.

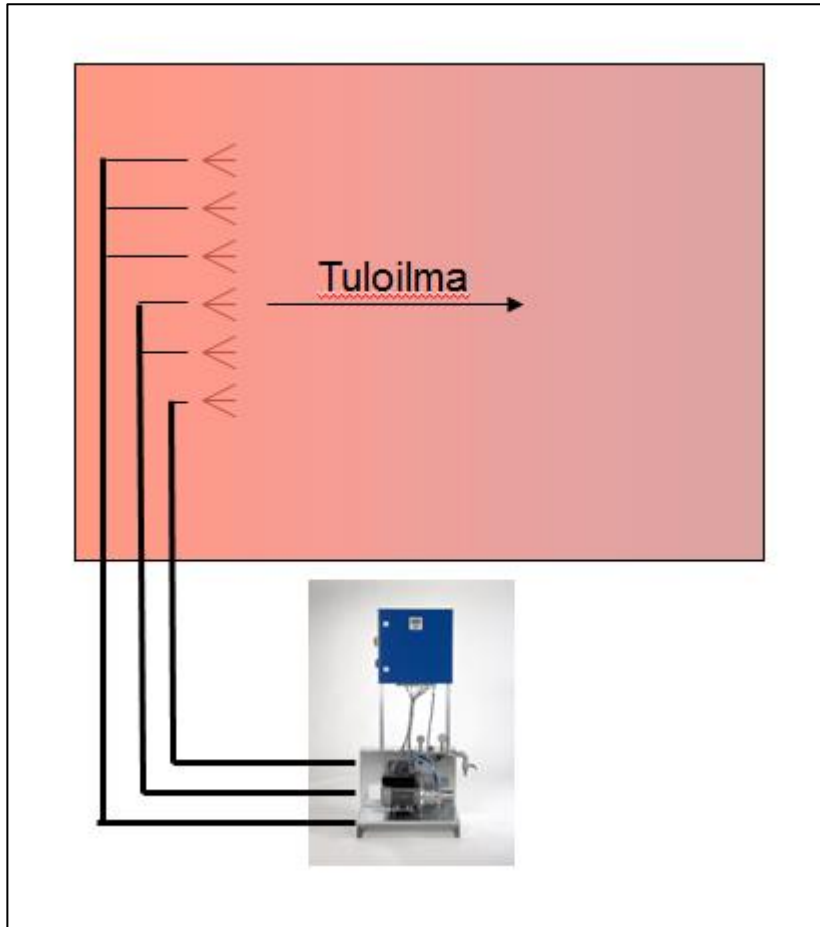
Prosessissa veden haihtumiseen käytettävä energia otetaan ilmasta, jolloin ilma jäähtyy suhteellisen kosteuden noustessa. Pintojen kastepiste voidaan tarkastaa pystyakselilta, eli vihreää suoraa pitkin pisteessä (3.), joka on kuvion 9 pisteen (2.) ilmaolosuhteissa 9°C.



