



PELASTUSOPISTO



NESTEPALOJEN SAMMUTUS KYMEN- LAAKSON PELASTUSLAITOKSELLA

Juhana Kolppo ja Ville Salonen

9.3.2020

TIIVISTELMÄ

Tekijä Juhana Kolppo ja Ville Salonen	Tutkinto Pelastusalan päällystö (AMK)
Julkaisun nimi Nestepalojen sammutus Kymenlaakson pelastuslaitoksella	Julkisuus Julkinen
Sivumäärä 71+7	Päiväys 9.3.2020
Opinnäytetyön ohjaaja(t) vanhempi opettaja Raimo Savola palomestari Jaakko Hämeenniemi	Toimeksiantaja Kymenlaakson pelastuslaitos
<p>Tiivistelmä</p> <p>Kymenlaakson pelastuslaitoksen toimialueella on kohonnut suuronnettomuuden riski. Alueen kautta kulkee suuri osa Suomen palavista nesteistä. Pelastuslaitoksen alueella on useita palavia nesteitä varastoivia toimijoita.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ja kehittää nestepalojen sammuttamista Kymenlaakson pelastuslaitoksen toimialueella Kymenlaakson pelastuslaitoksen kalustolla. Tutkimusten pohjalta oli tavoitteena laatia toimintaohje ja koulutusmateriaali pelastuslaitoksen henkilöstölle.</p> <p>Opinnäytetyö jakautuu kahteen tutkimusosaan. Toisessa osassa on laskettu vaahdoliuosvirrat toimialueella sijaitsevien palaviennesteiden varastosäiliöiden sammuttamiseen. Eteläisen toimialueen jokaiselle säiliölle on laskettu sammuttamiseen tarvittavat vaahtonestevirrat. Laskelmien pohjalta on asetettu tavoite siirtää pelastuslaitoksen kalustolla 10 000 l/min vettä ja vaahdoliuosta. Toisessa tutkimusosassa on käytännön kenttätutkimuksin mitattu ja vertailtu, onko teoreettisiin laskelmiin perustetut tavoitteet saavutettavissa. Käytännön tutkimusten perusteella on laadittu toiminta ja selvitysohjeet säiliöpalon sammuttamiseen.</p> <p>Tutkimusten perusteella on tehty päivityksiä pelastuslaitoksen kalustoon. Työn tutkimustulosten pohjalta on laadittu pelastuslaitokselle ohjeistus ja toimintamallit, jotka koulutetaan Kymenlaakson pelastuslaitoksen operatiiviselle henkilöstölle vuoden 2020 aikana. Satamalle on tutkimuksissa havaittujen heikkouksien perusteella esitetty pyyntö kehittää muun muassa sataman vesiasemien merkitsemistä.</p>	
Avainsanat pelastustoimi, vaahtosammutus, nestepalo, öljysäiliöpalo	

ABSTRACT

Author Juhana Kolppo and Ville Salonen	Degree Programme Fire Officer's Degree (UAS)
Title Extinguishing Liquid Fires at the Kymenlaakso Rescue Department.	Confidentiality public
Pages 71+7	Date 9th March, 2020
Academic supervisor Mr Raimo Savola, Senior Instructor Mr Jaakko Hämeenniemi, Executive fire officer	Client Organisation/Partner Kymenlaakso Rescue Department
<p>Abstract</p> <p>There is an increased risk of a major incident in the operating area of Kymenlaakso Rescue Department, because the majority of flammable liquids used in Finland pass through the region. The service region of the rescue department has several operators storing flammable liquids.</p> <p>The aim of this study was to investigate and develop the extinguishing of flammable liquid fires in the operating area of Kymenlaakso Rescue Department using the rescue department's equipment and fleet. The goal was to use this study as a basis for preparing operating instructions and training material for the staff of the rescue department.</p> <p>The study is divided into two sections. The first section deals with calculations of the foam solution flow rates required for extinguishing the flammable liquid storage tanks located in the service region of the rescue department. The foam solution flow rates were calculated for extinguishing each tank in the southern operating area. Based on the calculations, a goal was set for transporting water and foam solution at a rate of 10,000 l/min using the rescue department's fleet and equipment. The second research section deals with practical field studies to measure and compare whether the goals set based on theoretical calculations could be reached in practice. Practical tests carried out in this section were used as the basis for drawing up operating instructions and a report on extinguishing a tank fire.</p> <p>The rescue department's fleet and equipment were also updated based on the research. The results of this study were used as the basis for preparing instructions and operating models for the rescue department. The operative staff of Kymenlaakso Rescue Department will be trained on the new instructions and models in 2020. Furthermore, based on shortcomings detected in the port district in this study, a request has been submitted on improving issues such as the signs indicating the location of water posts in the port area.</p>	
<p>Keywords emergency service, liquid fire, foam extinguishing system, oil tank fire</p>	

SISÄLLYS

SELITESIVU	6
1 JOHDANTO	10
2 TAUSTATIETOA	11
2.1 Nestepalot Suomessa	11
2.2 Kymenlaakson pelastustuonimen alueen onnettomuusriskit	12
2.3 Riskikohde	17
3 PALAVIEN NESTEIDEN KÄSITTELYÄ JA VARASTOINTIA OHJAAVAT LAIT JA ASETUKSET	20
3.1 Pelastustoimea ohjaavat lait ja asetukset	20
3.2 Palavien nesteiden varastoinnin ja käsittelyn suunnittelua ohjaavat säädökset	23
3.3 Esimerkkinä nestesäiliön rakenne ja kiinteät järjestelmät	25
3.4 Palavien nesteiden palontorjuntasäädökset	26
4 NESTEPALOJEN SAMMUTUS	28
4.1 Palavien nesteiden varastosäiliöiden paloskenaariot	28
4.2 Täyden pinnan palon ja muiden avopalojen sammutus Kymenlaakson pelastuslaitoksen alueella	33
4.3 Boil over-ilmiö	34
4.4 Junanvaunun tai säiliörekan sammutus	36
5 SAMMUTUSJÄTEVESIEN KERÄILY	39
6 TUTKIMUS	40
6.1 Mittauksessa käytetty mittauskalusto	42
6.2 Tutkimustulokset	43
6.3 Selvitysmallit	45
7 TUTKIMUSTEN PERUSTEELLA MÄÄRITETYT VAAHTOISKUMALLIT	47
7.1 Vaahtoisku 1	47
7.2 Vaahtoisku 2 Kotka	51
7.3 Vaahtoisku 2 Kouvola	53
7.4 Kalustomuutokset	54

	5
7.5 Palovesiverkosto ja pumppaamot	57
7.6 Vaahtonesteet	58
7.7 Taktiikka nestepalon sammuttamisessa / Operaatiosuunnitelmat	61
8 YHTEENVETO JA POHDINTA	65
8.1 Koulutusmateriaali	66
LÄHTEET	69
LIITTEET	72

SELITESIVU

Kpa KiloPascal, paineen yksikkö, 100 kPa = 1 bar

Letkukitka Letkussa virtaavan veden vastus. Vastus koostuu pääosin vesimolekyylien keskinäisestä hankauksesta.

Lämpösäteilyn intensiteetti

Lämpösäteilyn intensiteetti kuvaa yhdelle neliömetrin alalle säteilyä siirtyvää lämpöenergian määrää [kW/m^2].

Vahtoliuos on vaahdon muodostamiseen tarkoitettu vaahdotteen ja veden liuos (Hyttinen ym. 2007, 112).

Säiliöauto on kiinteällä pumpulla ja vähintään 5 000 litran vesisäiliöllä varustettu vedenkuljetukseen ja sammutustehtäviin tarkoitettu pelastusauto (Pelastusajoneuvojen yleisopas 2010).

Säiliö-sammutusauto

on kiinteällä pumpulla ja vähintään 5 000 litran vesisäiliöllä varustettu vedenkuljetukseen ja sammutustehtäviin tarkoitettu pelastusauto (Pelastusajoneuvojen yleisopas 2010).

Vahtoauto on vaahtonestesäiliöllä ja vaahtonsekoitinjärjestelmällä varustettu pelastusauto (Pelastusajoneuvojen yleisopas 2010).

Puomitikasauto

on kiinteällä nostovarsistolla ja siihen liitetyillä tikkailla sekä työkorilla varustettu pelastusauto (Pelastusajoneuvojen yleisopas 2010).

Letkukontti on pääasiassa pelastustoimen tukitehtäviä varten valmistettu vaihtokori ja/tai toiminnallinen kokonaisuus, jota käsitellään ja kuljetetaan vaihtolavalaitteistolla varustetulla kalustoautolla (Pelastusajoneuvojen yleisopas 2010).

Letkuauto on lähinnä paloletkujen kuljettamiseen ja selvittämiseen tarkoitettu pelastusauto (Pelastusajoneuvojen yleisopas 2010).

Tilannepaikan johtaja

on pelastustoimintaa onnettomuuskohteessa johtava henkilö (Pelastustoimen toimintavalmiuden suunniteluohje 2012, 4).

Pelastustoiminnan muodostelma

yksikkö, pelastusryhmä, pelastusjoukkue, pelastuskomppania ja pelastusyhdistys. Pelastustoiminnan muodostelmalla on aina johtaja, joka on ensisijaisesti ennalta määrätty, pelastustoiminnan johtajan määräämä tai onnettomuuspaikalle ensimmäisenä saapuneen muodostelman jäsenten yhteisesti sopima henkilö (Pelastustoimen toimintavalmiuden suunniteluohje 2012, 4).

Pelastusryhmä

koostuu johtajasta, vähintään kolmesta ja enintään seitsemästä henkilöstä sekä tehtävän mukaisista ajoneuvoista ja kalustosta. (Pelastustoimen toimintavalmiuden suunniteluohje 2012, 5).

Ulkoinen pelastussuunnitelma

Ulkoisella pelastussuunnitelmalla tarkoitetaan pelastuslaitoksen yhteistyössä toiminnanharjoittajan kanssa laatimaa pelastussuunnitelmaa, jossa on otettu huomioon kohteena olevan a) tuotantolaitoksen, ratapihan ja satama-alueen turvallisuusselvitys ja sisäinen pelastussuunnitelma; b) kaivannaisjätteen jätealueen sisäinen pelastussuunnitelma ja toimintaperiaateasiakirja tai c) ydinlaitoksen valmiussuunnitelma. (Pelastustoimen käsitteet 2016, 11).

Sisääntulokohta

Sisääntulokohta on pelastustoiminnan johtajan määräämä tai ennalta sovittu maantieteellinen paikka, se voi olla myös aikaan sidottu: pelastustoiminnan

muodostelmat ilmoittautuvat johdolle joko aikaan tai paikkaan sidotussa sisäntulokohdassa.

- jonka kautta onnettomuuskohtetta lähestytään
- jonka saavutettuaan saapuvat pelastustoiminnan muodostelmat viimeistään ilmoittautuvat
- johon pelastustoiminnan muodostelmat pysähtyvät ja jatkavat vasta saatuaan käskyn
- josta voi olla järjestetty opastus (esim. lento-onnettomuudet)
- jossa pelastustoiminnan muodostelmia voidaan organisoida ja ohjeistaa dokumentein tms.
- sisäntulokohtia voi olla useita riippuen valitusta onnettomuudentorjuntaan liittyvästä strategiasta/taktiikasta tai muodostelmien lähestymissuuntien mukaan. (Pelastuslaitosten kumppanuusverkoston 2016, 11.)

Seveso-laitos

on Seveso II -direktiivin tarkoittama suuronnettomuusvaaran aiheuttava laitos (tehdas tai varasto). Suuronnettomuuden vaaran näillä laitoksilla aiheuttaa vaarallisten aineiden käsittely. Laitokset luokitellaan käytettyjen aineiden määrän ja laadun mukaisesti kasvavan riskitason mukaan ilmoitusvelvollisiksi laitoksiksi, toimintaperiaateasiakirjalaitoksiksi ja turvallisuusselvityslaitoksiksi. (Kaakkois-Suomen ympäristökeskus 2004, 9.)

Domino vaikutus

Dominovaikutus eli onnettomuuden leviäminen on tapahtumaketju, jossa tuotantolaitoksessa sattuvan onnettomuuden seuraukset aiheuttavat uuden onnettomuuden lähellä olevassa tuotantolaitoksessa, johtaen suuronnettomuuteen. Tapahtumaketju voi syntyä lämmön, räjähdyspaineen tai heitteiden vaikutuksesta. Dominovaikutukseksi ei katsota myrkyllisten kemikaalien leviämistä toisen tuotantolaitoksen alueelle. (Kemikaalilaitosten yhteistoiminta onnettomuuksien ehkäisemiseksi, 3.)

Bleve

Kiehuvan nesteen laajeneva kaasu räjähdys (Boiling liquid expanding vapour explosion). Kun nestettä lämmitetään, neste höyrystyy ja tilavuus kasvaa. Mikäli säiliö kestää, paine kasvaa säiliössä. Jossain pisteessä säiliö repeää ja

kaasu vapautuu. Kun kyseessä on palava neste, vapautuva höyry syttyy ilmassa olevan hapen vaikutuksesta palamaan ja vapautuvasta kaasusta muodostuu voimakkaasti laajeneva palava kaasupallo. (SFPE Handbook of Fire Protection Engineerin 2002, 1482.)

- PFOA Perfluoro-oktaanihappo (2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-pentadekafloorioktaanihappo) (Korkki 2016, 5).
- PFOS Perfluoro-oktaanisulfonaatti (1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-heptadekafloorioktaanisulfonaatti) (Korkki 2016, 5).

ERICA on valtakunnallinen ja kaikkien hätäkeskustoimintaan osallistuvien toimijoiden yhteiskäytössä oleva tietojärjestelmä. Hätäkeskuslaitoksen lisäksi ERICAA käyttävät poliisi, pelastustoimi sekä sosiaali- ja terveystoimi jouto- ja tilannekeskuksissaan sekä tietojen ylläpitotoimissa. (www.112.fi)

Bulkki Irtolastitavara (Tepa termipankki)

Regressiomalli

Regressioanalyysi on tilastollinen menetelmä, jossa jonkin, selitettävän muuttujan tilastollista riippuvuutta joistakin toisista, selittävästä muuttujista pyritään mallintamaan Regressiomalliksi kutsutulla tilastollisella mallilla. (Mellin 2006, 240)

Storz-liitin

Storz -liittimet ovat alun perin saksalaisia paloliittimiä. Storz-liitin on nykyisin eniten käytetty liitintyyppi myös teollisuudessa ja kuljetuksissa. (www.veljekset.kulmala.fi)

1 JOHDANTO

Kymenlaakson pelastuslaitoksen alueella on useita palavien nesteiden varastointiin erikoistuneita yrityksiä. Nykyiset toimintamallit ovat vanhentuneita vedensiirrossa käytetyn kaluston ja selvitysmallien osalta. Riski suureen palavan nesteen paloon on olemassa toimialueellamme, joten ohjeet ja toimintamallit ovat tarpeen. Kymenlaakson pelastuslaitos tarjosi mahdollisuuden tutkia asiaa tarkemmin.

Tavoittemme on seuraava:

- selvittää parhaat sammutusvaihtoehdot säiliöpalossa ja tehdä toimiva operaatio-suunnitelma pelastustoiminnan johtajalle säiliöpalotilanteessa
- luoda koulutusmateriaali nestepalojen sammuttamisesta, säiliöiden rakenteesta ja kiinteistä sammutusjärjestelmistä
- tarkastella säiliöpalojen sammutuksen vaatima vesivahtoliuoksen virtaus säiliötyypeittäin
- tutkia ja luoda selvitysmallit nestepalojen sammuttamiseen
- tarkastella tehtävälle hälytetyn muodostelman rakentumista Kymenlaakson pelastuslaitoksen alueella suurissa nestepaloissa

Opinnäytetyö rajataan koskemaan Kymenlaakson pelastuslaitoksen resursseilla tapahtuvaa nestepalojen sammutusta. Taktiikat suunnitellaan ainoastaan Kymenlaakson pelastuslaitoksen riskeillä ja resursseilla.

Valmis työ tuo säiliöpalojen sammutukseen selkeän operatiivisen ohjeistuksen ja tietoperustan. Työn julkaisun jälkeen ja koulutuskierron päätyttyä Kymenlaakson pelastuslaitoksella on nykyistä parempi toimintakyky nestepalojen sammutukseen.

2 TAUSTATIETOA

2.1 Nestepalot Suomessa

Suomessa suuret nestepalot ovat todella harvinaisia. Vuonna 1948 Nesteen Naantalin jalostamolla syttyi tulipalo, jossa tuhoutui yhteensä 600 000 litraa bensiiniä ja spriiitä. Palon aiheuttamat tappiot olivat 5 miljoonaa markkaa. Tämä palo sammutettiin tukahduttamalla palo hiekalla. (Turun Sanomat 1948.)

Vuonna 1964 Mäntyharjulla katkesi junan vetämä vaunuletka. Veturista irronnut osa kaatui ratapenkalle, ja kipinät sytyttivät lämmitysöljylastissa olleita vaunuja. Kaikkiaan 13 vaunua oli tulipalon vaikutuksen alaisina. Paloon osallistuneissa säiliöissä oli rahtikirjojen mukaan 218,2 tonnia bensiiniä, kaasuöljyä, polttoöljyä ja lämmitysöljyä. (Palontorjunta 4/1964.)

Vuonna 1973 Esson varastolla Ykspihlajassa paloi likimain koko Esson Kokkolan varasto. Palossa tuhoutui varaston neljästätoista säiliöstä kymmenen. Polttoainetta paloi 7-8 miljoonaa litraa. Kokkolassa ei ollut varauduttu vastaavaan paloon, ja Kokkolaan kuljetettiin vaahtonesteitä ympäri maata lentokoneella ja maantiekuljetuksin. (Palontorjunta 6/1973.)

Vuonna 1989 Haminassa Poitsilan ratapihalla syttyi ratapihalle saapuneen junan alla palo. Palo levisi aluksi yhteen säiliövaunuun. Juna kuljetti Absorbent A-4 -liuotinseosta. Palon seurauksena tuli levisi letkassa etupuolella olleeseen vaunuun sekä viereisellä radalla olleen junan neljään vaunuun. Syttyneen vaunun alla ollut palo oli voimakas ja lämmitti suurella teholla syttynyttä vaunua. Vaunussa ollut liuotin höyrystyi, vaunussa ei ollut ylipaineventtiiliä. Vaunun luukun tiiviste petti, ja paine pääsi purkautumaan luukunraosta. Blevin riski oli tilanteessa ilmeinen, mutta onneksi siltä vältyttiin. Palossa tuhoutui Absorbent A-4 -liuotinta 40 tonnia sekä viereisellä radalla olleessa junassa ollutta Pyrolyysihartsia E-3 liuotinta vajaa 10 tonnia. Lisäksi palossa tuhoutui paloalueen ajojohtimet sekä paloalueella olleet kiskot. (Oikeusministeriön tutkintaselostus tapahtuneesta.)

Vuonna 1989 Nesteen Sköldvikin jalostamalla Porvoossa oli suurin Suomessa sattunut säiliöpalo. Säiliön tilavuus oli 30 000 m³, ja syttymishetkellä säiliössä oli 22 000 m³ isoheksaania. Säiliön sammutukseen osallistui 64 yksikköä ja 509 miestä. Säiliötä jäähdytet-

tiin 60 000 - 80 000 litralla vettä minuutissa. Tilanteen aikana käytettiin noin 200 m³ vaah-tonesteitä, ja tuhot palosta olivat noin 30 miljoonaa markkaa. (Palotorjunta 3/1989.)

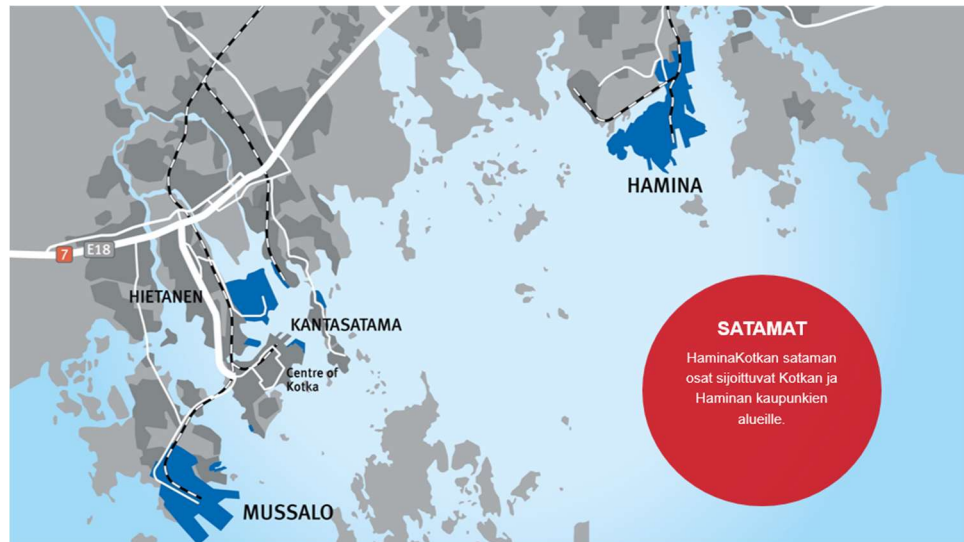
Vuonna 1999 Vainikkalan ratapihalla suistui raakaöljyä kuljettaneen junan säiliövaunuja raiteilta, minkä seurauksena osa junan säiliöistä syttyi palamaan. Tilanteessa paloi 200 m³ öljyä. Lisäksi maahan valui noin 100 m³ öljyä. (Pelastustieto 2/2000.)

Vuonna 2007 Neste Oilin varastolla Naantalissa syttyi huoltotöiden yhteydessä tulipalo varastosäiliössä. Palo levisi viereiseen säiliöön ja aiheutti molemmille säiliöille huomatta-via vahinkoja. (Pelastustieto 10/2007.)

2.2 Kymenlaakson pelastustuonimen alueen onnettomuusriskit

Kymenlaakson pelastuslaitos toiminta-alueena on noin 5500 km² kokoinen alue, jossa on useita suuria ja vilkkaita maanteitä, rautateitä ja useita satamia. Pelastuslaitoksen alue rajautuu etelässä mereen, pohjoisessa Etelä-Savon pelastuslaitoksen alueeseen, idässä Etelä-Karjalan ja lännessä Itä-Uudenmaan pelastuslaitokseen. Kymenlaakson alueella asuu noin 200 000 asukasta.

Kymenlaakson pelastuslaitoksen alueella sijaitsee 25 turvallisuusselvityslaitosta. Kotka-Hamina satama on Suomen suurin yleissatama. Kotkan ja Haminan satamien yhteenlasket-tu palavien nesteiden varastokapasiteetti on noin 530 000 m³. Vuonna 2017 satamien kaut-ta kuljetettiin yli neljä miljoonaa tonnia nestebulkkia (HaminaKotka satama). Satamasta sisämaahan kuljetus tapahtuu raide- ja maantiekuljetuksena. Alla oleva kuva 1 kuvaa ete-läisen alueen satamia yleiskuvana. kuvassa 2 ilmakeuva Haminan satamasta ja kuvassa 3 ilmakeuva Mussalon satamasta.



Kuva 1. HaminaKotka satama

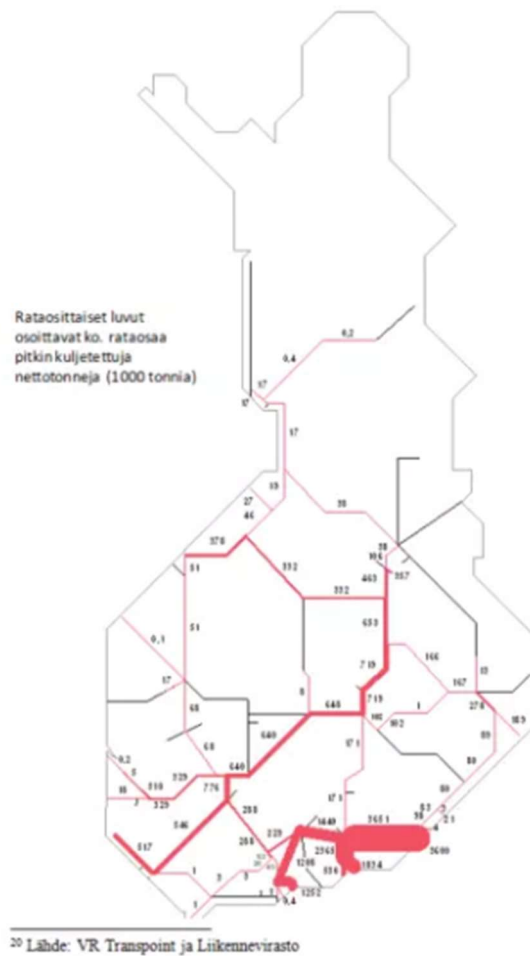


Kuva 2. Haminan satama



Kuva 3. Mussalon satama

Raideliikenne kulkee Kotkasta ja Haminasta Kouvolaan, josta radat haarautuvat Lahteen, Mikkeliin ja Lappeenrantaan. Suurin osa Kymenlaakson kautta kulkevasta vaarallisten aineiden rautatiekuljetuksista kohdentuu Venäjälle menevään ja tulevaan vaarallisten aineiden raideliikenteeseen. Kuva 4 kuvaa vaarallisten aineiden kuljetusmääriä Suomen rautateilla. Kuvasta voidaan havaita Kotka-Kouvola radan olevan raskaasti liikennöity vaarallisilla aineilla.

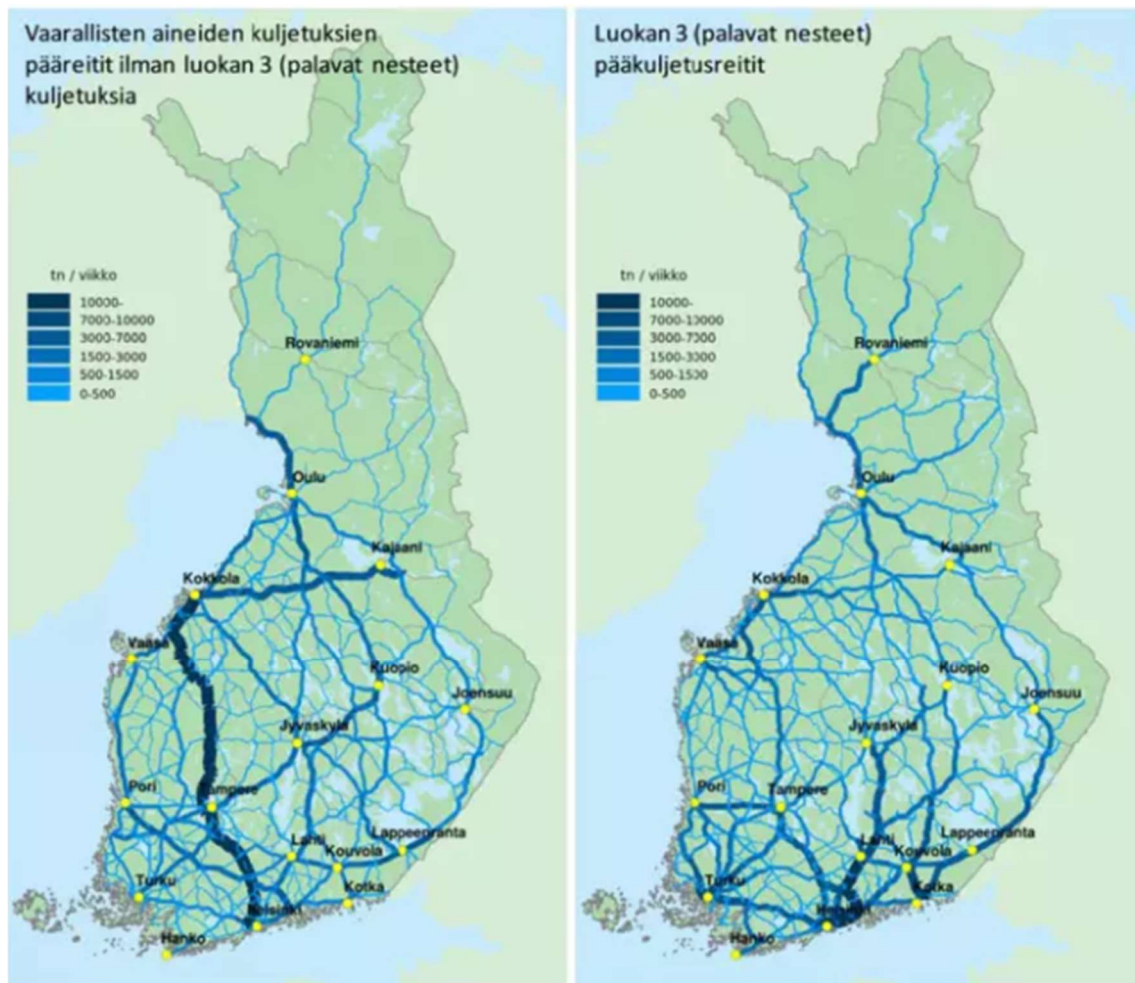


Kuva 4. Vaarallisten aineiden kuljetukset rautateillä 2014 (Liikennevirasto 2015)

Maantiiliikenne kulkee VT7:ää pitkin itä-länsisuunnassa, ja pohjoiseen maantiiliikenne kulkee VT15:tä pitkin Kouvolaan. Kouvolaan maantiiliikenne jatkaa VT6:ta pitkin itään tai länteen. Maantiiliikenne pohjoiseen kulkee VT15:n ja tie 46:n kautta. Taulukko 1 ja kuva 5 esittää vaarallisten aineiden maantiekuljetuksia Suomessa.

Taulukko 1 Vaarallisten aineiden tiekuljetusten onnettomuuksien määrä vuosina 2013-2018 maakunnittain (Traficom)

Maakunta	2013 - 2018 yhteensä	Osuus
Uusimaa	12	8 %
Varsinais-Suomi	17	11 %
Satakunta	15	10 %
Kanta-Häme	2	1 %
Pirkanmaa	15	10 %
Päijät-Häme	5	3 %
Kymenlaakso	12	8 %
Etelä-Karjala	5	3 %
Etelä-Savo	5	3 %
Pohjois-Savo	6	4 %
Pohjois-Karjala	4	3 %
Keski-Suomi	13	9 %
Etelä-Pohjanmaa	7	5 %
Pohjanmaa	4	3 %
Keski-Pohjanmaa	2	1 %
Pohjois-Pohjanmaa	15	10 %
Kainuu	3	2 %
Lappi	10	7 %
Yhteensä	152	100 %



Kuva 5. Vaarallisten aineiden kuljetusreitit maanteillä 2012 (Traficom)

2.3 Riskikohde

Riskikohde on sellainen kohde, jossa harjoitettu toiminta tai olosuhteet aiheuttavat henkilö- tai paloturvallisuudelle tai ympäristölle tavanomaista suuremman vaaran tai kohde on keskeinen yhteiskunnan kriittisten toimintojen turvaamisen kannalta.

Riskikohteiden arvioinnissa määritetään onnettomuusriski, joka muodostuu onnettomuuden todennäköisyydestä ja onnettomuuden mahdollisista seurausvaikutuksista.

Onnettomuusriskin arvioinnin perusteella valitaan riskienhallintakeinot, joita ovat ensisijaisesti riskin poistaminen, riskin pienentäminen tai onnettomuuksien seurausvaikutusten pienentäminen. Riskikohteissa onnettomuuksien omatoiminen ehkäiseminen ja valvonta sekä vahinkojen rajoittaminen ovat keskeisiä toimenpiteitä. (Pelastustoimen toimintavalmiuden suunniteluohje 2012, 8.)

Riskin hallitseminen on tarkoituksenmukaista suunnitella siten, että myös riskikohteissa palvelutasopäätöksen mukaisella pelastustoiminnan toimintavalmiudella kyetään tilanne saamaan hallintaan. Onnettomuuksien estämiseksi ja vahinkojen rajoittamiseksi tehdyt ennaltaehkäisevät toimenpiteet ja omatoiminen varautuminen ovat keskeisiä. (Pelastustoimen toimintavalmiuden suunniteluohje 2012, 8.)

Regressiomalli ei tunnista kaikkien onnettomuustyyppien aiheuttamia uhkia. Tämän vuoksi valmiutta suunniteltaessa on erikseen analysoitava niiden onnettomuustyyppien tarpeet, jotka vaativat erityisjärjestelyitä. (Pelastustoimen toimintavalmiuden suunniteluohje 2012, 8.)

Kymenlaakson pelastuslaitos varautuu seuraaviin onnettomuuksiin toimintaohjeiden, henkilöstön koulutuksen ja erikoiskalustolla seuraaviin pelastus- ja vahingontorjunta tehtäviin (Pelastustoimen palvelutasopäätös 2020-2024):

- vesipelastus
- kemikaalintorjunta
- palavien nesteiden palot
- korkealta ja maanalaisista tiloista pelastamisen
- maastopelastaminen sekä
- raskaan raivauskaluston tarpeet maantie- ja rautatieonnettomuuksissa
- öljyntorjunta merellä ja sisävesistöissä sekä maalla.

Pelastustoimen toimintavalmiuden suunnitteluohjeen mukaan pelastustoiminnan voimavarat mitoitetaan siten, että niillä pystytään toimimaan tehokkaasti onnettomuustilanteissa. Uhkien arviointi sovitetaan yhteen valvontasuunnitelman kanssa soveltuvin osin.

Uhkien arviointi muodostuu kolmesta osasta:

- Pelastustoiminnan toimintavalmiuden määrittämiseksi pelastustoimen alueet jaetaan riskiluokkiin käyttäen regressiomallia ja riskiluokan määrittäviä onnettomuuksia.
- Tunnistetaan sellaiset onnettomuustyypit sekä yksittäiset riskikohteet, tapahtumat ja yleisötilaisuudet, joiden varalta tarvitaan erityisiä järjestelyjä.
- Seurataan onnettomuusuhkien, onnettomuuksien lukumäärän ja syiden kehitystä sekä tehdään sen perusteella johtopäätöksiä tarvittavista toimenpiteistä.

Pohja-aineistona on valtakunnallinen tilastoaineisto, jonka perusteella alueen riskialueet määritetään.

Kymenlaakson alueen erikoiskohteina seuraavat:

- valvontasuunnitelman mukaiset kohteet, joissa tarkastusväli on yhdestä kolmeen vuoteen
- vaarallisia kemikaaleja käyttävät tai varastoivat laitokset
- kemikaaliratapihat
- kemikaalisatamat
- lentokentät

Kymenlaakson pelastustoimen alueen ulkopuolisina riskeinä ovat:

- Loviisan voimalaitos
- alusöljyvahinko merellä

Hätäkeskuksen hälytysohjeissa (hälytysvasteissa) otetaan huomioon kohteen eristysvaatimukset. (Pelastustoimen palvelutasopäätös 2020-2024)

Euroopan unionin neuvosto on päätelmissään 30.11.2009 todennut, että jäsenmaiden tulee määritellä kansallisesti merkittävät onnettomuusuhat. Kansallisesti merkittäviksi onnettomuusuhkiksi katsotaan onnettomuusuhat, jotka toteutuessaan aiheuttavat vakavat tai erit-

täin vakavat seuraukset ihmisille, ympäristölle tai omaisuudelle. Taulukossa nro 2 Kymenlaakson alueella olevat kansallisesti merkittävät onnettomuusuhat.

Taulukko 2 kymenlaakson riskinarvio 2019

KYMENLAAKSON ALUEELLINEN RISKIARVIO 2018	
LAAJASTI YHTEISKUNTAAN VAIKUTTAVAT TAPAHTUMAT	
ENERGIANSÄÄNNIN VAKAVAT HÄIRIÖT	
KYBERTOIMINTAYMPÄRISTÖN RISKIT	
MAAILMANLAAJUUSESTI TAI SUOMEN LÄHIALUEELLA ESINTYVÄT VAKAVAT TARTTUVAUVAUTAUDET IHMISSIN	
SUOMEEN SUORAAN TAI VÄLILLISESTI KOHDISTUVA TURVALLISUUSPOLIITTINEN KRIISI	
VAKAVA YDINVOIMALAITOSONNETTOMUUS SUOMESSA TAI SUOMEN LÄHIALUEILLA	
AURINKOMYRSKYN 100-VUODEN RISKIKENÄÄRIÖ	
VAKAVAT ALUEELLISET TAPAHTUMAT	Kymenlaakson riskitaso suhteessa Suomen riskitasoon
NOPEAKKOSTI SYNTYVÄ LAAJA TUULVA ASUTUSKESKUSSESSÄ TAI SEN LÄHEISYYDESSÄ	korkea
VAKAVA KEMIKAALI- TAI RÄJÄHOYSONNETTOMUUS VAARALLISIA AINEITA KÄSITTELEVÄSSÄ TEOLLISUUSLAITOKSESSA	korkea
SUURI MERELLINEN ONNETTOMUUS	korkea
VAKAVA LENTOAIKENTEEN ONNETTOMUUS	matala
VAKAVA RAIDELIIKENTEEN ONNETTOMUUS	korkea
VAKAVA MAANTIETLIIKENTEEN ONNETTOMUUS	korkea
USEAMPI YHTÄIKÄINEN LAAJA METSÄPALO	matala
SUURI, LAAJASTI YHTEISKUNTAAN VAIKUTTAVA RAKENNUSPALO KRIITTISEN INFRASTRUKTUURIN KOHTEESSA	keskitaso
LAAJA TAI PITKÄKESTOINEN VEDENAIKELUHÄIRIÖ	keskitaso
MAA- TAI VESIALUEEN LAAJA-ALAINEN SAASTUMINEN	keskitaso
LAAJALLE ALUEELLE ULOTTUVA TAI VIMYRSKY, JÖHÖN LIITTYVÄ PITKÄ PAKKASIAIKO	keskitaso
UKKOSMYRSKY (RAJUILMA)	keskitaso
KYMENLAAKSOON KOHDISTUVA TERRORISTINEN TEKO TAI TERRORISMI	matala
VAKAVA HENKILÖN KOHDENNETTU VÄKIVALLANTEKO	matala
ISOJEN VÄKIJOUKKOJEN VÄKIVALLAN LIIKKOHINTA	matala
LAAJAMITTAINEN MAAHANTULO	keskitaso

Kymenlaakson alueella on seuraavat suuronnettomuusriskit.

Suuronnettomuusriskiluettelo

	kunta	kohde/paikka	onnettomuustyyppi	pelastusorg. laajuus, huom.
1	Hamina	kemikaaliratapiha	palavien nestevaunujen palo	kompp., samm.vesi ja vaahto
2	Kotka	kemikaaliratapiha	palavien nestevaunujen palo	kompp., samm.vesi ja vaahto
3	Kouvola	kemikaaliratapiha	palavien nestevaunujen palo	kompp., samm.vesi ja vaahto
4	Hamina	Satam. Kemiateoll.	tulipalo/kemikaalivuoto	kompp., samm.vesi ja vaahto
5	Kotka	Mussalon nestesatama	tulipalo/kemikaalivuoto	kompp., samm.vesi ja vaahto
6	Kymenlaakson alue	Valtatiet	rekan ja linja-auton (50 hlö) kolari	2 pelastusjoukkuetta
7	Kymenlaakson alue	Sevesolaitokset	tulipalo, jossa vapautuu vaarallisia a	pelastuskomppania
8	Kymenlaakson alue	Suuret teollisuus- ja varastot	tulipalot	kompp., samm.vesi
9	Kymenlaakson alue	Hoit- ja huoltolaitos	tulipalo	kompp., samm.vesi
10	Kymenlaakson alue	Rautatie / henkilöliikenne	junan suistuminen / törmäys toiseen	pelastuskomppania, lääk. pelastust.
11	Kymenlaakson alue	Ilmaliikenne	matkustajakoneen maanasyöksy	pelastuskomppania, lääk. pelastust.
16	Suomenlahti	merialue	alusöljyvahinko 30 000 tn	pelastuskomppania

Suuronnettomuudella tarkoitetaan onnettomuutta, jota on kuolleiden tai loukkaantuneiden taikka ympäristöön tai omaisuuteen kohdistuneiden vahinkojen määrän taikka onnettomuuden laadun perusteella pidettävä erityisen vakavana (Turvallisuuustutkintalaki 525/2011). Kymenlaakson alueella merkittävin suuronnettomuusriski on kemikaaliratapihalla tapahtuva palavan nesteen vaunupalo, nestesatamassa tapahtuva tulipalo tai tapahtuva kemikaalivuoto. Näiden riskien pohjalta on Kymenlaakson pelastuslaitoksella varauduttava vaahtoiskujen tekemiseen ja suurien vesimäärien siirtämiseen.

3 PALAVIEN NESTEIDEN KÄSITTELYÄ JA VARASTOINTIA OHJAAVAT LAIT JA ASETUKSET

3.1 Pelastustoimea ohjaavat lait ja asetukset

Pelastuslaki (PeL 397/2011) on pelastustoimen toimintaa ohjaava ylin laki. Pelastuslaissa on myös yksilöille ja yhteisöille määritelty vastuita ja velvollisuuksia. Tässä opinnäytetyössä pelastuslakia, muita lakeja, asetuksia ja normeja tarkastellaan nestepalon sammuttamisen näkökulmasta. Opinnäytetyössä sivutaan teoriatasolla toiminnan harjoittajien velvollisuuksia nestepalon sammutukseen valmistautumisessa, mutta työn pääpaino on onnettomuustilanteessa pelastustoimen suoritteissa.