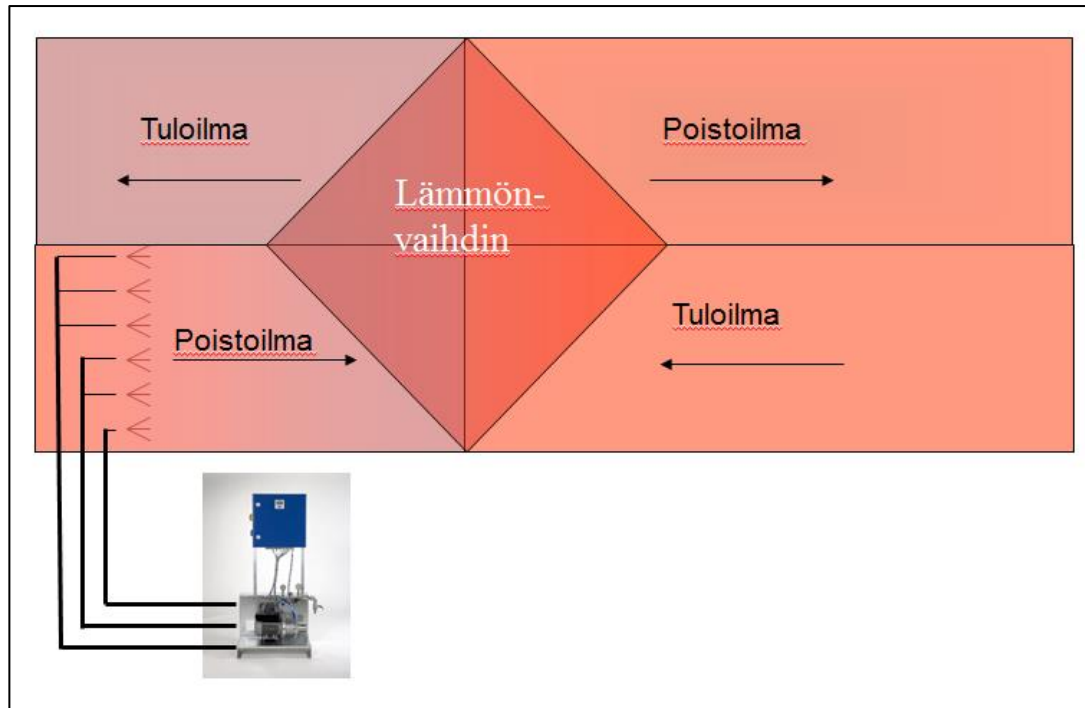
Kuvio 9. Adiabaattisen jäädytyksen prosessi

Kostutusjäädytyksessä voidaan hyödyntää eri tekniikoita riippuen asennuskohteen vaatimuksista ja halutuista sisäilman olosuhteista. Suorassa kostutusjäädytyksessä ulkoilmaa jäähdytetään sumukostutuksella suoraan asunnon tuloilmakanavassa (kuvio 11). Jäädytyksen teho riippuu aina ulkoilman tilasta ja halutuista sisäilman olosuhteista. Suora kostutusjäädytys nostaa aina sisäilman kosteutta, ongelmaksi voi muodostua liian korkea kosteus, jolloin voi tapahtua vettymistä kylmille sisätilan pinnoille (ikkunat, lattiat, seinät). (LVI 73-40026)

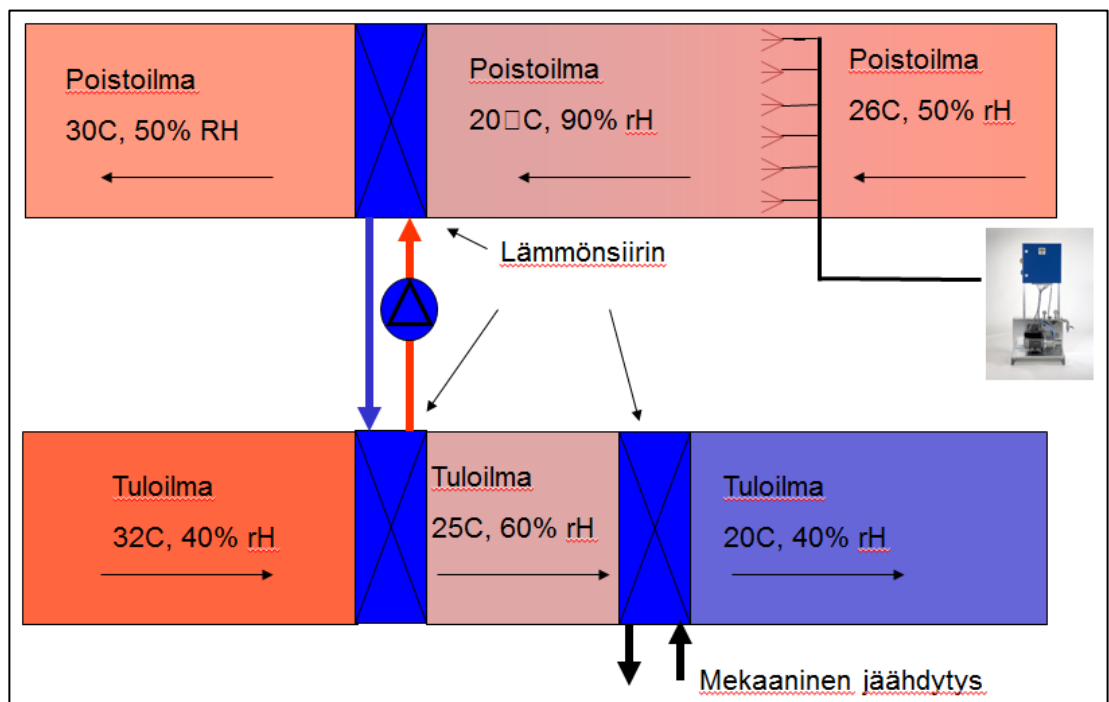
Epäsuorassa kostutusjäähdytyksessä jäähdytys toteutetaan poistoilmakanavaan, jolloin tuloilmaa voidaan jäähdyttää kosteutta lisäämättä (kuviot 12 ja 13). Jäähdytetty poistoilma jäähdyttää tuloilmaa lämmönvaihtimen tai lämmönsiirtimen kautta. Tässä tapauksessa jäähdytyksen teho riippuu poistoilman tilasta ja lämmönvaihtimen, sekä lämmönsiirtimen hyötysuhteesta. Sumukostutuksella voitaisiin säästää isojen kiinteistöjen ja tuotantotilojen jäähdytyskuluja. (LVI 73-40026)