Pelastuslain 27 § mukaan pelastustoimen tulee vastata pelastustoimintaan kuuluvista tehtävistä. Pelastustoimintaan kuuluviksi tehtäviksi on pelastuslaissa kirjattu seuraavaa:

Alueen pelastustoimi vastaa pelastustoimen palvelutasosta ja pelastuslaitoksen toiminnan asianmukaisesta järjestämisestä sekä muista tässä laissa sille säädettyistä tehtävistä.

Pelastuslaitoksen tulee huolehtia alueellaan

1) pelastustoimelle kuuluvasta ohjauksesta, neuvonnasta ja turvallisuusviestinnästä, jonka tavoitteena on tulipalojen ja muiden onnettomuuksien ehkäiseminen ja varautuminen onnettomuuksien torjuntaan sekä asianmukainen toiminta onnettomuus- ja vaaratilanteissa ja onnettomuuksien seurausten rajoittamisessa

2) pelastustoimen valvontatehtävistä

3) väestön varoittamisesta vaara- ja onnettomuustilanteessa sekä siihen tarvittavasta hälytysjärjestelmästä

4) pelastustoimintaan kuuluvista tehtävistä.

Edellä 2 momentissa säädetyn lisäksi pelastuslaitos

1) voi suorittaa ensihoitopalveluun kuuluvia tehtäviä, jos ensihoitopalvelun järjestämisestä yhteistoiminnassa alueen pelastustoimen ja sairaanhoitopiirin kuntayhtymän kesken on sovittu terveydenhuoltolain (1326/2010) 39 §:n 2 momentin perusteella

2) tukee pelastustoimen alueeseen kuuluvan kunnan valmiussuunnittelua, jos siitä on kunnan kanssa sovittu

3) huolehtii muistakin muussa laissa alueen pelastustoimelle säädetyistä tehtävistä.

Alueen pelastustoimen ja pelastuslaitoksen tehtävistä voidaan antaa tarkempia säännöksiä valtioneuvoston asetuksella.

Pelastuslain 28 § pelastustoimen palvelutason tulee vastata paikallisia tarpeita ja onnettomuusuhkia. Näiden lakipykälien pohjalta Kymenlaakson pelastuslaitoksella on velvollisuus varautua nestesäiliöiden paloihin alueellaan. Mikäli pelastuslaitoksen alueella ei sijaitse palavien nesteiden varastoja, ei tällaisilla pelastuslaitoksilla ole velvoitetta varautua varastojen sammuttamiseen. Valtionneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista (VNa 852/2012) määrittelee luvussa kuusi onnettomuuksiin varautumiseen sääntöjä. Luvussa määritellään perusta ohjeille, joita SFS standardit täsmentävät. VNa 852/2012 99 § on mainittu, että Turvallisuus- ja kemikaalivirasto voi yksittäistapauksissa myöntää helpotuksia asetuksen määrättyihin kohtiin.

Pelastuslaissa on määritelty toiminnan harjoittajalle velvollisuuksia torjua ja varautua onnettomuustilanteisiin.

Rakennuksen omistajan ja haltijan sekä toiminnanharjoittajan on osaltaan:

1) ehkäistävä tulipalojen syttymistä ja muiden vaaratilanteiden syntymistä;

2) varauduttava henkilöiden, omaisuuden ja ympäristön suojaamiseen vaaratilanteissa;

3) varauduttava tulipalojen sammuttamiseen ja muihin sellaisiin pelastustoimenpiteisiin, joihin ne omatoimisesti kykenevät;

4) ryhdyttävä toimenpiteisiin poistumisen turvaamiseksi tulipaloissa ja muissa vaaratilanteissa sekä toimenpiteisiin pelastustoiminnan helpottamiseksi.

Edellä 1 momentissa säädetty koskee myös muualla kuin rakennuksessa harjoitettavaa toimintaa sekä yleisötilaisuuksia. (Pelastuslaki379/2011, 14 §.)

Toiminnan harjoittajalle pelastuslaissa määrättyihin velvollisuuksiin tarkempaa ohjeistusta on määritelty SFS standardeissa, joista kerrotaan tässä työssä kappaleessa suunnittelua ohjaavat säännökset.

Pelastuslain 48 § mukaan pelastuslaitoksen on laadittava ulkoinen pelastussuunnitelma erityistä vaaraa aiheuttaviin kohteisiin. Tällaisia kohteita ovat:

- 1) ydinenergialain (990/1987) 3 §:n 1 momentin 5 kohdassa tarkoitettu ydinlaitos
 - 2) vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta annetun lain (390/2005) 30 §:n 1 momentissa tai 62 §:n 1 momentissa tarkoitettu tuotantolaitos, josta toiminnanharjoittajan tulee laatia turvallisuusselvitys
 - 3) ympäristönsuojelulain (527/2014) 112 §:n 1 momentin 5 kohdassa tarkoitettu suuronnettomuuden vaaraa aiheuttava kaivannaisjätteen jätealue (16.12.2016/1171)
 - 4) vaarallisten aineiden kuljetuksesta rautatiellä annetun valtioneuvoston asetuksen (195/2002) 32 §:n mukainen järjestelyratapiha
 - 5) vaarallisten aineiden kuljetuksesta ja tilapäisestä säilytyksestä satama-alueella annetun valtioneuvoston asetuksen (251/2005) 8 §:n mukainen satama-alue.
- Satama alue, jossa käsitellään vuodessa yli 10 000 tonnia vaarallista ainetta, on velvollinen laatimaan turvallisuusselvityksen ja on tätä kautta ulkoisen pelastussuunnitelman edellyttämä kohde.

Ulkoisen pelastussuunnitelman tarkoitus on seuraava:

"Ulkoinen pelastussuunnitelma on pelastuslaitoksen laatima suunnitelma pelastuslain 48 §:n 1 momentissa mainituilla alueilla tapahtuvien suuronnettomuuksien torjumiseksi ja vahinkojen minimoimiseksi.

Ulkoinen pelastussuunnitelma on pelastustoimen työkalu johtamiseen ja pelastustoimintaan. Ulkoinen pelastussuunnitelma on pelastuslaitoksen toimintaa ohjaava asiakirja, josta löytyvät nopeasti kaikki oleelliset asiat, joilla on valmistauduttu em. alueiden/kohteiden suuronnettomuusvaaraan ja joita tarvitaan pelastustoimintaan. Ulkoinen pelastussuunnitelma on tärkeä tiedonlähde myös muille pelastustoimintaan osallistuville tahoille. " (Sisäministeriö 2016, 15.)

Ulkoista pelastussuunnitelmaa laatiessa pelastustoimen tulee yhteensovittaa omat resurssit kohteiden erityisvaatimusten kanssa. Samalla pelastuslaitoksen tulee tarkastella, onko kohteessa tehdyt pelastamista ja vahinkojen rajoittamista avustavat toimet yhteensopivia pelastuslaitoksen toimintatapojen ja kaluston kanssa. Samalla pelastustoimen tulee arvioida, onko kalusto- ja miehistöresurssit riittävät.

3.2 Palavien nesteiden varastoinnin ja käsitellyn suunnittelua ohjaavat säädökset

Tukes on julkaissut vuonna 2015 oppaan vaarallisten kemikaalien varastoinnista. Tätä opasta voidaan pitää suunnittelua ohjaavana oppaana Suomessa. Opas pohjautuu SFS standardeihin, ja siihen on kirjattu auki ohjeita, kuinka palavien nesteiden säiliöt tulisi toteuttaa. SFS opas ei ole suoranainen määräys, vaan suositus, kuinka asiat tulisi tehdä. Pelastusviranomaisen edellyttää standardien mukaista suunnittelua.

Oppaassa on määritelty raja-arvoja laitoksen sijoitukselle, säiliöiden rakenteille, suojaetäisyyksille, muille vaarallisten kemikaalien varastointiin liittyville määritelmille ja etäisyyksille. Ohjeessa nestepalojen sammuttamisen kannalta merkittäviä seikkoja ovat sijoitukseen, suojaetäisyyksiin, ajoreitteihin ja säiliön rakenteisiin annetut ohjeet. Tarkemmat määräykset nestesatamista ja öljysäiliöistä on annettu SFS standardeissa. Merkittävimmät palotorjuntaan ja palonsammutukseen ohjeita antavat standardit tässä opinnäytetyössä ovat SFS 3355-Palavien nesteiden käsittely satama-alueella ja SFS 3357-Palavien nestemäisten kemikaalien varaston sammutus- ja palotorjuntakalusto.

SFS 3355:ssä on määritelty säiliöiden ja purkupaikkoihin kulkevat reitit ja niiden kestävyudet. Tiestön tulee kestää $0,23 \text{ MN/m}^2$ pintakuorma. Putkikanaalien alituskorkeus on kuusi metriä tai enemmän. Lisäksi on määritelty, että lähestymisreittejä säiliölle tulee olla kaksi erillistä. Samassa standardissa on määritelty allastuksen tilavuus laiturilla ja säiliöpaikalla. Palon sammuttamisen kannalta merkittävää ohjeessa on mitoitusohje alusten ja

laiturialueen vaahtosammutuksesta. Lähtökohta on, että säiliöaluksen kannelle tulee sataman omien vaahtotykkiä avulla pystyä tuottamaan $10\text{l/m}^2/\text{min}$ vesi-vaahtonestevirta 20 tai 30 minuuttia. Lisäksi laivan purkupaikka tulee varustaa vesitykeillä, joilla voidaan jäähdyttää/sammuttaa palo laivan kannella. SFS 3355 määrittää myös, että sataman vaahtonestelinjassa tulee olla vähintään kaksi 3" ottoliitintä käsivaahdotusta varten. Palokunnan vaahtosyöttöä varten on oltava vähintään kaksi 3" syöttöliitintä.

Suurten öljysäiliöiden turvallisuudesta on määritelty SFS 3357 standardissa. Kappaleessa 4 on määritelty, että palavan nesteen varastoalueella tulee olla kiinteä sammutusvesilinjasto. Mikäli varastoitava palavien nesteiden määrä on yli 5000 m^3 , tulee varasto varustaa tehokkaalla, paineellisella tai välittömästi paineistettavalla sammutusvesijärjestelmällä. Mikäli palavat nesteet ovat kategorialla 1, tulee sammutusvesijärjestelmä rakentaa jo pienemmissä varastomäärissä. SFS 3357 määrittelee luvussa 7.4 suojavaahdotuksen määrävaatimukset palavien nesteiden varastoille. Standardissa on taulukko, jonka pohjalta tulee mitoittaa vaahtonesteen määrä suojavaahdotukseen.

Kappale 8 käsittelee säiliöiden ja vallitilojen sammutuslaitteiden määräksiä. Standardissa on määritelty vaahtoliuosvirtaaman määrä $\text{l/m}^2/\text{min}$ ja aika, joka vaahtoliuosta tulee pystyä tuottamaan. Tämän perusteella voidaan laskea, paljon varastoalueella tulee olla käytettävissä vaahtonestettä. Vaahtonesteen määrä tulee laskea suurimman säiliön pinta-alan mukaan.

Kappaleessa 9 määritellään vesivalelun tarve säiliöiden jäähdytykseen. Lähtökohtaisesti voidaan todeta, että mikäli säiliön suojaetäisyyden sisällä on rakennus tai toinen säiliö, käytetään säiliön vesivalelua suojelemaan rakennusta. Vesivalelua ei tarvitse sijoittaa koko säiliön alueelle, ainoastaan sille alueelle, jossa suunnassa suojeltava säiliö sijaitsee.

Sammutusvesien riittävyys tulee mitoittaa suunniteltaessa palavan nesteen varastoa. Paras vaihtoehto on sijoittaa varasto ehtymättömän vesilähteen läheisyyteen (SFS 3357, 16.3.6). Mikäli ehtymätöntä vesilähdettä ei ole saatavilla, on sammutusvesisäiliö mitoitettava kahden tunnin käyttöä varten (SFS 3357, 16.3.7). Palovesipumppaamo tulee olla varmistettu, eli on oltava vähintään kaksi pumppua, joista molemmat tuottavat 100 % vesitarpeesta, tai kolme pumppua, joista jokainen tuottaa 50 % vesitarpeesta (SFS 3357, 16.3.4). SFS 3357

pykälä 16.3.14 mukaan palopostien etäisyys toisistaan ei kohdealueella saa ylittää 45 metriä eikä selvitysetäisyys sammutusvesiasemalta ylittää 150 m.

SFS 3357 17.7 määrittelee säiliö ja vallitilakohtaiset sammutussuunnitelman sisällön.

Kohdekortista tulee ilmetä

- ainetiedot
- säiliön ja vallitilan mitat ja tilavuudet
- säiliön ja vallitilan operointimahdollisuudet (esimerkiksi tyhjennyspumppaus ja vallitilan tyhjennys)
- säiliön ja vallitilan sammutukseen tarvittava vaahtoliuosvirta ja tarvittavan vaahdotteen kokonaismäärä
- säiliön ja viereisten säiliöiden jäähtymiseen tarvittavat virtaamat
- erityisriskien arviointi, esimerkiksi lämpöherkät aineet ja ylikiehuminen
- vallitilan ja välittömän ympäristön asemapiirros laitteineen (lämpösäteilyarviot)
- ohje sammutusjärjestelmien käyttöönotosta.

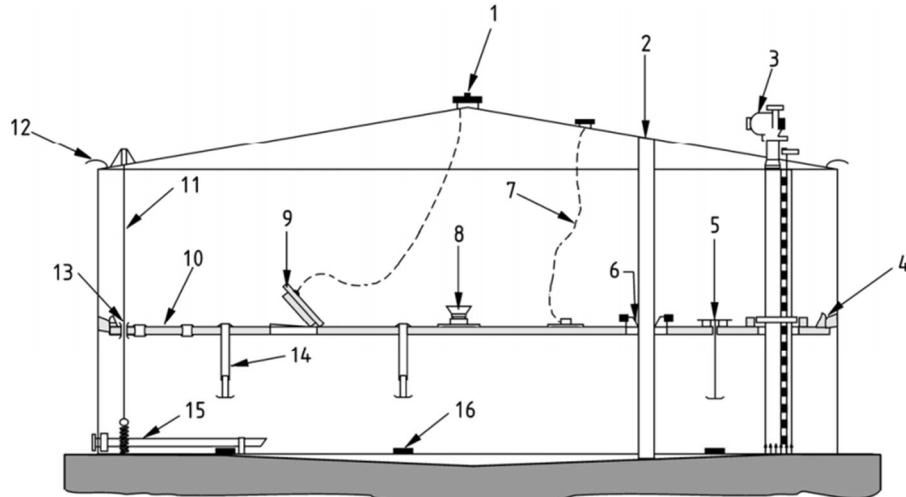
Kohdekorttiesimerkki, I Response (Liite 3)

Säiliö ja vallitilakohtaiset sammutussuunnitelmaesimerkki (Liite 4)

3.3 Esimerkinä nestesäiliön rakenne ja kiinteät järjestelmät

Nestesäiliöiden rakenteesta on annettu ohjeita SFS 14015 standardissa. (SFS 14015 2005).

Säiliöalueen suunnitteluun annetaan ohjeita SFS 3350 standardissa. SFS 3357 standardi määrittelee palonsuojaukseen ja palontorjuntaan liittyvän kaluston vaatimuksia.



Selite

1	Tarkastusaukko ja näytteenottoluukku	5	Paineentasausventtiili	9	Tarkastusaukko	13	Ohjausputki
2	Kattopilari	6	Kattopilarin tiiviste	10	Kansi	14	Tukijalat
3	Säiliömittari	7	Antistaattinen johdin	11	Kiertymisen estävä kaapeli	15	Syöttöputki
4	Reunatiiviste	8	Näytteenottosuppilo	12	Paineentasausaukko	16	Pohjan vahvistuslevy

Kuva 6. Nestesäiliön rakennekuva (SFS 14015)

Säiliöt, jotka on rakennettu SFS 14015:n mukaan, ovat terässäiliöitä. Säiliöiden ainevahvuudet vaihtelevat 5 - 40 millimetriin. Säiliöt tulee suunnitella paikalliset kuormat huomioiden, mutta standardissa on määritelty tiettyjä tiukennuksia määräyksiin. Höyrystyvää ainetta sisältävät säiliöt tulee varustaa kelluvalla katolla höyryjen ja hajujen hallintaa varten. Pelastustoimen kannalta kelluvakattoisissa säiliöissä on oleellista, onko kelluva katto suoraan kosketuksissa nesteeseen vai onko katon alla kellukkeet. Mikäli kelluvassa katossa on kellukkeet, muodostuu nestepinnan ja kelluvan katon väliin kaasutila. Säiliöissä tulee olla kelluvan katon lisäksi kiinteä katto, jonka tarkoitus on ohjata sadevedet ja lumi säiliön ulkopuolelle. Säiliön katto voi olla kannatettuna itsekantavana kartiona tai kupolina tai pilareilla tuettuna. Katto voidaan suunnitella kiinteäksi tai helposti irtoavaksi. SFS 14015:n mukaan varastosäiliöt tulee olla maadoitettu.

3.4 Palavien nesteiden palontorjuntasäädökset

Palontorjuntaa varten säiliöalueiden turvaetäisyydet tulee suunnitella siten, että palotilanteessa palon leviämisen riski on minimoitu. Säiliöiden rakenne ja materiaalit tulee suunnitella siten, että ne kestävät palosta aiheutuvan lämpörasituksen. Säiliöt tulee varustaa kiinteällä vaahtosammutusjärjestelmällä. Säiliön rakenne ja vaahton syöttötapa vaikuttaa laskennalliseen vaahton tarpeeseen. Standardeissa vaahtoliuoksen tilavuusvirta on ilmoitettu litroina pinta-alaa kohden minuutissa. Standardin mukaan toiminnan harjoittajan tulee va-

rautua 60 minuutin sammutustyöhön (SFS 3357, 12). 60 minuutin sammutukseen tulee mitoittaa vesimäärä ja vaahtomäärä (SFS 3357, 13). Standardeissa on määritelty, että vaahton kehittimet ja pumppaamot tulee sijoittaa siten, että palotilanteessa lämpö ja liekit eivät vaurioita niitä. Lisäksi sammutusvesipumppaamo tulee sijoittaa siten, että sen käyttö on mahdollista palotilanteessa (SFS 3350, 19).

Sammutusveden tuotto varastoalueella tulee mitoittaa riittämään yhden säiliön sammutusta vastaavaan tuottoon. Kotkassa ja Haminassa määrääväksi tekijäksi muodostuu suurimpien vallitilojen vaatima vesivirta. Suurimmissa vallitiloissa, joiden pinta-ala on yli 2000 m², tulee vesiliukoisille tuotteille saavuttaa 5,5l/ m²/min vaahtovirta.

4 NESTEPALOJEN SAMMUTUS

Kirjallisuutta nestepalojen sammuttamisesta löytyy suomenkielisinä oppaina muutamia. Vaahtokirjaa voidaan pitää edelleen vaahtosammutuksen osalta johtavana suomenkielisenä teoksena. Ongelmallista tässä on, että kirja on vuodelta 1993. Vaikka kirjan tekniikat ovatkin täysin toimivia, maailmalta löytyy uudempia teoksia aiheesta.

4.1 Palavien nesteiden varastosäiliöiden paloskenaariot

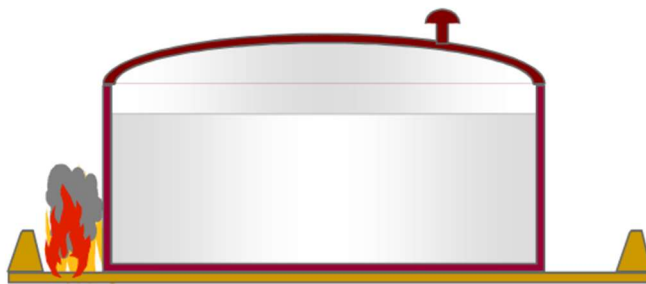
Palavien nesteiden varastosäiliöpalot jaetaan taulukon nro 3 skenaarioiden mukaan.