Kuvio 10. Sumukostutusjärjestelmä asennettuna suoraan tuloilmaan



Kuvio 11. Sumukostutusjärjestelmä asennettuna lämmönvaihtimeen



Kuvio 12. Sumukostutusjärjestelmä asennettuna lämmönsiirtimeen

## 8 Opinnäytetyön tulokset

### 8.1 Aktiivinen palontorjunta

Vesisumua voidaan pitää erinomaisena sammutteena. Vesisumulla voidaan antaa erinomainen suoja tulipalon vaaraan jääneille ihmisille sekä helpottaa omatoimista pelastautumista palavasta tilasta. Vesisumun lämpöä absorboiva ja savukaasuja pesevä vaikutus on ylivertainen verrattuna tavalliseen sprinklerijärjestelmään. Vesisumun sammuttavia ja suojaavia ominaisuuksia olisi mielestäni ehdottomasti käytettävä palosuojauksessa ja palontorjunnassa. Tilastollisesti palokuolemat, eivät ole lähteneet laskuun valtioneuvoston asettamista tavoitteista huolimatta ja kasvavassa määrin ikääntyvän väestön asumisympäristö tulee olla tulevaisuudessa suojattu.

Vesisumua tulisi ehdottomasti käyttää myös tiloissa joissa on sairaita, kehitysvammaisia, lapsia tai liikuntarajoitteisia ihmisiä. Tavallisen sprinklerijärjestelmän antama suoja ei ole riittävä, jos pelastushenkilöstön tulo kestää liian pitkään, eikä tulipalon vaaraan jäänyt ole itse kykeneväinen pelastautumaan tai hänen liikkumisensa tai tilanteen ymmärtäminen on rajoitettua. Vesisumu voitaisiin asentaa sprinklerijärjestelmän ohelle ihmisen turvaksi, jolloin pelastushenkilöstö saisi lisää aikaa pelastustoimiin tai hätäuloskäyntireitit voitaisiin varustaa vesisumulla jolloin henkilön olisi huomattavasti helpompaa pelastautua omatoimisesti palavasta rakennuksesta.

Palontorjunta ja palonsuojaus kirjallisuudessa tunnustetaan ja tunnetaan vesisumun lämmöltä suojaava ja savukaasuja pesevä vaikutus, mutta silti vesisumun käyttömahdollisuuksia ei ole tuotu yleisesti käytäntöön. Vesisumun yleistymisen esteenä katson olevan yleisten standardien uupuminen, jonka takia vesisumun asentaminen ja sen toimivuus tulisi osoittaa täysimittaisilla palokokeilla tunnustetulla testauslaitoksella, jotka voivat olla hyvinkin kalliita. Tällöin jokaiseen kohteeseen johon vesisumujärjestelmä asennettaisiin, täytyisi jokaista kohdetta kohden suorittaa oma itsenäinen palokoe.

VTT:n mukaan standardeja ei ole luotuna koska vesisumujärjestelmän toimintaa ei voida luotettavasti ennustaa nykyisillä empiirisillä tai laskentamalleilla, joten ainoaksi vaihtoehdoksi jää järjestelmän testaus.

Mielestäni kokonaisuudessaan automaattisella vesisumujärjestelmällä olisi valtavasti käyttömahdollisuuksia palosuojauksessa ja palotorjunnassa, jota voitaisiin hyödyntää. Vesisumun ominaisuuksia hyödyntämällä voitaisiin onnistua laskemaan vuosittaisia palokuolemia, pölyräjähdys ja räjähdysvaarallisissa tiloissa ennakoivasti estämään räjähdysonnettomuudet. Vesisumua voitaisiin hyödyntää myös kohteissa, joissa halutaan välttyä vesivahingolta, kuten ATK- ja elektroniikkatilat sekä nykyään kasvavassa määrin rakennettavissa puukerrostaloissa.

## **8.2 Pölyräjähteiden estäminen**

Vesisumun sopii myös erinomaisesti pölyräjähdysten estämiseen. Nykyiset automaattiset pölyräjähdysten estolaitteistot perustuvat kipinänilmaisu- ja sammutusjärjestelmiin, jonka tarkoitus on pysäyttää alkava räjähdys tai estää räjähdyspaineen vaikutusta. Automaattisella vesisumujärjestelmällä voitaisiin ennakoivasti estää pölyräjähdys, jotta edes alkavaa räjähdystä ei pääse syntymään.

## **8.3 Pölynsidonta**

Vesisumulla on myös pölyä sitova vaikutus, joten pölynsidontan takia vesisumua voitaisiin hyödyntää pölyräjähdysten lisäksi orgaanisten ja epäorgaanisten pölyjen sidonnassa. Epäorgaaniset pölyt kuten kvartsipöly ja asbesti, ja orgaaniset pölyt kuten paperipöly, puupöly, jauhopöly ym, voivat aiheuttaa ilmaan sekoittuneena lyhyitä- ja pitkäaikaisia terveyshaittoja, erityisesti asbesti aiheuttaa vakavia terveyshaittoja.

## **8.4 Kosteuden lisääminen sisätiloissa ja tuotantoympäristöissä**

Vesisumun kostutusominaisuuksia voitaisiin myös hyödyntää erityisolosuhteita vaativien henkilöiden parissa, erityisesti vaikeasta allergiasta kärsivät, tai hengityselinsairauksista kärsivät ihmiset.

Talven kuivasisäilma voi aiheuttaa myös vakavia terveyshaittoja ja vesisumun kostutusominaisuuksia voitaisiin hyödyntää enemmän. Myös tavallisten asuintilojen asuinmukavuutta voitaisiin huomattavasti lisätä talviolosuhteissa hyvin kuivissa sisäilmaolosuhteissa. Lisäksi kostutusominaisuuksia voidaan hyödyntää elintarvike-, tuotanto- ja tehdasolosuhteissa ympärivuotisesti. Kosteutta nostamalla voitaisiin estää tuotteiden vahingoittuminen ja ylläpitää ihanteellisia tuotanto-olosuhteita. Kuten vaneri ja paperiteollisuudessa, jossa kuivasisäilma voi aiheuttaa tuotannollisia ongelmia.