Taulukko 3. Säiliöpalo skenaario (Jaakko Valtonen, haastattelu 17.1.2020)

Kiinteäkattoinen säiliö	- Palo yli-/alipaineventtiilillä - Sisätilan räjähdys ja täyden pinnan palo
Kelluvakattoinen säiliö	- Reunatiivistepalo - Lammikkopalo katon päällä - Ponttooniräjähdys - Katon uppoaminen ja täyden pinnan palo
Sisäinen kelluva katto	- Palot tuuletusaukoilla - Sisätilaräjähdys ja täyden pinnan palo
Säiliön varusteet	- Sekoitin, laipat, venttiilit - Paineellisia paloja
Vallitila	- Pieni lammikkopalo - Koko vallitilan palo

4.1.1 Vallitilan palo

Vallitila palon edellytyksenä on, että palavaa nestettä on päätyntä vallitilaan. Lähtökohtaisesti vallitilan tulee olla tyhjä sade- ja sulamisvesistä. Tukesin Vaarallisten kemikaalien varastointioppaan mukaan vallitilan pohja tulee muotoilla siten, että kaadot ovat pois päin säiliöstä. Näin ollen palavaa nestettä on enemmän vallitilan ulkolaidoilla, olettaen että säiliö on sijoitettu vallitilan keskelle. Vallitilassa tulee olla myös viemäröinti, jota hyväksikäyttäen vallitila voidaan tyhjentää vedestä.



Vallitilapalo

Kuva 7. Vallitilapalo (Valtonen 2020)

Sammuttamisen kannalta haasteena on lämpösäteily ja ympäröivien rakenteiden suojaaminen. Vallitilat ovat pinta-alaltaan hyvin suuria varastoalueilla, koska vallitilaan tulee mah-
 tua 110 % säiliön tilavuudesta (SFS 3350). Haminan sataman suurin säiliö on tilavuudel-
 taan 30000 m³, joten vallitilan tilavuus on vähintään 33000 m³. Pinta-alaa vallitilalla on
 6000 m² ja syvyyttä 5,5 m. Vallitila on toteutettu kaivannolla maan pinnan alapuolelle,
 joten pelastajat ja kalusto altistuvat lämpösäteilylle välittömästi kohdetta lähestyttäessä.
 Säiliöpalossa sama säiliö on 30 metriä korkea, joten pelastajat ja kalusto on lämpölähteen
 alla maan tasossa ja lämpörasitus on täten pienempi.

Tekniikkana vallitilan sammuttamiseen on yleisesti käytetty vyörytysmenetelmää. Tässä
 menetelmässä sammutusvaahto levitetään palavan nesteen pinnalle siten, että yhdestä koh-
 taa aloitetaan syöttämään palavan nesteen pinnalle vaahtoa. Vaahto kelluu polttonesteen
 pinnalla, ja matalan pintajännityksen johdosta vaahtoneste leviää patjaksi nesteen pinnalle.
 Vaahto tulisi saada syötettyä nesteen pinnalle tasaisesti ja pehmeällä syötöllä. Vallitilan
 paloissa syöttö tapahtuu vaahtotykeillä, ja syöttöetäisyytenä voidaan pitää noin 25 - 50m
 tuulensuunnan ja tuulen voimakkuuden mukaan. 50 metrin päässä vallitilasta lämpösätei-
 lyn intensiteetti riippuu palavan nesteen laadusta. Dominovaikutusten arviointi-
 tutkielmassa on laskettu Haminan sataman suurimman bensiinisäiliöiden vallitilan palossa
 8 kW/mw² rajaksi 245 metriä. Pelastustoiminnan johtajan on tiedostettava tämä seikka ja
 tarvittaessa arvioitava, onko sammuttaminen pelastustoimen kalustolla ylipäättään mahdol-
 lista.

Ajoneuvokaluston sijoittelussa lämpösäteilyn määränä voidaan eri lähteiden mukaan pitää
 1,5-2 kW/m². Vanhassa Tukes oppaassa on kahden kilowatin lämpöteho kuvattu sellaisena,

että sähköjohtojen eristeet sulavat. Dominovaikutusten arviointi-tutkimuksissa on käytetty raja-arvoina $1,5 \text{ kW/m}^2$. Etäisyydet vaihtelevat 50 m- 560 metriin. Mielestämme ensimmäisenä kohteeseen saapuvan pelastusryhmän tulee huomioida lämpösäteilyn riskit ajoneuvojen sijoittelussa. Ongelmallisimmaksi tilanteeksi koemme vallitilan metanolipalon. meta-noli palaa värittömällä liekillä, joten konkreettista havaintoa palosta ei välttämättä saada ennen kuin lämpösäteily alkaa vaikuttamaan tai lämpö havaitaan lämpökameralla.

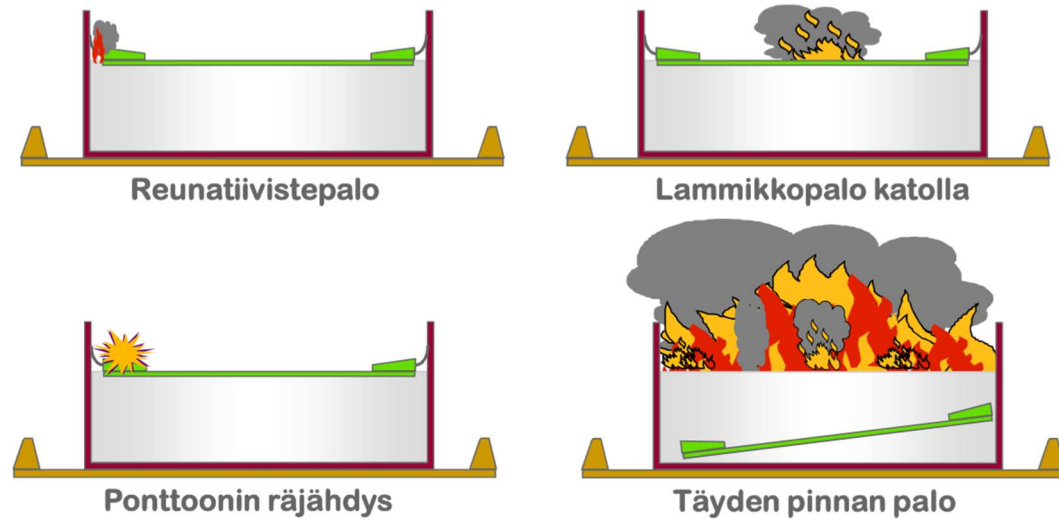
Hollannin turvallisuuslaitos IFV on 2016 tutkinut sammuttajien suojavaatetuksessaan ko-kemaa lämpösäteilyä ja asettanut suojaus suositukset sekä aikarajat työskentelylle erilais-ten lämpösäteilyn intensiteettien vaikutuksessa (Instituut Fysieke Veiligheid 2016.)

Tutkimusraportissa todetaan, että mikäli lämpösäteily on tasolla $4,6 \text{ kW/m}^2$, pelastaja nor-maalissa sammutusasussa kykenee työskentelemään kolme minuuttia. Alumiinipintaisia asuja käytettäessä tilanne on parempi, mutta Kymenlaakson pelastuslaitoksella ei ole käy-tössä tällaisia sammutusasuja. Pelastajien ja kaluston suojaamiseen lämpösäteilyltä tulee täten varautua sumusuihkuin ja vesiseinin sekä ajoneuvot tulee jättää riittävän kauas. Su-musuihkuun lämmön sitomiskykyä on käsitelty Palofysiikan oppikirjassa (Hyttinen ym. 2007.) Lämpösäteilyn sitoutumiseen veteen vaikuttaa pisarakoko ja vesimäärä. Pisarako-koon vaikuttaa pisaran lähtönopeus suihkusta. Täten mahdollisimman tehokas suojausmu-edellyttää suurta vesimäärä sekä suurta painetta. Toisaalta pelastajat joutuvat liikkumaan sumusuihkuun turvin, joten paine täytyy rajata kuuteen baariin. Todettakoon tässä, että ta-poja lämpösäteilyn intensiteetin laskemiseen on useita, ja kaikki tuottavat erilaisia tuloksia. Mielestämme laskentatapojen lisätutkiminen ja käytettävän laskentatavan julkaiseminen esimerkiksi SFS-oppaaseen olisi tarpeen.

4.1.2 Öljysäiliön palo

Öljysäiliössä tapahtuvat palot voivat olla useita eri tyyppiä kuva 8.

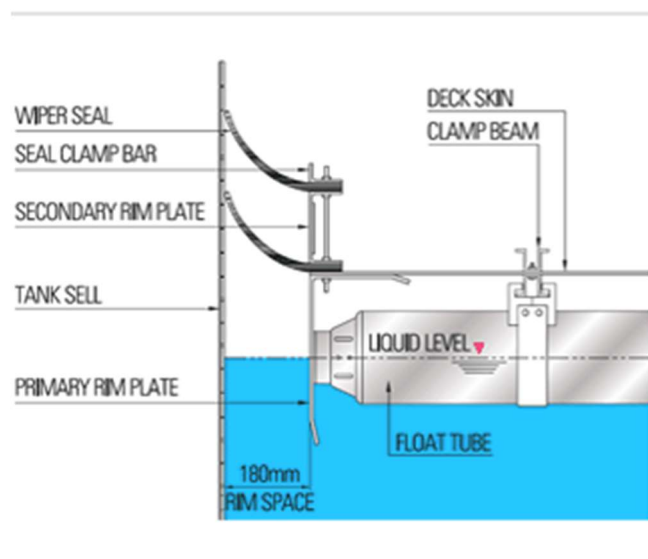
KELLUVAKATTOISEN SÄILIÖN PALOSKENAARIOT



Kuva 8. Kelluvakattoisen säiliön paloskenaariot (Valtonen 2020)

4.1.3 Reunatiivistepalo

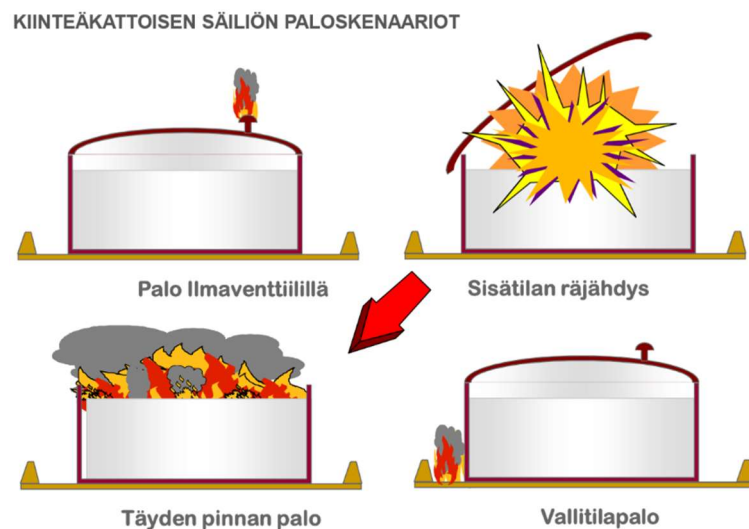
Reunatiivistepalotilanteessa säiliön kelluvankaton ja säiliön reunan välisen tiivisteiden päälle on päässyt palavaa nestettä ja syttynyt palamaan. Palotilanteessa kuminen reunatiiviste palaa pois, ja säiliössä oleva palava neste palaa reunoilta. Palo sammutetaan kiinteillä järjestelmillä. Kuvassa 9 periaatekuva reunatiivisteestä.



Kuva 9. Säiliön reunatiiviste (Kfloat)

Kelluvan katon alapuolinen palo

Tulipalo kelluvan katon alapuolella ei ole mahdollinen silloin kun säiliö on täynnä. Tilanne on mahdollinen tyhjässä tai melkein tyhjässä säiliössä. Kuvassa 6 on esitetty palavan nesteen varastosäiliön rakenne. Kuvassa on esitetty jalat, joihin katto tukeutuu, kun säiliö on tyhjä. Jalkojen pituus vaihtelee 1 - 2m (palomestari Jommi Hyttinen, haastattelu 17.1.2020). Tällaisessa tilanteessa kelluvan katon alapuolelle muodostuu kaasutila. Palo sammutetaan säiliön kiinteillä järjestelmillä. Kuvassa 10 kiinteäkattoisen säiliön paloskenaariot.



Kuva 10. Kiinteäkattoisen säiliön paloskenaario, Jaakko Valtonen

4.1.4 Kelluvan katon yläpuolinen palo

Kelluvan katon yläpuolinen palo voi tapahtua kahdella eri tavalla. Mikäli säiliössä on erillinen sääkatto ja sääkatto on paikallaan, palo tapahtuu kaasupalona sääkaton ilmanottoaukossa. Palo ei etene säiliön sisälle, koska säiliön sisällä, kelluvan katon päällä oleva palavan nesteen kaasut ovat liian rikkaita. Palaminen tapahtuu, kun palavan nesteen höyryt poistuvat ilmaventtiilistä. Tällöin palavan nesteen höyryihin sekoittuu happea ulkoilmasta ja palamisen edellytykset ovat olemassa. Sammuttaminen tapahtuu vaahdottamalla säiliön kiinteillä järjestelmillä kelluvankaton päällä oleva nestepinta. Tällöin nesteen höyrystyminen estyy ja palo sammuu, kun palavat kaasut ovat palaneet kokonaan pois. Palo kestää kauan, koska kaasutila on erittäin suuri. Säiliötä ei tule tyhjentää, ennen kuin on saatu varmuus palon sammumisesta. Säiliötä tyhjennettäessä säiliöön muodostuu alipaine, joka saa korvausilman palavasta ilmaventtiilistä. Mikäli venttiilin ulkopuolella on palo, tyhjennys

imee liekin ja puhdasta ilmaa säiliön sisälle. Säiliön kaasutilassa voi tapahtua räjähdys ja riippuen säiliön rakenteesta, sääkatto voi irrota. Jos sääkatto on räjähtänyt pois, säiliöpalo on vastaava kuin kelluvakattoisen ilman sääsuojaa varustetun säiliön täyden pinnan palo.

4.1.5 Palo läpiviennistä

Säiliön alaosassa olevissa läpivienneissä saattaa esiintyä vuotoa. Mikäli vuoto syttyy palaamaan, ongelmaksi muodostuu hydrostaattisen paineen vaikutuksesta paineella purkautuvan nesteen sammuttaminen ja vuodon tukkiminen.

4.2 Täyden pinnan palon ja muiden avopalojen sammutus Kymenlaakson pelastuslaitoksen alueella

Säiliöpalojen sammuttaminen toteutetaan lähtökohtaisesti säiliöiden kiinteitä vaahdotusjärjestelmiä käyttäen. Toteutus ja mitoitusohjeet on kirjattu SFS 3357-standardiin. Tässä työssä ei käsitellä tarkemmin kiinteitä järjestelmiä, vaan keskitytään pelastustoimen vaahdotustolla tehtävään sammutukseen.

Säiliöpalojen sammutus Kymenlaakson pelastuslaitoksen alueella on koulutettu toimijoille samoin kuin Pelastusopisto kouluttaa säiliöpalojen sammutuksen. Sammutus toteutetaan vaahtotykeillä. Tykkien suihkut suunnataan säiliön päällä ristiin ja törmäytetään siten, että vaahto ”sataa” säiliön pinnalle. Ongelmaksi muodostuu säiliöiden korkeus sekä tuuliolosuhteet. Tykkinä Kymenlaakson pelastuslaitoksella käytetään TFT Crossfire-yhdistelmätykkiä. TFT-tykin valmistajan mukaan paras kantama saavutetaan TFT Master Stream 1250-automaattikärjellä. Haminan satamassa säiliöiden korkeus vaihtelee 10 – 20 m:iin. Kuvassa 11 on esitetty käytössä olevien tykkien suihkukäyrät. Kuvasta voidaan todeta, että teoriassa säiliöiden päälle voi syöttää vaahtonestettä 50 m päästä. Tuuli tietenkin vaikuttaa vaahton lentämään matkaan. Nyrkkisääntönä voitaisiin siis pitää, että tykki sijoitetaan noin 40 m päähän palavasta säiliöstä.

Sammutus työ voidaan aloittaa, kun kohteessa on riittävä määrä vaahtonestettä. Vaahdotusta tulee varautua jatkamaan 60min yhtäjaksoisesti vaahtotuksen aloittamisesta (SFS 3357). Vaahtomäärien laskelmat on laskettu etukäteen valmiiksi, ja pelastustoiminnan johtajalla

on tieto käytettävissä johtamisen tueksi. Liitteessä 1 on esitetty yhden säiliön sammutukseen tarvittavan vaahtonesteen määrälaskelmat.

Sammutustyön kannalta on merkittävää saada vesi-vaahtoneste lentämään säiliön päälle ja saada suihkut törmäämään. Arviolta vaahtonesteen syötön hyötysuhde on 30 %, SFS 1568 määrittelee vaahtonestemäärät sammutustyön suorittamiseen. Ohjeessa on oletettu siirrettävillä laitteistoilla hukaksi 50 %. Suihkujen ohjaus säiliön päällä tulee olemaan haasteellinen tehtävä noen ja liekkien takia. Suihkujen suuntauksen sammutuksesta vastaavan tulee seurata säiliön yli lentävän vaahtonesteen määrää kauempaa ja pyrkiä ohjailemaan suihkuja kohdalleen. Suihkujen suuntauksen apuna voidaan käyttää RPAS-miehittämätöntä ilma-alusta turvallisen etäisyyden päästä. Toinen vaihtoehto on käyttää nostolavaa ja ohjata nostolavasta suihkuja radion välityksellä. Nostolavaa käytettäessä tulee huomioida lämpösäteily. Nostolava tulee jättää turvallisen etäisyyden päähän. Turvallisen etäisyyden nyrkkisääntönä voidaan pitää 3 kW/m² lämpösäteilyä. Etäisyyteen vaikuttaa palava neste ja säiliön koko nyrkkisääntönä voidaan pitää 100 metriä. Nostolavan käyttäjän täytyy havainnoida palotilanteessa lämpösäteilyä, ettei kalustovahinkoja pääse syntymään.

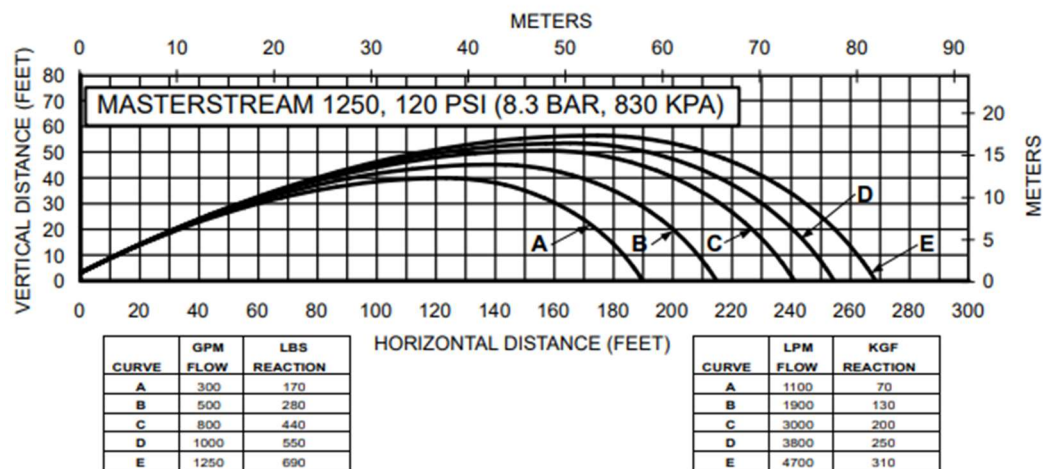


FIG 4B - Masterstream 1250 Stream Trajectory

Kuva 11. Master Stream kärjen kantamataulukko (TFT, 2013)

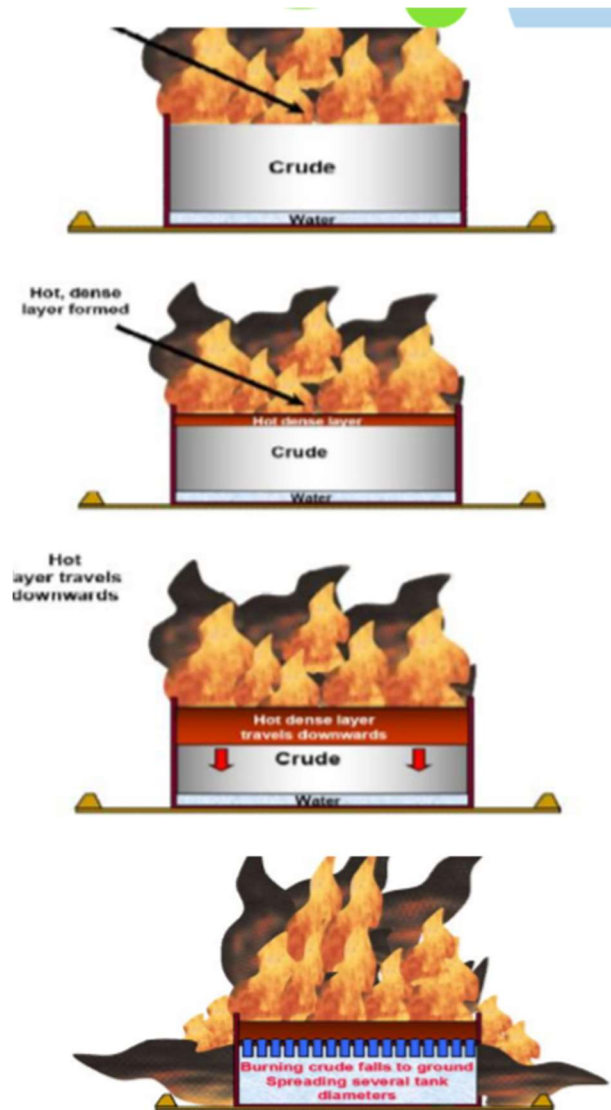
4.3 Boil over-ilmiö

Boil over suoraan käännettynä tarkoittaa ylikiehumista. Boil over ilmiönä on mahdollinen raakaöljysäiliössä. Vaahtokirjan mukaan Boil over tapahtuu nesteen lämpenemisen takia. Raakaöljyssä on kaikki hiilivetyjakeet, mitä maaperästä pumpataan. Raakaöljyn kevyet jakeet pitävät tehokkaasti yllä palamista, ja lämmittää raskaita jakeita. Raskaat jakeet läm-

peävät yli 300 asteiseksi. Lämpöraja etenee kohti säiliön pohjaa palon kestäessä. Kaikissa säiliöissä voi olla vettä pohjalla. Kun palava neste lämpenee ja lämmin vyöhyke saavuttaa säiliön pohjalla olevan vesipatjan, vesi kiehuu välittömästi ja kiehuessaan höyrystyy. Höyrystyessään vesi laajenee voimakkaasti ja saa aikaan palavan nesteen roiskumisen. Tilanne on äärimmäisen voimakas ja tilanteeseen varautuminen on välttämätöntä. Kuvassa 12 periaatekuva Boil over tapahtumaketjusta. (Jaakko Valtonen haastattelu 17.1.2020.)

”Ainoa varma keino estää Boil over on sammuttaa palo mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jos sammuttaminen ei onnistu on alue evakuoitava” (Jaakko Valtonen haastattelu 17.1.2020).

Pelastuslaitoksen tärkein toimi Boil over-tilanteen varalta on pitää henkilöstö poissa säiliöiden läheltä. Suojaetäisyytenä säiliöpalotilanteessa voidaan arviolta pitää 300 metriä. Tämän etäisyyden sisällä työskennellään ainoastaan silloin, kun se on pakollista. Selvitysten tekeminen, letkurikosta johtuva letkujen uusiminen ja vaahtotykkien säätämistä voidaan pitää pakollisena työskentelynä alueella.



Kuva 12. Boil over, ylikiehuminen (Valtonen 2020)

4.4 Junanvaunun tai säiliörekan sammutus

Palo tapahtuu säiliön ulkopuolella. Palo on saanut alkunsa esimerkiksi säiliön laippavuodosta tai onnettomuustilanteessa säiliön repeämisestä. Palava neste valuu painovoimaisesti säiliön alle, ja palo alkaa lämmittää säiliötä. Sammuttaminen toteutetaan vaahdolla. Vaahto suihkutetaan säiliön päälle, josta se valuu säiliön seinämiä pitkin vaunun alle. Valuessaan säiliön seinämiä pitkin vaahtoneste jäädyttää säiliön seinämiä. Kun vaahto valuu säiliön alle, vaahtopatja kertyy säiliön alle ja ”työntää” levitessään paloa kauemmas säiliöstä. Säiliön räjähtämisen riski pienenee välittömästi, kun suora liekkikontakti saadaan poistettua. Säiliön täyttöasteen mukaan ja onnettomuuspaikan sijainnista tulee pelastustoiminnan johtajan arvioida, poltetaanko palavaneste hallitusti loppuun vai sammutettaanko palo.

Etelä Kymenlaakson satamien kautta kulkee vuosittain rautatieliikenteen muodossa tuhansia kuutiometrejä bensiiniä tai muita palavia nesteitä. Polttonestekuljetusten junavaunujen koko vaihtelee 61 kuutiometristä 88 kuutiometriin (VR-Idän liikenteen kalusto). Kuljetuskaluston onnettomuustilanteissa haasteeksi muodostuu kohteen saavutettavuus ja mahdollisesti vesihuolto. Rautatiellä uhkaavin onnettomuusskenaario on Bleve. Mikäli säiliö räjähtää Bleven seurauksena, säiliöstä voi lentää heitteitä yli 1000 m päähän (Skumboken/Vahtokirja 1993). Tulipalo voi aiheuttaa toisen asteen palovammoja paljaalle iholle yli 400 m päässä.

Maantiekuljetuksissa autojen säiliöt on valmistettu alumiinista. Alumiini rikkoutuu onnettomuudessa helposti. Alumiinisäiliö menettää tulipalotilanteissa nopeasti kestävyytensä ja sulaa nestepinnan alenemisen mukana. Sula metalli sytyttää säiliössä olevaa polttonestettä, joten säiliöauton sammuttaminen on vaikeaa. Tällaisessa tilanteessa vaihtoehtona on säiliön jäädyttäminen ja palavan nesteen polttaminen hallitusti loppuun. (Skumboken/Vahtokirja 1993). Mikäli päädytään sammuttamaan leviävä nestepalo, tulee varmistua riittävästä vaahdotemäärästä kohteessa ennen palon sammuttamisen aloittamista. SFS 3357 määrittelee vaahdoteliuksen annostusmääräksi alle 2000 m² vallitilalle 8 l/m²/min. Tämä voisi olla hyvä nyrkkisääntö laskettaessa tarvittavia vaahdoteliuosmääriä maantiellä tapahtuneisiin onnettomuuksiin. Esimerkki: 40 metriä halkaisijana olevan lammikon sammutukseen vaadittu vaahdotemäärä:

$$\text{Pinta-ala: } A = \pi * r^2, \text{ vaahdotteen tarve } V_v V = A * \frac{8l}{m^2} / \text{min}$$

Vaahdonesteen määrä, kun käytetään 3 % sekoitussuhdetta $V_{vn.} = V_v * 0,03$

Lammikon pinta-ala on 1260 m², ja tähän tarvittava vesi vaahdoteliuksen määräksi on 10 m³/ min

Tarvittava vaahdonesteen määrä on 300 l/min ja ohjeellinen aika kirjallisuuden eri lähteissä on 30 minuuttia, joten vaahdonesteen kokonaismäärä on 9 m³. Vettä tarvitaan kohteessa koko aikana 290 m³.

Rautateillä sattuneissa onnettomuuksissa oppimateriaalien mukaan säiliön sammuttamiseen tarvittava vesimäärä on 15 m³ ja vaahdotemäärä noin 1000 l. Mikäli viereinen säiliö ei ole vielä syttynyt, tulee sitä suojella jäädyttämällä säiliön pintaa vesivalelulla. Jos juna on pysähtynyt tietömän junaosuuden varrelle, voidaan ajatella junan pelastamisen olevan mahdotonta. Ainoa keino, mikäli johtimet ovat ehjät tai käytettävissä dieselveturi, on irrot-

taa ehjät vaunut turvallisen suojaetäisyyden päästä ja ajaa juna pois onnettomuusalueelta. Tämän jälkeen vaunut palavat x ajan, pelastuslaitoksen tehtävänä on eristää alue vähintään 1000 metrin säteeltä, pelastustoimen tulee arvioida yhdessä rataviranomaisten kanssa tilanteen jatkotoimet. Realistinen tehokkaan pelastustoimen aloittaminen kohteessa kestää arviolta vähintään tunnin, joten säiliöiden räjähdysen todennäköisyys on ilmeinen. Mikäli onnettomuus tapahtuu ratapihalla tai muutoin alueella, jossa on hyvät liikenneyhteydet, tulee paloa yrittää sammuttaa ja vähintään yrittää estää viereisten junavaunujen syttyminen.

5 SAMMUTUSJÄTEVESIEN KERÄILY

Pia Nyman käsittelee YAMK-opinnäytetyössään 2018 sammutusvaahtojen ympäristö- ja terveys- riskejä. Opinnäytetyö on tehty kyselytutkimuksella pelastuslaitoksiin, tutkimalla vaahtojen käyttöturvatiiedoiteita sekä tekemällä vaahdoille laboratorioanalyysjä.

Nymanin opinnäytetyön perusteella voidaan todeta vaahtonesteiden käytön ympäristöriskien hallinnan olevan puutteellista. Pelastuslaitoksilla ei ole suunnitelmaa sammutusvesien keräämiseen. Usean pelastuslaitoksen alueella sammutusvesien keräily on toiminnanharjoittajan vastuulla ympäristöluvan vaatimana. SFS 3357 määrittelee, että kohteeseen tulee kyetä keräämään sammutusjätevedet neljä tuntia kestävässä sammutustapahtumassa, lasien suurimman paloskenaarion mukaan. Toimialueella olevien varastoalueiden sammutusjätevesien keräilyn edellyttämät toimet pelastuslaitokselta tulee täten kirjata pelastustoimen johtajan ohjekorttiin.

Tukes on tuottanut raportin sammutusjätevesien keräilystä 2018. Raporttiin on koottu erilaisia vaihtoehtoja jätevesien keräilyyn, sekä haastateltu pelastuslaitoksen edustajia ja kysytty, mikä on pelastustoimen kannalta paras ratkaisu sammutusjätevesien keräilyyn. Vastauksista on tehty johtopäätös, että paras ratkaisu sammutusjätevesien keräilyyn on sellainen, joka ei edellytä pelastustoimelta toimia vesien keräilyyn. Mikäli onnettomuus tapahtuu maastossa tai alueella, jossa ei ole allasta sammutusjätevesien keräilylle, tulee pelastustoiminnan johtajan tarkastella, onko sammutusjätevedet mahdollista esimerkiksi padota ojiin ja uudelleen käyttää tai muutoin estää sammutusvesien leviäminen. Lisäksi Nyman toi opinnäytetyössään esille, että pelastustoiminnan johtajalla tulisi olla käytettävissä ympäristötoimen edustaja. Tästä voidaan tehdä johtopäätös, että mikäli pelastuslaitos käyttää vaahtoja sammutustyössä, tulee pelastustoiminnan johtajan tehdä ympäristösuojeluviranomaiselle ilmoitus vaahtojen käytöstä. Tämän jälkeen ympäristötoimen edustaja arvioi, aloitetaanko maaperän koneellinen puhdistaminen samoin kuin muissa kemikaalivuototilanteissa.

6 TUTKIMUS

Kymenlaakson pelastuslaitoksella on varauduttu palavien nesteiden paloon erityiskalustolla. Kaikilta osin kaluston yhteensovittaminen ja tarvittavan vaahtoiskun 10000 l/min toteuttaminen ei ole onnistunut nykyisellä kalustolla. Tässä tutkimuksessa tutkitaan vaahtoyksikön RKY204 vaahtoisku 2 selvitystä ja pyritään löytämään ratkaisu, millä kokonaisuudella saadaan vaahtoyksiköstä 10000 l/min vaahtoisku suoritettua pumppaamon, letkukaluston, vesitykkikaluston, kärkien ja selvitysmallin osalta.

Opinnäytetyöhön liittyvä tutkimus toteutettiin kenttäkokein kirjallisuudesta löytyviin teoreettisiin laskentamenetelmiin nojaten. Kenttäkokeissa hyödynnettiin palofysiikan oppeja ja aikaisempaa kokemusta vaahtoiskujen suorittamiseksi.



Kuva 13. Vaahtoisku 2 Kotka, kenttäkoe

Kesäkuussa 2017 suoritettiin yksi mittauspäivä Mussalon nestesatamassa. Tarkoituksena oli selvittää Kymenlaakson pelastuslaitoksen alueen vaahtoiskukyky, kun vesi otetaan suoraan sataman palovesijärjestelmästä. Mittauksia tehtiin yhteensä 15, joista selvisi testissä mukana olleiden yksiköiden todellinen vaahtoiskukyky.



Kuva 14. Kenttäkoe 2017

Kesäkuussa 2019 suoritettiin neljä mittauspäivää eteläisellä toimialueella. Mittauspaikkoina olivat Haminan ja Kotkan nestesatamien läheiset paikat. Mittauksissa tutkittiin palovesiverkostoista saatavat vesivirtaukset. Kaikkiin nestesataman säiliöihin on laskettu tarvittava vaahtovirta, jolla nestepalo sammuu. Mittauksissa tutkittiin, onko edellisten tutkimusten jälkeen tehdyt muutokset kalustoon parantaneet kokonaisvirtauksia.



Kuva 15. Kenttäkoe 2019, suihkun kantaman mittaus

Mittauksia tehtiin neljänä päivänä. Mittauksiin osallistui Kotkan ja Haminan paloasemien työvuorot. Tutkimuspäivät toimivat myös vakinaisten paloasemien viikkokoulutus-tapahtumina. Tutkimuspäivissä käytetty kalusto oli RKY204-vaahtoaauto kalustoineen. Letkuina käytettiin 150 mm ja 110 mm paloletkuja, molempien letkutyypin koeponnistuspaineena on käytetty 15 baria. Vesitykkeinä selvityksessä käytettiin TFT Crossfire-yhdistelmätykkiä, jonka maksimi tuotto on 5000 l/min. Tykin syöttöliittiminä oli tässä selvityksessä 4'' kynsiliittimet. Tykin kärkenä käytettiin TFT Master Stream 1250:in kiinteää tykin kärkeä. Tykin kärjen maksimi tuotto on 4800 l/min. Vertailun vuoksi osassa mittauksissa käytettiin automaattikärkeä Master Stream 4500. RKY204 toimi pumppuautona ja todellisessa tilanteessa RKY204 toimisi pumppuautona ja välisekoittajana. RKY204-pumppu on peräpumppu Esteri lk-6000. Vesi RKY204:lle saatiin molemmissa tapauksissa sataman palovesipumppaamoista. Pumppaamoissa on diesel- ja sähkökäyttöisiä pumppuja, joista osa käynnistyy automaattisesti virtauksen mukaan ja osa tulee käydä erikseen käynnistämässä. Satamien palovesipumppaamoiden toimiessa täydellä teholla teoreettinen tuotto on noin 30000 l/min.

6.1 Mittauksessa käytetty mittauskalusto

Mittauksissa käytettiin kahta Flowmaster-500 virtausmittaria. Flowmaster-500 virtausmittari on raskaaseen kenttäkäyttöön tarkoitettu digitaalinen virtausmittari palopostien ja palovesilinjojen tuoton mittaamiseen. Kymenlaakson pelastuslaitoksella on käytössään kaksi virtausmittaria, jotka on sijoitettu vaahtoautoon RKY204. Mittareita käyttää riskihallinta

toimesta esimerkiksi kiinteiden sammutusjärjestelmien veden tuoton mittaamiseen. Mittarit tulee kytkeä myös osana selvitystä todellisessa tilanteessa vesitykeille, jolloin saadaan selville todellinen vesi- vaahtonestevirtaus.

Flowmaster-500 virtausmittarin tekniset tiedot ovat seuraavat:

Mittausalue: 30-3000 / 5000 lpm
 Tarkkuus: 50-750 lpm +/- 15 l. yli 750 lpm +/- 2 %
 Paineenmittaus: 0 –25 bar
 Paineluokka: 25 Bar
 Materiaali: Eloksoitu kevytmetalli
 Paino: 12 kg
 Virtalähde: 12 VDC 2,5 Ah akku
 Toiminta-aika: 12 h keskeytymätön

(Veljekset kulmala Oy)

Virtausmittarin toiminta perustuu magnetismiin, joka näyttää reaaliaikaisen kulutuksen l/m.



Kuva 16. Kuvassa Crossfire yhdistelmätykki ja TFT master Stream 1250 vesitykinkärki ja virtausmittarit Flowmaster 500.

6.2 Tutkimustulokset

Tutkimuksia tehtiin vuonna 2019 neljänä päivänä. Tutkimuksia tehtiin Haminan ja Kotkan satamissa. Mittauskertoja tuli päivässä neljä Kotkassa ja neljä Haminassa. Yhteensä mit-

tauksia tehtiin 18 kertaa. Mittauksissa muuttujina olivat tykin kärjet sekä sataman palovesipumppaamon pumppujen käyttömäärät. Mittauksissa tutkittuja asioita olivat seuraavat:

- tykin kärkien vaikutus maksimaaliseen vesivirtaan
- manuaalikärjen vaikutusta vesivirtaamaan
- painemittarien vaikutus kokonaisvesivirtaan
- tykin syöttöpaine suhteessa vesiaseman syöttöpaineeseen
- palovesipumppujen lisääminen

Tutkimuspäivinä tehtyjen mittauksien perusteella voidaan havaita, että automaattikärkien käyttö rajoittaa kokonaisvesivirtaa 1000 – 2000 l/min. Lisäksi tutkimuksissa havaittiin satamien vesiasemien olevan erittäin tiheäkierteisiä, joten vesiasemaa tarvitsee avata noin 50 kierrosta, ennen kuin vesiasema on täysin auki.

Mittauspäivien perusteella voidaan todeta opinnäytetyön aikana tehtyjen kalustomuutosten onnistuneen hyvin.

- Aiemmissä selvitysmalleissa käytettiin 4 vesitykkiä, joihin liitettiin vuoroliittimet A/AA.
- Todetaan manuaalisen vesitykinkärjen olevan tuotoltaan suurempi, kuin automaattinen.

Vesimäärä mittaukset olivat ennalta suunniteltuja mittauspäiville. Pöytäkirjoihin kirjattiin ylös seuraavia tietoja:

- mittauspäivämäärä ja mittauksen numero
- vaahtoiskumalli
- vesilähde
- syöttöletkun koko (mm)
- virtausmittareiden paikat
- vesiaseman syöttöpaine
- yksikön pumppupaine
- selvityksessä käytetyn kaluston tiedot
- vesitykin paine
- vesimäärä l/min.

Tutkimustuloksista voidaan todeta, että paras virtaus vesitykeille saadaan käyttämällä vaahtoyksikön pumpun syötössä kahta 150 mm halkaisijaltaan olevaa letkua, paineletkuina 4 kertaa 110 mm halkaisijaltaan olevaa letkua.

Sataman palovesiverkostossa on aina pieniä kiviä putkirikkojen takia, minkä vuoksi suuria vesimääriä satamien palovesiverkosta ottaessa on aina käytettävä syöttöletkuissa kivisihtiä

pl. RKY204, jossa kivisihti on integroitu syöttövesitukkiin. Kivisihtin käyttäminen vähentää pumppurikkoja. Mittauspöytäkirja muutoksien jälkeen on liitteessä 5

6.3 Selvitysmallit

Kymenlaakson pelastuslaitoksella on ollut käytössä erilaisia vaahtoiskun toteuttamismalleja. Tässä työssä tutkimustulosten perusteella rajataan vaahtoiskujen selvitysmallit kolmeen eri vaihtoehtoon. Vaahtoiskujen rajaamisella halutaan varmistua siitä, että todellisessa tilanteessa selvitykset onnistuvat ja vaahtoiskut saadaan toteutettua suunnitellulla tavalla. Nestepalotilanteessa on todella tärkeää tietää ennen sammutuksen aloitusta sammutukseen tarvittava vesi-vaahdoseoksen virtaama. Teoreettinen selvitysten sammutuskapasiteetti on laskettu johtamalla SFS-standardissa esitetystä teoreettisen sammutusvesivirran kaavasta sammutettavaa aluetta esittävä kaava.

Siirrettävällä kalustolla suoritettavan sammutuksen tarvitsema vesimäärä:

$$1,5 * A * \frac{4l}{m^2} /min = V \text{ l/min (Jos sammutettavana hiilivetypalo)}$$

Suurin lammikon ala on tällöin

$$A = \frac{V \text{ l/min}}{1,5 * \frac{4l}{m^2} /min}$$

$$1,5 * A * \frac{8l}{m^2} /min = V \text{ l/min (Jos sammutettavana alkoholipalo)}$$

Suurin lammikon ala on tällöin:

$$A = \frac{V \text{ l/min}}{1,5 * \frac{8l}{m^2} /min}$$

Letkukitkan vaikutus paloautojen sijoitteluun:

Palofysiikan (Hyttinen ym. 2007) kirjassa on esitetty laskukaavat letkukitkan laskemiseen erikokoisilla letkuilla. Kaavat suhteutetaan letkussa kulkemaan vesimäärään:

$$p_k = \frac{l}{100} * k * V^2$$

Tästä kaavasta johtamalla saadaan kaava, jolla voidaan laskea auton suurin etäisyys tykistä ja toisaalta myös autoon tulevasta vesilähteestä:

$$l_{max} = \frac{p_k * 100}{k * V^2}$$

k-arvo on palofysiikan kirjan (Hyttinen ym. 2007) mukaan saatu letkuvalmistajien nomogramioista laskemalla. Pelastusopistolla letkukitkan k-kertoimen todenpitävyyttä on tarkasteltu useilla eri mittauksilla.