### **8.5 Energiaa säästävä menetelmä**

Vesisumun jäähdytys ja kostutusominaisuudet sopivat nyky maailman ekologiseen ajattelumalliin. Vesisumulla toteutettu adiabaattinen jäähdytys on ylivoimainen verrattuna koneellisen jäähdytyksen energiakulutukseen. Pelkästään Suomessa tätä tekniikkaa voitaisiin hyödyntää teollisuudessa ja suurissa asuinkiinteistöissä. Lämpimämmässä maissa adiabaattisen jäähdytyksen edut korostuvat huomattavasti kasvavan jäähdytystarpeen lisääntyessä korkeiden vuorokauden lämpötilojen vuoksi ja ympärivuotisesta jäähdytystarpeesta johtuen. Adiabaattisen jäähdytyksen avulla voitaisiin säästää huomattavasti energiakustannuksissa, tai edes vähentää koneellisen jäähdytyksen tarvetta. Lämpöeroja pystytään pienentämään ja koneellisen jäähdytyksen kapasiteettia voitaisiin tällöin pienentää.

## **9 Johtopäätökset**

Palontorjunnassa oikein suunniteltuna sprinklerijärjestelmä onnistuu sammuttamaan tulipalon, mutta sen tuoma suoja ihmisille ei välttämättä ole riittävä, mikäli tulipalo ei sammu tarpeeksi nopeasti. Mikäli sprinklerijärjestelmä ei itsessään kykene sammuttamaan palavan tilan tulipaloa tarpeeksi nopeasti, tulipalon varaan jäänyt henkilö kuolee todennäköisesti palokaasujen aiheuttamaan häämyrkytykseen tai tulipalossa saatuihin palovammoihin.



Loppujen lopuksi sprinklerijärjestelmä voi onnistua sammuttamaan rakennuksen palon, mutta vaaraan jäänyt henkilö voi olla jo menehtynyt ennen tulipalon sammumista

Pölynsidonnessa mahdollisilla lisätutkimuksilla ja kehitystyöllä voitaisiin kehittää liikutettava kevyt laitteisto tiloihin, joissa voisi altistua haitalliselle pölylle, tai jos tilan ilmaa halutaan ”pestä”.

Erityisesti tehdas- ja tuotantolaitosolosuhteissa on tärkeää optimoida työympäristön lämpötiloja, jotta työntekijöiden työtehokkuus pysyy hyvänä ja työkyky pysyy parempana. Jäähdytyksen antama lisäarvo voi olla hyvinkin arvokas nousseena työtehona ja ihmisen henkisenä hyvinvointina. Lisäksi vanhusten ja sairaiden sisäilman lämpöolosuhteet tulee pitää tasaisena ja hyvinä, jotta lämpörasitteet eivät pahenna olemassa olevia terveyshaittoja tai lisää niitä. Kaikki mahdollinen lisärasite tulee minimoida.

## **10 Vesisumu tulevaisuuden innovaatioissa**

Vesisumulla voidaan todeta olevan paljon erilaisia käyttömahdollisuuksia, niitä jalostamalla voi kehittyä kansallisesti merkittäviäkin keksintöjä ja käyttömahdollisuuksia vesisumulle. Vesisumun suunnittelu ja toteutus tarvitsee kuitenkin alan perehtyneen ihmisen osaamisen ja monipuolista ymmärrystä fysiikasta, kemiasta, lvi-tekniikasta, mekaniikasta, rakennusfysiikasta, palofysiikasta, automaatiotekniikasta ja ympäristötekniikasta. Vesisumun fysikaaliset ja kemialliset ilmiöt tunnetaan lähtökohtaisesti hyvin ja joitakin tuotteita markkinoilta löytyykin ilmankostuttimista palonsuojaukseen.

Mielestäni kehitystyötä on kuitenkin vielä tehtävä, jotta päästäisiin onnistuneeseen, hinnaltaan kilpailukykyiseen ja yksinkertaisesti toimivaan haluttuun ratkaisuun. Oli tämä jäähdytykseen, kostutukseen tai palonsuojaukseen. Onnistuneen kehitystyön myötä voitaisiin saada tuotteelle standardointi, joka helpottaisi tuotteen hyödyntämistä laajemmalla sektorilla.

## LÄHTEET

Atooppinen iho. Allergia- ja astmaliitto 2015. Viitattu 07.09.2015  
<http://www.allergia.fi>.

CEA 4001:2007. Sprinklerilaitteistot suunnittelu ja asentaminen. CEA Euroopan vakuutus ja jälleenvakuutusalan keskusliitto. Viitattu 07.09.2015.  
[http://www.tukes.fi/Tiedostot/pelastustoimen\\_laitteet/aineisto/sprinklerilaitteistot\\_suunnittelu.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/pelastustoimen_laitteet/aineisto/sprinklerilaitteistot_suunnittelu.pdf).

Eskola, J. & Suoranta, J. 1998. Johdatus laadulliseen tutkimukseen. 8. tarkistettu painos. Tampere: Vastapaino.

Hengityслиitto 2015. Sisäilma. Viitattu 07.09.2015 <http://www.hengityслиitto.fi>.

Hirsjärvi, S. Remes, P. & Sajavaara, P. 2009. Tutkija ja kirjoita. 15. uudistettu painos. Hämeenlinna: Kariston Kirjapaino Oy.

Hyttinen, V. Tolonen, P. & Väisänen, T. Palofysiikka, 2008. Suomen pelastusalan keskusjärjestö. Tampere: Esa Print Oy.

Karlsson, B. Osaaminen, ilmanvaihto ja jäähdytys. IV Produkt Ab. Viitattu 07.09.2015 <https://www.docfactory.com/smartshare/IVProdukt/-/repository/resource/content/sys.object.id/cf263179-94c8-82a0-d6f4-891c9966f40e/Kylm%C3%A4%20Aapinen%20-%20Osaaminen,%20Ilmanvaihto,%20J%C3%A4hdytys.pdf>.

Korhonen, H. & Lintunen, M., 2003. Hyvä sisäilma. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.

Laitelaki, 2007. Valtion säädöstietopankki, Laki pelastustoimen laitteista 10/2007. Viitattu 07.09.2015 <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2007/20070010>, ajantasainen lainsäädäntö.

LVI 73-40026, 1993. LVIS-2000 tiedonjyväkortti. Rakennusten jäähdytys kostutusjäähdytyksellä ja kuivausjäähdytyksellä. Rakennustieto.

NFPA 750 Standard on Water Mist Fire protection systems 2015 edition. National Fire Protection association, Quincy, MA. USA, 2015. ISBN: 978-145590951-3 (PDF).

RakMKD2. Suomen rakentamismääräyskokoelma rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet. 2012. Ympäristöministeriö. Viitattu 07.09.2015.  
[http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf)

Pelastusostoimi 2015. Tulipalon vaarallisuus, palokuolemat. Sisäministeriö. Viitattu 07.09.2015 <http://www.pelastusostoimi.fi>.

Sandberg, E 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, Ilmastointitekniikka osa 1. T

Seppänen, O. & Seppänen, M. 1996. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-Tekniikka. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy.

STM, 2003, Sosiaali- ja terveysministeriö 2003. Asumisterveysohje. [http://www.finlex.fi/pdf/normit/14951-asumisterveysohje\\_pdf.pdf](http://www.finlex.fi/pdf/normit/14951-asumisterveysohje_pdf.pdf)

STM, Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015. Valtion säädöstietopankki Finlex. Viitattu 07.09.2015.

[https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545?search\[type\]=pika&search\[pika\]=545%2F2015](https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545?search[type]=pika&search[pika]=545%2F2015) ajantasainen lainsäädäntö.

Tuomisaari, M. 1996. Vesisumujärjestelmät sammutustekniikassa. VTT tiedotteita 1798.

Terveydensuojelu, asumisterveys. Valvira , Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto. Viitattu 07.09.2015 <http://www.valvira.fi/>

Ympäristöministeriö 2015. Lainsäädäntö ja ohjeet, rakentamismääräyskokoelma. Viitattu 07.09.2015 <http://www.ym.fi/>

## LIITTEET

### Liite 1. Suomen Finanssialan keskusliiton vaatimukset automaattiselle vesisumusammutusjärjestelmälle

Automaattinen vesisumusammutusjärjestelmä ilmaisee ja sammuttaa tai rajoittaa suojatussa tilassa syttyneen tulipalon.