Taulukko 3 Paloletkujen kitkakerroin k (Hyttinen ym. 2007).

Letkun sisäläpimitta (mm)	Paloletkun kitkakerroin
150	0,014
110	0,07
76	0,5
63	1,4
51	4,3
42	10
39	17
25	170

Lähtöpaine palovesiverkostosta on noin 8 - 15 bar. Tulopaine autolle tulee olla noin 8,5 bar, jotta RKY 204 kykenee korottamaan paineen syöttöpuolella yli 12 bar. Tykillä paine tulee olla noin 9 bar. Teoreettisella tasolla tarkasteltuna auton etäisyys vesiasemasta voi olla seuraava:

$$\text{Mussalossa käytössä } 2 \times 150 \text{ mm letku: } l_{max} = \frac{pk \cdot 100}{k \cdot V^2} = \frac{300 \text{ kPa} \cdot 100}{0,014 \cdot 76,7^2} = 364,25 \text{ m}$$

Teoriassa autolta tykille voidaan tehdä 360 metriä selvitystä, sekä auton etäisyys vesiasemasta voi olla 360 metriä

Auton ja tykin väli, kun käytössä on 2x110mm letku/ tykki:

$$l_{max} = \frac{pk \cdot 100}{k \cdot V^2} = \frac{300 \text{ kPa} \cdot 100}{0,07 \cdot 38,33^2 / \text{s}^2} = 291,7 \text{ m}$$

Paine riippuu siitä mitkä pumpput ovat käynnistyneet, sekä siitä, kuinka kaukana pumppaamosta käytettävä vesiasema sijaitsee. Mittauspäivissä käytetty RKY 204:lla saatiin nostettua paine 12,4 bar:iin.

7 TUTKIMUSTEN PERUSTEELLA MÄÄRITETYT VAAHTOISKUMALLIT

7.1 Vaahtoisku 1

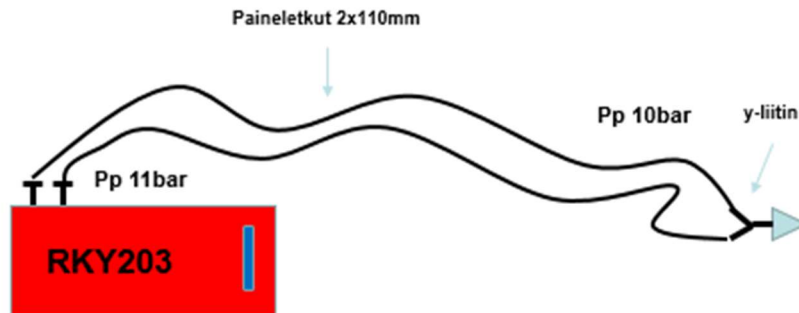
Vaahtoisku 1 toteutetaan nestepaloissa ensimmäisenä sammutusiskuna. Kymenlaakson pelastuslaitoksella on 4 kappaletta säiliöyksiköitä, jotka kykenevät tekemään vaahtoisku 1:n omatoimisesti. Vesi vaahtoisku 1:een otetaan satamien ja teollisuuslaitosten ulkopuolella auton omasta säiliöstä ja tarvittaessa säiliövuoroajona. Satamissa ja teollisuuslaitoksien alueella vesi otetaan palovesiverkostosta. Vesitykkinä voidaan käyttää yksikön omaa kiinteää kauko-ohjattavaa kattovesitykkiä tai siirrettävää vesitykkiä. Vaahtoisku 1:n tarkoituksena on sammuttaa pieni nestepalo tai rajoittaa suurta nestepaloa. Kymenlaakson pelastuslaitoksen vakinaisten säiliöyksiköt RKY203, RKY303 ja RKY503 varustetaan TFT Crossfire-yhdistelmätykkirungoin, joiden maksimi tuotto on 5000 l/min, TFT Master Stream 1250 kiinteillä tykin kärjillä. Tykin kärjen maksimi tuotto on 4800 l/min.

Vaahtoisku 1:tä on myös syytä kokeilla ensimmäisenä sammutusiskuna suurissa nestepaloissa. Nykyisen käsityksen mukaisesti vaahtosammutus aloitetaan vasta, kun koko suunniteltu kalusto on ryhmitetty ja selvitykset tehty. Nyt tutkitussa vaihtoehdossa ensimmäisen vaahtoisku 1:een kykenevä säiliöyksikkö tekee vaahtoiskun, jolla voidaan saada palo sammumaan, ennen kuin palo kehittyy liian suureksi. Jos isku epäonnistuu, käytetään vesitykkiä viereisten säiliöiden jäähdyttämiseen. Parhaassa tapauksessa palo sammu tai menettää tehoaan, ja saadaan aikaa vaahtoisku 2:n tekemiseen onnistumiseen.

Vaahtoisku 1 on tehtävissä kolmella eri tavalla sen mukaan mistä vesi otetaan ja millä vesitykillä sammutus halutaan aloittaa. Auton katolla olevaa kauko-ohjattavaa vesitykkiä tulee käyttää, kun palo on tykin kantaman sisällä. Kattotykki on myös paras vaihtoehto esimerkiksi junanvaunu palaessa. Yksi säiliöauto ajetaan vesitykin kantomatkan etäisyydelle ja tehdään vaahtoisku 1. Vaahtonesteen loputtua jatketaan vesiajolla palavaa junanvaunua ja viereisiä vaunuja jäähdyttäen. Lisävesi kytketään heti, kun se on mahdollista ratapihan palovesiverkostosta. Vesitykkiä käytetään kauko-ohjaimella turvallisen matkan päästä ottaen huomioon lämpösäteily.

Kuvien alle on laskettu matemaattisin menetelmin, minkä kokoisen hiilivety- tai alkoholi-palon kyseisellä vaahtoiskulla saadaan teoriassa sammutettua.

Vaahtoisku 1, siirrettävällä vesitykillä:



Vesimäärä 4300l/min

Kärki: Mastermatic 4700l/min

Kuva 17. Vaahtoisku 1, siirrettävä vesitykki, säiliövesi

Selvityksellä sammutettavissa oleva palo

Mikäli sammutettava on tuote hiilivetyä, vaahtoliuos riittää teoreettisesti 720 m² alueen sammuttamiseen. 720 m² vastaa noin 30 metriä halkaisijaltaan olevaa pyöreää lammikkoa. Täydellä teholla ajettaessa säiliön vahtonestemäärä riittää 7 minuutin sammutustyöhön. Auton oma vesisäiliö tyhjenee noin kahdessa minuutissa.

$$A = \frac{V \text{ l/min}}{1,5 \cdot \frac{8 \text{ l}}{\text{m}^2} / \text{min}} = \frac{4300 \text{ l/min}}{1,5 \cdot \frac{4 \text{ l}}{\text{m}^2} / \text{min}} = 716,66 \text{ m}^2$$

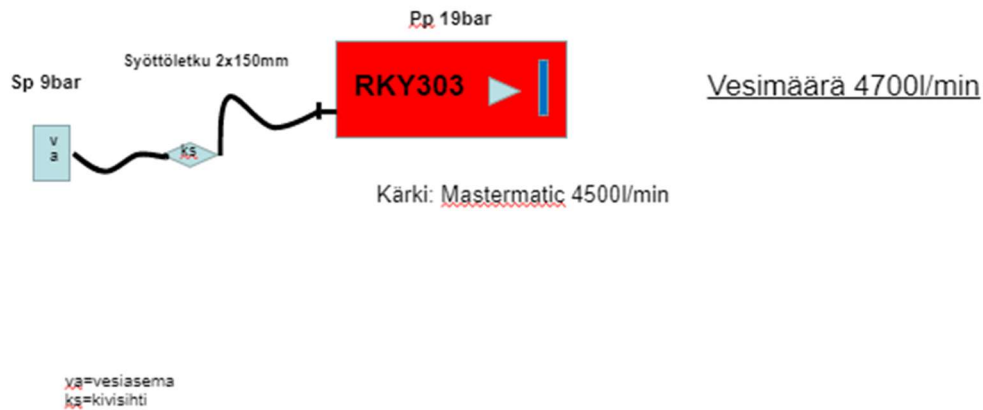
1000 litran vaahtomäärä riittää $\frac{1000 \text{ l}}{4300 \frac{\text{l}}{\text{min}} \cdot 3 \%} = 7 \text{ min } 45 \text{ s}$

Mikäli on alkoholipalo,

vaahtoliuos riittää teoreettisesti 360 m² alueen sammuttamiseen. 360 m² vastaa noin 10,5 metriä halkaisijaltaan olevaa pyöreää lammikkoa.

$$A = \frac{V \text{ l/min}}{1,5 \cdot \frac{8 \text{ l}}{\text{m}^2} / \text{min}} = \frac{4300 \text{ l/min}}{1,5 \cdot \frac{8 \text{ l}}{\text{m}^2} / \text{min}} = 358,333 \text{ m}^2$$

Vaahtoisku 1 kiinteällä vesitykillä:



Kuva 18. Vaahtoisku 1, kauko-ohjattava vesitykki, sarjakytkenä

Selvityksellä sammutettavissa oleva palo

Mikäli sammutettava tuote on hiilivetyä, vaahtoliuos riittää teoreettisesti 780 m² alueen sammuttamiseen. 780 m² vastaa noin 30 metriä halkaisijaltaan olevaa pyöreää lammikkoa. Täydellä teholla ajettaessa säiliön vaahtonestemäärä riittää 7 minuutin sammutustyöhön. Auton oma vesisäiliö tyhjenee noin kahdessa minuutissa.

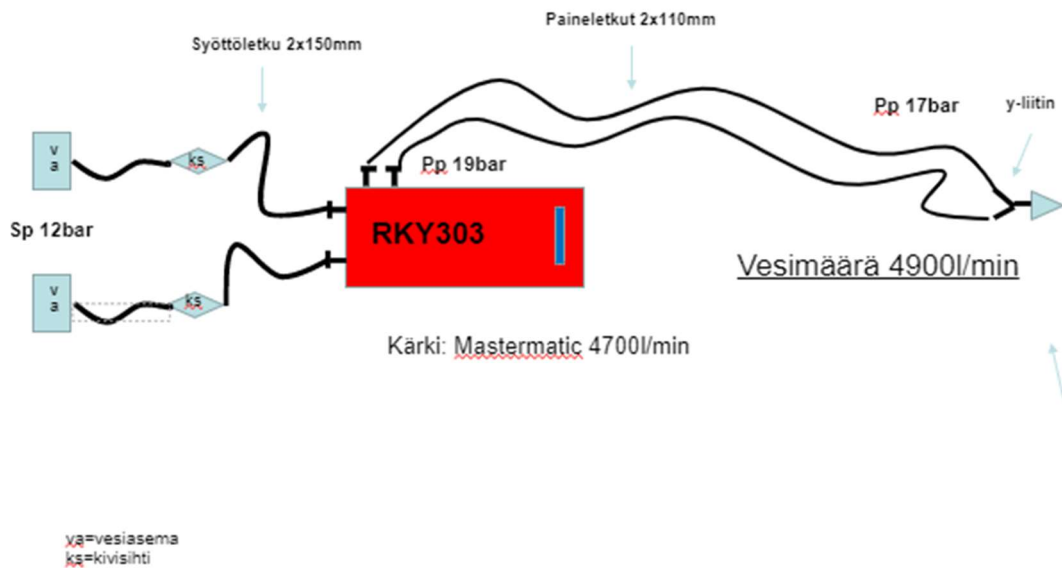
$$A = \frac{V \text{ l/min}}{1,5 \cdot \frac{8 \text{ l}}{\text{m}^2} / \text{min}} = \frac{4700 \text{ l/min}}{1,5 \cdot \frac{4 \text{ l}}{\text{m}^2} / \text{min}} = 783,333 \text{ m}^2$$

1000 litran vaahtomäärä riittää $\frac{1000 \text{ l}}{4700 \frac{\text{l}}{\text{min}} \cdot 3\%} = 7 \text{ min } 5 \text{ s}$

Mikäli alkoholipalo, vaahtoliuos riittää teoreettisesti 392 m² alueen sammuttamiseen. 392 m² vastaa noin 11 metriä halkaisijaltaan olevaa pyöreää lammikkoa.

$$A = \frac{V \text{ l/min}}{1,5 \cdot \frac{8 \text{ l}}{\text{m}^2} / \text{min}} = \frac{4700 \text{ l/min}}{1,5 \cdot \frac{8 \text{ l}}{\text{m}^2} / \text{min}} = 391,666 \text{ m}^2$$

Vaahtoisku 1 siirrettävällä vesitykillä, lisävesi sataman palovesijärjestelmästä.



Kuva 19. Vaahtoisku 1, siirrettävä vesitykki, sarjakytkentä

Selvityksellä sammutettavissa oleva palo

Mikäli sammutettava tuote on hiilivetyä, vaahtoliuos riittää teoreettisesti 820 m² alueen sammuttamiseen. 820 m² vastaa noin 32 metriä halkaisijaltaan olevaa pyöreää lammikkoa. Täydellä teholla ajettaessa säiliön vahtonestemäärä riittää 7 minuutin sammutustyöhön. Auton oma vesisäiliö tyhjenee noin kahdessa minuutissa.

$$A = \frac{V \text{ l/min}}{1,5 \cdot \frac{8 \text{ l}}{\text{m}^2} / \text{min}} = \frac{4900 \text{ l/min}}{1,5 \cdot \frac{4 \text{ l}}{\text{m}^2} / \text{min}} = 816,666 \text{ m}^2$$

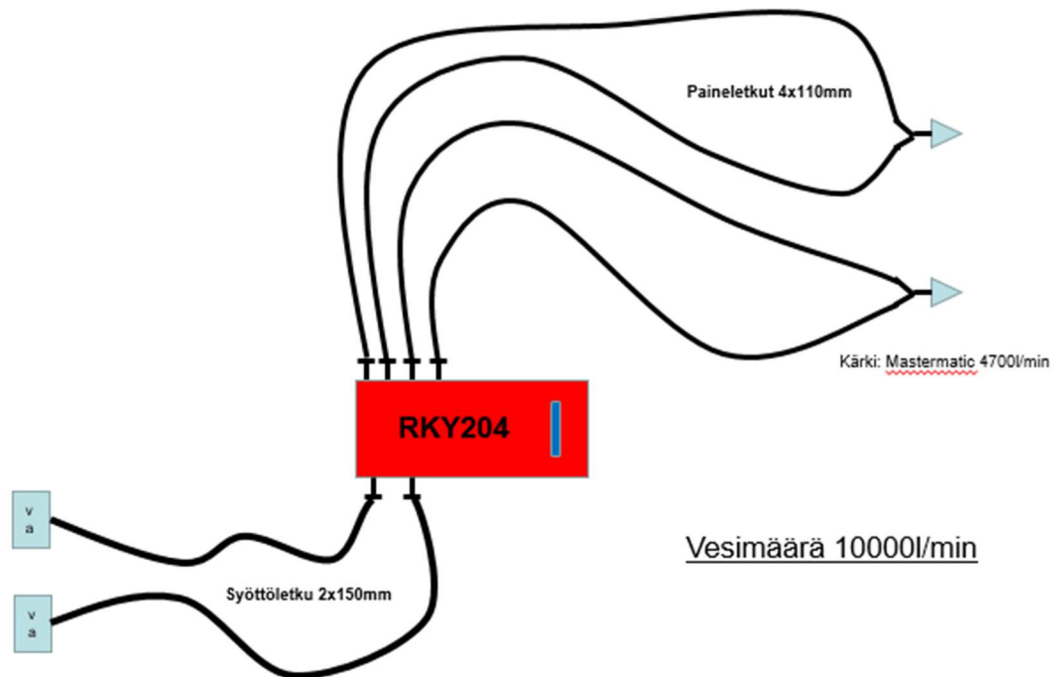
$$1000 \text{ litran vaahtomäärä riittää } \frac{1000 \text{ l}}{4900 \frac{\text{l}}{\text{min}} \cdot 3\%} = 6 \text{ min } 48 \text{ s}$$

Mikäli on alkoholipalo, vaahtoliuos riittää teoreettisesti 408 m² alueen sammuttamiseen. 408 m² vastaa noin 23 metriä halkaisijaltaan olevaa pyöreää lammikkoa.

$$A = \frac{V \text{ l/min}}{1,5 \cdot \frac{8 \text{ l}}{\text{m}^2} / \text{min}} = \frac{4900 \text{ l/min}}{1,5 \cdot \frac{8 \text{ l}}{\text{m}^2} / \text{min}} = 408,333 \text{ m}^2$$

7.2 Vaahtoisku 2 Kotka

Vaahtoisku 2 Kotkassa toteutetaan yksikön RKY204 avulla. RKY204 on Esteri lk-6000-pumpulla 10000 l/min varustettu erikoisyksikkö, joka on otettu käyttöön vuonna 2009. RKY204 on hankittu Kymenlaakson pelastuslaitoksen alueen riskien vuoksi. Suuren pumpun lisäksi vaahtoyksikössä on kiinteä vaahdonsekoituslaitteisto. Erillinen vaahtopumppu saa pyörimisenergian hydrauliliikkapumpusta, joka kykenee säätämään kalvovaahtonesteen sekoitusta 1 - 6%:iin. Vaahtoyksikkö on pitkälti automatisoitu, kaikki syöttö- ja vesiventtiilit ovat paineilmatoimisia. Suunnittelun perustana on ollut vaahtoyksikkö, joka liitetään kiinteään palovesiverkostoon, korotetaan paine ja sekoitetaan vaahtoneste veden sekaan. Syntynyt vesi-, vaahtonesteliuos syötetään 4x110 mm letkulinjaan. Vaahtoyksikön vaahtosäiliön tilavuus on 10000 l ARC 3x3-kalvovaahtonestettä.