Vesisumusammutuksessa purkautuvan veden tilavuudesta 99 % tulee olla pisaroissa, joiden halkaisija on enintään 1 000 µm pienimmällä järjestelmävalmistajan ilmoittamalla toimintapaineella. Vakuutussopimukseen vaikuttavan vesisumusammutusjärjestelmän on täytettävä seuraavat vaatimukset:

1. Vesisumusammutusjärjestelmän on täytettävä sisäasiainministeriön asetuksessa automaattisistasammutuslaitteistoista asetetut vaatimukset
2. Vesisumusammutusjärjestelmä on suunniteltava ja asennettava National Fire Protection Associationin standardin "NFPA 750, Standard on Water Mist Fire Protection Systems" mukaisesti.
3. Vesisumusammutusjärjestelmän sammutuskyky on testattava puolueettomassa testauslaitoksessa.

Testauslaitoksen tulee olla akkreditoitu palotestaukseen ja/tai sen tulee osoittaa pätevyytensä vesisumusammutusjärjestelmän testaukseen.

Vesisumusammutusjärjestelmän on läpäistävä palotestit hyväksyttävästi. Palotesteistä on oltavatäydelliset testiraportit, joista käyvät ilmi standardipalokokeet ja niissä käytetyt komponentit, suuttimien asennusvälit ja korkeudet, minimoimintapaineet, mitoitusalat sekä mahdolliset muut sammutustehoon vaikuttavat parametrit.

Standardipalokokeet on toteutettava seuraavan dokumentin mukaisella tavalla:

- standardi FM Approvals, Class Number 5560 "Approval Standard, Water Mist Systems"

- standardi Underwriters Laboratories UL 2167 "Water Mist Nozzles for Fire Protection Service"
  - julkaisu VdS Schadenverhütung 2344 "Procedures for testing, approval and evaluation of conformity of equipment, components and systems for fire protection and security technologies"
  - julkaisuluonnos prCEN/TS 14972 "Fixed firefighting systems – Watermist systems – Design and Installation"
  - Standardi IMO Res.A.800 (19) ANNEX Appendix 2 "Fire test procedures for equivalent sprinkler systems in accommodation, public space and service areas on passenger ships".
4. Vesisumusammutusjärjestelmän soveltuvuus suojaukseen on todennettava.

Vesisumusammutusjärjestelmän toimittajan on osoitettava palotestien ja suojattavan kohteen vastaavuus sekä osoitettava vesisumusammutusjärjestelmän palotesteissä käytettyjen parametrien ja suojattavan kohteen mittojen ja olosuhteiden yhteensopivuus. Mikäli yhteys palotestimenetelmän ja suojattavan kohteen välillä ei ole ilmeinen, asiasta on saatava kohdan 3. mukaisen vesisumusammutusjärjestelmän testauslaitoksen lausunto, jossa vastaavuus todetaan.

5. Vesisumusammutusjärjestelmässä käytettävän komponentin on täytettävä standardissa esitetyt vaatimukset.

Vesisumusammutusjärjestelmässä käytettävän komponentin on täytettävä European Committee for Standardizationin (CEN) tai International Organization for Standardizationin (ISO) tuotestandardissa esitetyt vaatimukset. Jos 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.

Jos vesisumusammutusjärjestelmä on Factory Mutualin, Underwriters Laboratories Inc'in tai VdS Schadenverhütungin listaama tiettyyn sprinkleriluokan kohteeseen tai erityiskohteeseen, vesisumusammutusjärjestelmää voidaan käyttää listauksen mukaiseen suojaukseen ilman, että kohtien 2 - 5 voimassaoloa erikseen osoitetaan

1) Vesisumusammutusjärjestelmä on vakuutus sopimukseen vaikuttava, jos

- vesisumusammutusjärjestelmä on rakennusluvan ehtona tai
- vesisumusammutusjärjestelmän perusteella on myönnetty lievennyksiä rakenteellisessa palontorjunnassa
- vakuutusyhtiö myöntää vakuutusmaksualennuksen vesisumusammutusjärjestelmän perusteella.

## Liite 2. Mollierin diagrammi