Kuva 20. Vaahtoisku 2 Kotka RKY204



Kuva 21. Kymenlaakson pelastuslaitos, vaahtoisku 2 Kotka

Kotkan vaahtoisku 2:lla sammuttavissa oleva nestepalo ilman vaahtoliuoksen täydennystä

Mikäli sammutettava tuote on hiilivetyä, vaahtoliuos riittää teoreettisesti 1700 m² alueen sammuttamiseen. 1700 m² vastaa noin 46 metriä halkaisijaltaan olevaa pyöreää lammikkoa. Täydellä teholla ajettaessa säiliön vaahtonestemäärä riittää 33 minuutin sammutustyöhön.

$$A = \frac{V \text{ l/min}}{1,5 \cdot \frac{4 \text{ l}}{\text{m}^2} / \text{min}} = \frac{10000 \text{ l/min}}{1,5 \cdot \frac{4 \text{ l}}{\text{m}^2} / \text{min}} = 1666.66 \text{ m}^2$$

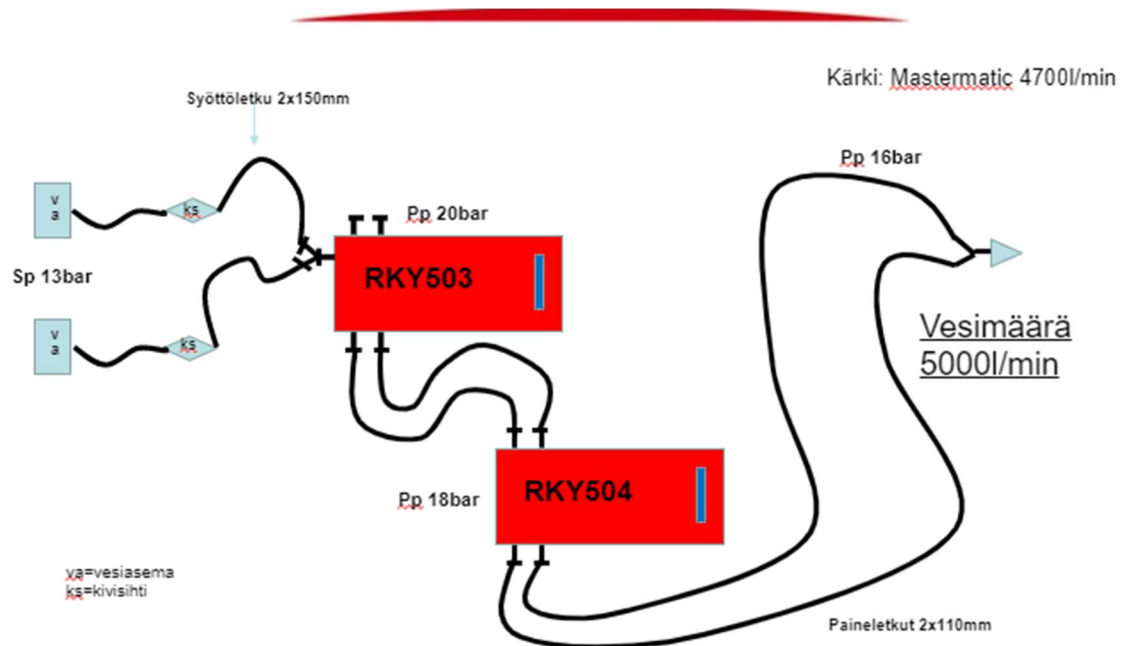
$$10000 \text{ litran vaahtomäärä riittää } \frac{10000 \text{ l}}{10000 \frac{\text{l}}{\text{min}} \cdot 3\%} = 33 \text{ min } 20 \text{ s}$$

Mikäli on alkoholipalo, vaahtoliuos riittää teoreettisesti 833 m² alueen sammuttamiseen. 408 m² vastaa noin 33 metriä halkaisijaltaan olevaa pyöreää lammikkoa.

$$A = \frac{V \text{ l/min}}{1,5 \cdot \frac{8 \text{ l}}{\text{m}^2} / \text{min}} = \frac{10000 \text{ l/min}}{1,5 \cdot \frac{8 \text{ l}}{\text{m}^2} / \text{min}} = 833 \text{ m}^2$$

7.3 Vaahtoisku 2 Kouvola

Kouvolan vaahtoisku 2 toteutetaan yksiköiden RKY503 ja RKY504 avulla. RKY503 on suurella vesipumpulla 5000 l/min varustettu säiliöauto. RKY504 on vaahtoauto, jossa on 12000 l kalvovaahtonestettä ARC 3x3 ja kiinteä vaahtonsekoituslaitteisto. Yksiköt on suunniteltu toimimaan yhdessä halutun 5000 l/min vaahtovesi liuoksen saavuttamiseksi 3 % seoksella. RKY504:sta voidaan myös pumpata vaahtonestettä muihin yksiköihin tai syöttää muista säiliöyksiköistä vettä vaahtoyksikköön.



Kuva 22. Vaahtoisku 2 Kouvola

Kouvolan vaahtoisku 2:lla sammuttavissa oleva nestepalo ilman vaahtoliuoksen täydennystä.

Mikäli sammutettava tuote hiilivetyä, vaahtoliuos riittää teoreettisesti 833 m² alueen sammuttamiseen. 833 m² vastaa noin 32 metriä halkaisijaltaan olevaa pyöreää lammikkoa. Täydellä teholla ajettaessa säiliön vaahtonestemäärä riittää 66 minuutin sammutustyöhön.

$$A = \frac{V \text{ l/min}}{1,5 \cdot \frac{8 \text{ l}}{\text{m}^2} / \text{min}} = \frac{5000 \text{ l/min}}{1,5 \cdot \frac{4 \text{ l}}{\text{m}^2} / \text{min}} = 833,33 \text{ m}^2$$

$$10000 \text{ litran vaahtomäärä riittää } \frac{10000 \text{ l}}{5000 \frac{\text{l}}{\text{min}} \cdot 3\%} = 66 \text{ min } 40 \text{ s}$$

Mikäli on alkoholipalo, vaahtoliuos riittää teoreettisesti 417 m² alueen sammuttamiseen. 417 m² vastaa noin 23 metriä halkaisijaltaan olevaa pyöreää lammikkoa.

$$A = \frac{V \text{ l/min}}{1,5 \cdot \frac{8 \text{ l}}{\text{m}^2} / \text{min}} = \frac{5000 \text{ l/min}}{1,5 \cdot \frac{8 \text{ l}}{\text{m}^2} / \text{min}} = 416,667 \text{ m}^2$$

Kaikissa vaahtoiskuihin kykenevissä yksiköissä on valmiina tarvittava letku-, liitin- ja tykkikalusto selvityksiä varten. Yksiköiden kalustolla pystytään tekemään selvitykset noin 100 metrin päästä. Selvitysmatkojen kasvaessa ja vaahtosammutus ajan pidentyessä Kymenlaakson pelastuslaitoksella on valmiudessa päätoimisilla paloasemilla, sopimuspalokuntien paloasemilla ja Utin jääkäriyrykmentin sotilaspalokunnalla on lisää vaahtonestettä ja letkukalustoa.

7.4 Kalustomuutokset

Opinnäytetyön ja aiempien mittauspäivien aikana on todettu, että varsinkin vesitykki ja liitinkalustoon tarvitaan muutoksia. Aiemmin käytettiin neljää vesitykkiä 2500 l/min tykin kärjillä, syöttö tykille oli yhdellä 110 mm letkulla. Vuonna 2016 tykkeihin liitettiin vuoroliittimet ja mitattiin uudestaan. Haluttua muutosta ei saatu, ja ongelmaksi muodostui vuoroliittimen läppä, joka aiheutti virtaukseen merkittävän heikennyksen. Vuonna 2018 hankittiin uudet tykin rungot, joissa on kiinteä 2 x A-liitin tykin rungossa. Vesitykkien lukumäärä vaahtoiskussa laskettiin kahteen, joihin molempiin syötetään vettä 2 x 110 mm läpimittaisella letkulla. Samassa yhteydessä tykkien kärjet vaihdettiin mittausten perusteella manuaalisiin.

Tykin kärjet

Vesitykeissä käytetään nykyisin pääsääntöisesti automaattisella paineensäädöllä varustettuja vesitykin suihkusuuttimia. Suihkusuuttimien automaattinen paineensäätö kehitettiin tykkien sumukärkiin pitämään suihkun kantomatka mahdollisimman muuttumattomana huolimatta sammutusveden paineen vaihteluista. (Veljekset kulmala Oy)

Automaattisella paineensäädöllä olevat suihkusuuttimet aiheuttavat ongelmia nestepalojen sammutukseen, koska vesi-vaahtoseoksen tarkkaa virtaamaa ei pystytä luotettavasti määrittämään. Nestepalojen sammutuksen yksi päätekijä on tarvittavan vesi-vaahtoseoksen virtaaman tietäminen, jotta voidaan varmistua sammutuksen tehokkuudesta ja toisaalta optimoimaan vaahtonesteen kulutus. Edellä mainituista syistä ja mittaustulosten pohjalta päädyimme ratkaisuun, että vaahtoisku 2:ssa käytetään aina manuaalisia vaahtotykin kärkiä. Manuaalisessa vesitykin kärjessä on säätöasteikko, jolla voidaan säätää virtaama tarpeen

mukaan. Kun tykin rungon painemittarista luetaan vesi-vaahdoseoksen paine 7 bar, tiedetään vesi- vaahtomäärä, joka tykin kärjestä menee läpi. Tehtyjen mittausten perusteella manuaalikärjestä saatiin suurempi veden virtaus kuin automaattisella paineensäädöllä olevasta tykin kärjestä kantaman pysyessä samana.



Kuva 23. TFT Master Stream 1250 vesitykin kärjen manuaalinen virtaama säätö.



Kuva 24. Master Stream, automaattisella paineensäädöllä oleva vesitykin kärki

Vesitykin runko:

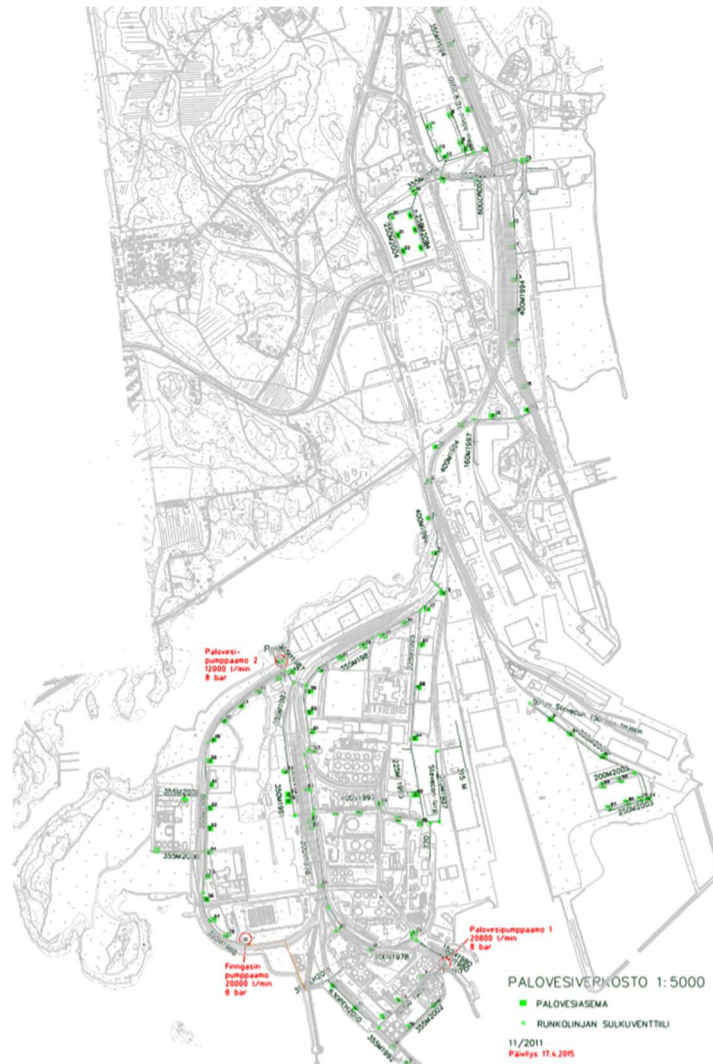


Kuva 25. Yhdistelmävesitykki, Crossfire

7.5 Palovesiverkosto ja pumppaamot

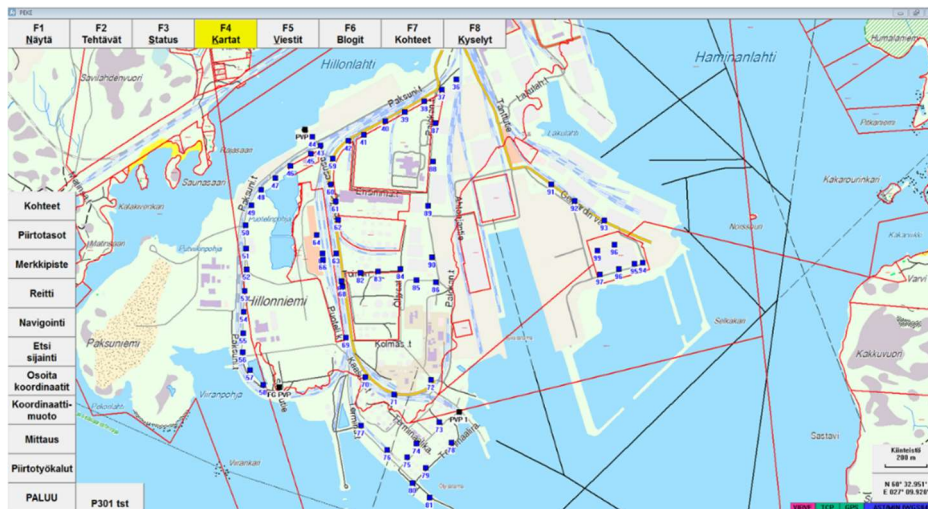
Palovesiverkostolla ja pumppaamoilla on suuri merkitys nestepalon sammutuksen onnistumiseen. HaminaKotka sataman palovesiverkoston on suunniteltu SFS 3350-standardin mukaisesti. Ongelmana satamassa on ollut palovesiasemien merkintä.

Liitessä 3 on vesiasema- ja palovesipumppaamotiedot on piirretty Peken piirtotasoon. Piirtotasolta pelastustoiminnan johtaja voi tarvittaessa katsoa tarkempia tietoja tuotoista ja vesiasemien paikoista. Vesiasemat numeroitiin piirtotasoon, mikä osaltaan helpottaa pelastusyksiköiden ryhmittämistä onnettomuustilanteessa. Merkkipisteistä löytyy tarkkaa tietoa vesiaseman ja pumppaamoiden tuotosta. Lisäksi piirtotasoon on merkitty runkoventtiileiden paikat, putkirikkojen varalta.



Kuva 26. palovesiverkosto 1:5000

Kuvan nro 27 Peken piirtotaso on tehty edellä olevan palovesiverkoston kuvan perusteella. Peken piirtotaso on nopeammin käytettävissä onnettomuustilanteessa. Palovesiverkoston kuva pitää ladata verkkoasemalta.

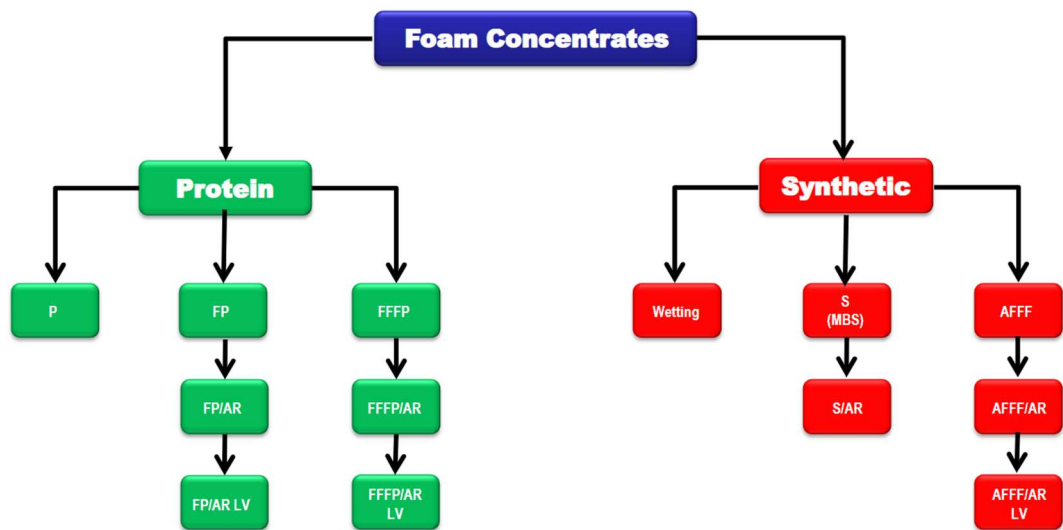


Kuva 27. palovesiverkosto Peke piirtotaso

7.6 Vaahtonesteet

Vaahtonesteet jaotellaan nykyisin proteiinivaahtoihin ja synteettisiin vaahtoihin. Molemmista tuoteperheissä löytyy vaahto niin hiilivetyypaloihin kuin myös alkoholipaloihin. Proteiinipohjaiset vaahtot on tuotettu kasvi- tai eläinkunnanproteiineista. Ongelmallista proteiinipohjaisissa vaahtoissa on niiden säilyvyys sekä kaluston huolto käytön jälkeen. Proteiinipohjaiset vaahtot sotkevat tehokkaasti välisekoittajan ja letkut. Proteiinipohjaiset vaahtot vanhetessaan alkavat haista voimakkaasti.

Synteettiset vaahtot ovat teollisesti valmistettuja. Vaahton raaka-aineet, on valmistajan salaisuuksia.



Kuva 28. Vaahtonesteiden jaottelu (FOAM and Environment, 2011)

Vaahdotyypit

- P** Proteiinipohjainen vaahtoneste. Proteiinivaahtoneste soveltuu polttonestepalojen sammuttamiseen ja suojavaahdotuksiin. Proteiinivaahtoneste tarttuu erittäin voimakkaasti pintoihin, joten pintojen suojaamiseen se soveltuu hyvin. Alkoholipaloihin proteiinivaahtoneste ei sovellu. Proteiinivaahtonesteen teho perustuu lämmönvaikutuksesta tapahtuvaan proteiinien jähmettymiseen (Sammutusjätevedet ja ympäristö, 2005, s. 68)
- FP** Fluoriproteiinivaahdotte. Proteiiniin lisätty fluori tekee vaahdosta öljyä hylkiväksi. Fluoraaminen parantaa vaahdon lämmönkestävyyttä, fluoriproteiinivaahdotte voidaan levittää kovalla syötöllä siten, että vaahdotte sukeltaa. Fluoriproteiinivaahdotte soveltuu öljypalojen sammuttamiseen. (Sammutusjätevedet ja ympäristö, 2005, s. 68)
- AR** lisäviite kuvaa aineen alkoholin kestävyttä (Alcohol resistant)
- LV** lisäviite kuvaa vaahtonesteen matalaa viskositeettiä (Low viscosity)
- FFFP** Fluorattu proteiinipohjainen vaahtoneste (fluoroproteiinivaahdotte concentrate) muodostaa palavan nesteen pinnalle ohuen, erittäin tiiviin kalvon. (Oy Veljekset kulmala)
- W** Ainesosa, jonka tarkoituksena on pienentää veden pintajännitystä. Tällaisia aineita käytetään maastopaloissa, jotta vesi tunkeutuu syvemmälle sammuttamaan paloa. (Wetting)

- S Synteettinen vaahtoneste.
- AFFF AFFF-vaahtoneste muodostaa ohuen vesipatjan vaahton ja palavan nesteen pinnalle (Sthamer). Vesipatja muodostaa yhteisen kalvon palavan aineen pinnalle. Tämä katkaisee palavan nesteen höyrystymisen. Kun höyrystyminen estetään, palon edellytykset on poistettu. Mikäli tällaista vaahtoa käytetään alkoholipaloon, vesipatja ja samalla vaahtokerros ”uppoaa” alkoholin joukkoon, tiivistä kalvoa ei pääse muodostumaan palavan nesteen pinnalle. (Aqueous Film Forming Foam)
- AFFF/AR Alkoholipaloihin tulee vaahtonesteessä olla polymeeri, joka kelluttaa vaahtopatjaa. Tämä ominaisuus saa aikaan ehjän vaahtopatjan muodostumisen, ja palavan nesteen höyrystyminen on estetty.
- 3F Täysin fluorivapaa vaahto. (fluor free foam). Vaahtot ovat kehitysasteella, ja ensimmäiset versiot on tulleet myyntiin. Puolueettomasti tutkittua tietoa tuotteista ei ole saatavilla. Teho on myyjien mukaan hyvä, mutta vaatii lisätutkimuksia.

Käytännössä nykyisin käyttäjälle jää valittavaksi, tarvitseeko sammuttaa hiilivetypaloja vai alkoholipaloja vai tarvitaanko sammutuskykyä molempiin onnettomuustilanteisiin. Kotkan ja Haminan satamien kautta kulkee molempia ainetyyppejä, joten Kymenlaakson pelastuslaitoksen yksiköihin on valittu sekä alkoholipaloon että hiilivetypaloon soveltuva vaahtoneste.

Vuonna 2017 voimaan astui PFOA-asetus poisti markkinoilta perfluoratut vaahtonesteet (Komission asetus 2017/1000, 2017). Perfluoraamalla saatiin vaahtonesteisiin huomattavan hyviä ominaisuuksia palon sammutuksen kannalta, mutta perfluoraamalla aineista tuli erittäin kuormittavia ympäristölle.

PFOA-asetuksesta lähtien vaahtojen valmistajat ovat kehittäneet markkinoille ympäristöystävällisiä vaahtoja. Vaahtojen sammutustehon kerrotaan esitteissä olevan huippuluokkaa, mutta mielestämme uuden sukupolven ympäristöystävälliset vaahtotteet tarvitsevat laajamittaisen ja puolueettoman kenttäkokeen ennen vaahtonesteen käyttöön ottamista.

7.7 Taktiikka nestepalon sammuttamisessa / Operaatiosuunnitelmat

Onnistunut pelastustoiminta perustuu etukäteen onnettomuuskohteessa tehtyihin riskienhallintatoimenpiteisiin esimerkiksi teknisiin suojelujärjestelmiin ja kohteen henkilökunnan toimintaan sekä pelastuslaitoksen henkilöstön ammattitaitoon, henkilöstön määrään, organisaation toimivuuteen, kalustoon määrään ja laatuun. (Pelastustoimen palvelutasopäätös 2020-2024)

PELASTUSTOIMINNAN ONNISTUMISEN PERUSTEKIJÄT



Kuva 29. Kymenlaakson pelastuslaitos

Teknisten järjestelmien mitoitusperiaatteet tulevat SFS-standardeista. Nestepalotilanteessa pelastustoiminnan johtajan tulee tietää palavan nesteen säiliön koko, ja tämän perusteella valitaan taktiikka palon sammuttamiseen.

Opinnäytetyön yhtenä tavoitteena oli luoda selkeät taktiset menetelmät nestepalojen sammuttamiseen. Liitteessä 2 on operatiosuunnitelma nestepalojen sammuttamiseen Kymenlaakson pelastuslaitoksessa.

Tarvittavat yksiköt vs. Erica hälytetty muodostelma

Kun Erica hätäkeskustietojärjestelmään soitetaan hätäpuhelu, hätäkeskuspäivystäjä alkaa tehdä riskinarviota, hälytettävä muodostelma rakentuu pelastuslaitoksen en-

nalta määriteltyjen vastesuunnittelun mukaisesti. Riskinarvion tuloksena muodostuu tehtävälle onnettomuustyyppi:

- liikennevälinepalo keskisuuri ja suuri (palavan nesteen maantiekuljetukset ja rautatiekuljetukset),
- tulipalo muu keskisuuri ja suuri (palavan nesteen palo terminaali-alueella, laivassa tai laituri-alueella).

Varsinainen vaahtosammutuskyky on erikoiskyky, jonka lisääminen kaikkiin palavien nesteiden paloihin on haastavaa koko Kymenlaakson pelastuslaitoksen alueella.

Kymenlaakson pelastuslaitoksen viesti- ja tietohallintopäällikkö Vesa Leinonen teki Ericasta vastemallihakuja, joiden avulla saimme selville erilaisiin nestepaloihin hälytettävän muodostelman Kymenlaaksossa. Hälytetty muodostelma vaihteli suuresti kaikissa nestepaloihin liittyvissä onnettomuustyypeissä. Etenkin keskisuurissa tehtävissä muodostelmat olivat liian pieniä ja suurissa muodostelmista puuttui esimerkiksi lisävaahtonestettä tuovat vaahtoautot.

Kuvassa nro 34 esimerkki hälytetystä muodostelmasta tulipalo muu suuri, Mussalon satama. Tehokkaan pelastustoiminnan alkamiseksi ja jatkuvuuden varmistamiseksi hälytettävään muodostelmaan tulisi lisätä vaahtoautot RKY234, RKY504, säiliöautot RKY303, 503 ja puomitikasautot RKY206, RKY506.

The screenshot shows the Erica portal interface for a fire incident. At the top, there are three incident summary cards: '433 TULIPALO, MUU: SUURI PELASTUS, B 66%', '433 TULIPALO, MUU: SUURI POLSSI, C 100%', and '433 TULIPALO, MUU: SUURI ENSIKOTO, N 100%'. Below these, there are sections for 'OMINAISUUSVAATIMUKSET' (listing various equipment like pumps and extinguishers), 'VASTE-EHDOTUKSET' (listing specific resources like RKY172, RKY31, etc.), and 'VASTE-EHDOTUKSEN TIEDOT' (listing the incident details like location, date, and time).

Kuva 30: Erica (portal vastetestaus), muodostelma, tulipalo muu suuri

Pelastustoimen tehtäväkäsittelyohjeen ja riskinarvio päivityksen myötä Erica hätäkeskustietojärjestelmä pystyy jatkossa määrittelemään paremmin erikoiskykyjä ja niiden liitettävyys eri onnettomuustyyppisiin helpottuu. Palavien nesteiden palossa on tärkeää, että koko suunniteltu vaahtoisku resurssi saa hälytyksen heti. Alkuvai-

heen ennakoivalla hälyttämällä estetään turhien viiveiden syntymistä syntymään. Tutkimuksen perusteella RKY204:n vaahtoiskussa 2 Kotkassa vaahtoneste riittää laskennallisesti 33 minuutiksi.

Ulkoinen pelastussuunnitelma pelastustoiminnan johtamisen apuvälineenä

Ulkoisen pelastussuunnitelman tulee olla riittävä tiedonlähde pelastustoimintaa varten ja vahinkojen minimoimiseksi. Ulkoisen pelastussuunnitelman tulee toimia sekä perehdyttämisasiakirjana että pelastustoiminnan tukena. Se tulee laatia käytettävyyden ja sovelletavuuden ehdoilla. Pelastustoiminnan johtajina toimivat ja pelastustoimintaan osallistuvat tulee perehdyttää ulkoiseen pelastussuunnitelmaan ja sitä koskevan alueen/kohteiden erityispiirteisiin, mahdollisiin suuronnettomuusvaaroihin sekä pelastustoimen toimintamalleihin. Perehdyttäminen toteutetaan alueelle tai kohteeseen tapahtuvien tutustumiskäyntien sekä järjestettävien harjoitusten avulla. Järjestettävät harjoitukset antavat hyvän pohjan päivittää ulkoinen pelastussuunnitelma ajan tasalle vastaamaan tarkoitustaan. Vaikka ulkoinen pelastussuunnitelma on nimenomaan suunnitelma suuronnettomuuksien torjumiseksi, voidaan suunnitelmaa tai sen osia soveltaa myös alueen tai kohteen muiden onnettomuuksien torjuntaan. (Sisäministeriö 2016, 15)

Hälytyksen tullessa muodostelman johtajan on ryhdyttävä johtamaan hälytyksen saanutta muodostelmaa välittömästi. Lisätietojen perusteella on jo alkuvaiheessa tehtävä riittävät lisähälytykset. Tällä hetkellä esimerkiksi tulipalo muu suuri-tehtävälle lähtee rajoitettu määrä yksiköitä Kymenlaakson pelastuslaitoksen alueella. Pelastustoiminnan johtajan on matkalla otettava yhteys kohteen edustajaan, jotta voidaan varmistua säiliön koosta, täyttöasteesta, toiminnasta (purkaus/lastaus/ei toimintaa) varastoidusta aineesta, kiinteistä sammutusjärjestelmistä ja altistuneista sekä saada käsitys, millaisesta nestepalosta on kysymys. Alkutietojen selvittämisen jälkeen tulee selvittää palon sammuttamiseen tarvittava vesi-vaahtovirta, tuulensuunta ja nopeus. Edellä mainittujen tietojen perusteella pelastustoiminnan johtajan tulee tehdä päätös hyökkäysreitistä ja kohteen lähestymisestä nestepalosta aiheutuva lämpösäteily huomioon ottaen. Tässä vaiheessa ensimmäinen yksikkö saapuu kohteeseen ja antaa lisätiedot kohteesta Virve:n avulla pelastustoiminnan johtajalle. Pelastusyksiköiden ryhmitys pitää määrittellä ja käskää varsinaiseen vaahtoiskuun liittyvät yksiköt suoraan kohteeseen oikeille paikoille ja tukiyksiköt sisääntulokohtaan toimintavalmius reserviin. On täysin varmaa, että suuressa nestepalo tehtävässä tulee kohteesta, varsinaisesta onnettomuudesta, kalustorikoista tai muista syistä johtuvia muuttujia, joihin ei pysty

täysin varautumaan. Tästä johtuen riittävän suuri toimintakykyinen reservi sisääntulokohdassa on perusteltua.

Selvityskäskyn jälkeen ja selvitysten aikana tulee huomioida mahdollisten viereisten varastosäiliöiden aiheuttama riski domino ilmiön välttämiseksi. Kymenlaakson pelastuslaitoksen päivystävän päällikön P20:n ottaessa johtovastuun ja perustettuaan johtopaikan, johtopaikalle hankitaan riittävä esikunta johtamistoimintaa varten. Johtamispaikalle tulisi saada ainakin yrityksen edustaja tai asiantuntija sekä poliisin, ensihoidon, ja alueen edustaja (sattama). Puomitikasauto ja RPAS-miehittämättömät ilma-alukset ryhmitetään yhdeksi ryhmäksi, jonka tehtävänä on luoda tilannekuvaa pelastuskomppanian esikunnalle johtamistoimintaa varten. Suositeltavaa olisi, että puomitikasauto kuvaa kohteessa lämpökameran avulla ja vähintään kaksi RPAS-miehittämätöntä ilma-alusta tuottavat jatkuvaa videokuvaa ja stillkuvia palavasta säiliöstä.

Palavien nesteiden säiliöpalossa tulee valmistautua 60 minuutin yhtämittaiseen vaahdotukseen. Riittävästä vaahtonesteen määrästä palopaikalla tulee huolehtia ja tarvittavat lisähälytykset tulee tehdä ennakoidusti. Nesteellä on paras asiantuntemus palavien nesteiden sammuttamisesta Suomessa ja suuri määrä erikoiskalustoa ja tätä tulee pelastustoiminnan johtajan hyödyntää.

8 YHTEENVETO JA POHDINTA

Opinnäytetyön aikana tehtyjen tutkimusten ja käytännön mittausten perusteella voidaan todeta nestepalojen sammutuksen teorianäytetyön Kymenlaakson pelastuslaitoksella kehitetyneen eteenpäin opinnäytetyön tekemisen aikana. Opinnäytetyön aikaisilla kenttäkokeilla ja kalustohankinnoilla saatiin RKY204:stä suunniteltu pumpputeho 10000 l/min käyttöön. Manuaalisesti säädettävien vesitykin kärkien vaihtaminen automaattisella paineensäädöllä varustettujen vesitykkien kärkien tilalle mahdollistaa vesimäärän tarkemman määrittämisen.

Kehittämistä ja lisäselvitystä vaativia asioita:

1. Vesiasemien avaamisen työturvallisuuden lisääminen. Satamien palovesiverkostoon tulisi lisätä pääventtiilit jokaiseen vesiasemaan. Tällä minimoitaisiin mahdollisen liitin tai letkurikon aikainen loukkaantuminen, kun vesiaseman paineventtiilit avattaisiin täysin auki ja sen jälkeen vasta pääventtiilin avaus (pääventtiili sijoitettu turvallisen matkan päähän).
2. Säiliöautoihin, jotka pystyvät tekemään vaahtoisku 1:n, lisätään katolle letkulaatiko, jossa on ajoselvitettävää 110 mm ja 150 mm letkua. Kyseinen letkumäärän lisäys auttaisi yksiköiden nopeaan vaahtoisku 1:n tekemiseen omalla kalustolla.
3. Vesiasemien numerointi ja vesimäärä tieto l/min ja venttiilin täysin auki olo kierrosmäärän merkintään kyltein jokaiselle vesiasemalle yrityksissä, joissa varastoidaan merkittäviä määriä palavia nesteitä.
4. Vesiasemakartat päivitetään HaminaKotka satamissa. Karttoihin laitetaan samat tiedot, jotka merkittäisiin vesiasemiin. Palotilanteessa merkinnät helpottavat pelastustoiminnan johtajaa, kun on selvillä, paljon palopaikan läheisyydessä olevat vesiasemat tuottavat.
5. HaminaKotka sataman palovesipumppaamossa tehdään kuormituskoe ja suurin vesivirta mitataan suurpalotilannetta kuvaavassa palossa. Pumppaamoiden paineenkorotus-järjestelmää tarkastellaan kriittisesti ja tehdään kaavio pumppujen tehoista.

6. Hankitaan siirrettävä vesitykki 10000 l/min viimeistään uuden vaahtoauton RKY204 hankinnan yhteydessä. Suurivirtauksisella tykillä saataisiin kantomatkaa kasvatettua ja palon sammuttamisen mahdollisuus tuulisella säällä paranisi.
7. Tehdään siirrettävän pumppukontin yhteishankinta HaminaKotka sataman ja Kymenlaakson pelastuslaitoksen toteuttamana. Pumppukontin ominaisuudet jotka on oltava vastaavat kuin Nesteen Sipoon jalostamolla. Pumpputeho ja kauko-ohjattava vesitykki 20 000 l/min.
8. Letkukaluston uudishankinta saatetaan loppuun ja hankitaan 110 mm letkukalustoon Storz-liittimet. 110 mm letkuissa nyt olevat kynsiliittimet aiheuttavat työturvallisuusriskin pelastajille. Lisäksi tulee selvittää 110 mm ja 150 mm letkujen koeponnistamiseen liittyvän kaluston hankinta. Suurten vesimäärien ja vaahtokaluston tulee olla putkiluokan PN16 mukaisia.
9. Erica-hälytettävän muodostelman tarkentamiseen nostetaan kyvykkyyksiä nestepaloissa ja pelastustoiminnan johtajan pyytäessä lisähälytys tulipalo muu suuri. Hälytetty muodostelma täydentyy riittäväksi ennakolta suunniteltujen muodostelmien mukaisesti.

8.1 Koulutusmateriaali

Pelastuslaitoksen operatiivinen henkilökunta harjoittelee nestepalon sammutusta tulevaisuudessa 2 kertaa vuodessa. Koulutusmateriaali on luotu tämän opinnäytetyön pohjalta ja Nesteen paloturvallisuusasiantuntija Jaakko Valtosen ja palomestari Jommi Hyttisen käytännön kokemusten pohjalta.

Koulutusmateriaali jaetaan kahteen sisällöltään erilaiseen koulutuspakettiin. Koulutuspaketti 1 on luentomateriaali, joka koulutetaan vuosittain operatiiviselle henkilökunnalle. Luennon jälkeen tehdään käytännön harjoitus vaahtoisku 1:tä. Koulutuspaketti 2 kouluttaminen ajoittuu keväälle. Koulutuspaketti 2 jakaantuu kahdelle työvuorolle, ensimmäisessä työvuorossa käydään luentomateriaali ja ulkoinen pelastussuunnitelma läpi ja tutustutaan kalustoon ja seuraavassa työvuorossa on käytännön harjoitus palavien nesteiden toimintaa

harjoittavassa yrityksessä, tutustuminen kiinteisiin sammutusjärjestelmiin ja yrityksen toimintaan.

Koulutuspaketti 1:

- riskiperusta, nestepalo tyypit: varastosäiliö, junanvaunu, VAK-kuljetus maantiellä, vaahtosammutus, vedensiirto, ulkoinen pelastussuunnitelma, operaatiosuunnitelma, käytettävissä oleva kalusto, taktiset periaatteet ja ”nyrkkisäännöt”.

Koulutuspaketti 2

- vaahtoisku1 ja vaahtoisku 2 Kotka ja Kouvola, selvitysmallit, palovesijärjestelmä, tykkien suuntaus, puomitikkaiden käyttö periaate,

Lisäksi olemme tehneet selvitysvideot vaahtoisku 2:n tekemisestä HaminaKotka sataman nestesatamissa. Videolla esitetään kokonaissuoritus ja osasuoritukset on pyritty kuvaamaan niin realistisesti kuin mahdollista. Videot taltioidaan pelastuslaitoksen serverille ja koulutusmateriaaleihin upotetaan linkki kyseiseen materiaaliin. Kaikki tähän opinnäytetyöhön liittyvä lähdemateriaali luovutetaan Kymenlaakson pelastuslaitoksen käyttöön ja tallennetaan vastuualuekansioon, jolloin laajempi perehtyminen aiheeseen on mahdollista.

Tämän työn tekeminen oli meille todella opettavainen kokemus, joutuimme epämuakvuusalueelle. Olemme molemmat toiminnan miehiä, ison kirjallisen työn tekeminen tuntui aluksi jopa ahdistavalta. Työn edetessä huomasimme, että työ tekijäänsä opettaa. Voimme todeta, että kirjoittamisesta, lähde materiaalin etsinnästä ja käytöstä on tullut sujuvaa.

Alkuvaiheessa suurin haaste oli opinnäytetyö prosessin omaksuminen. Opinnäytetyötä on tehty koko opiskelun ajan ja tehtävä huipentui työn varsinaiseen kirjoitus vaiheeseen syksyn 2019 aikana. Tämän työn tekemiseen on haastateltu useita henkilöitä, heidän kommentistaan olemme saaneet varmistuksen, että aihevalinta on oikea ja tarpeellinen pelastuslaitokselle. Alueellisen pelastustoimen vaahtosammutuksesta, selvitysmalleista ja kalustosta ei löydy lähde materiaali lukuun ottamatta vaahtokirjaa, jota voidaan pitää vanhentuneena teoksena.

Opinnäytetyön teon alkuvaiheessa tehtiin kenttäkokeita ja mitattiin vesimääriä useista Kymenlaakson pelastuslaitoksen säiliö- ja vaahtoautoista. Tällä saatiin pohja, johon kehitys ja kalusto hankinnat perustuvat. Uutta kalustoa tilattiin ja sijoitettiin pelastusyksiköihin. Seuraavassa kenttäkokeessa ja mittauksissa selvitettiin vesimääriä kaloustouudistusten jälkeen,

kenttäkokeen perusteella kehitimme uudet vaahtoisku mallit Kymenlaakson pelastuslaitokselle. Opinnäytetyön aikana jouduimme tutustumaan nesteiden varastointia ja kuljetusta ohjaavaan lainsäädäntöön, standardeihin, nestesäiliöiden rakenteeseen, kiinteisiin sammuusjärjestelmiin, vaahtosammutuskalustoon ja palovesiverkostoihin. Työn edetessä ja tieto perustan lisääntyessä selvitimme matemaattisin laskelmin, millaisia nestepaloja uusilla vaahtoiskumalleilla on mahdollista teoriassa sammuttaa.

Teoriaosuuden jälkeen vuorossa oli operaatiosuunnitelma rakentaminen pelastustoimen johtajalle sekä koulutusvideoiden ja koulutusmateriaalin tekeminen, johon koko opinnäytetyö huipentui. Opinnäytetyötä mukaillen koulutusmateriaali on tulevaisuudessa keskeisessä roolissa Kymenlaakson pelastuslaitoksen operatiivisen henkilöstön koulutuksessa nestepalojen sammutuksessa tulevaisuudessa.

Nestepalojen sammutus aiheena on todella laaja ja monisäikeinen. Työn tekemisen aikana oli ongelmana, kun aloit perehtymään asiaan syvemmin, nopeasti huomasi, että työ alkaa laajeta liikaa. Tätä asiaa jouduttiin miettimään usein ja tekemään selkeitä rajoituksia. Nestepalojen sammutus muuttuu tulevien vuosien aikana merkittävästi ympäristölainsäädön ja -standardien johdosta. Esimerkiksi vaahtonesteille on tulossa paljon kieltoja.

Nykyisin käytössä olevat vaahtonesteet toimivat tämän hetkiselällä kalustolla, mutta ympäristöystävällisien vaahtonesteiden tullessa pakolliseksi myös kalusto joudutaan uusimaan tai päivittämään. Vaahtonesteiden ympäristövaikutuksiin, sammutusvesien keräämiseen ja kalusto uudistukseen liittyviä aiheita riittäisi kokonaisen opinnäytetyön tekemiseen.

LÄHTEET

Dr. Sthamer 2011. *FOAM and Environment*.

Euroopan komissio 2017. Komission asetus 2017/1000. Euroopan unionin komissio. Bryssel.

Hall, J., & Matts, J. 2002. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Quincy, Massachusetts. SFPE

Hätäkeskuslaitos 2020. Valtakunnallisesti verkottunut viranomaisten yhteiskäyttöinen hätäkeskustietojärjestelmä ERICA. www-dokumentti.

https://www.112.fi/hatakeskusuudistus/uusi_tietojarjestelma

Instituut Fysieke Veiligheid 2016. *Maximum allowable exposure to different heat radiation levels*. Instituut Fysieke Veiligheid. Zoetermeer.

Palontorjunta 1989. Säiliöpalosta 30 miljoonan vahingot.

Kaakkois-Suomen ympäristökeskus 2004. *Seveso-laitokset ja maankäytön suunnittelu*. Kaakkoissuomen ympäristökeskus. Kotka.

Kfloat-verkkosivu. Kuva haettu 10.1.2020. <http://kfloat.com/contents/product/>

Korkki, K. 2016. *Perfluorattujen alkyyniaineiden ympäristövaikutukset Suomessa*. Suomen ympäristökeskus. Helsinki.

Kymenlaakson pelastuslaitos. 2020. *Pelastustoimen palvelutasopäätös 2020-2024*. Kymenlaakson pelastuslaitos. Kotka.

Laki vaarallisten aineiden kuljetuksesta (719/1994)

Mellin, I. 2006. *Tilastolliset menetelmät: Lineaarinen regressioanalyysi*. TKK.

Turvallisuustutkintalaki (525/2011)

Nyman, P. opinnäytetyö 2018. *Sammutusjätevesien hallinta ja sammutusvaahdot*. Lahden ammattikorkeakoulu. Lahti

Palotorjunta lehti

Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto 2016. *Pelastustoimen käsitteet*.

Pelastuslaki (379/2011)

Pelastustieto lehti.

Haminan satama 2017. *Liikennetilastot 2017*. HaminaKotka satama. Kotka.

Hyttinen, V. Tolonen, P. ja Väisänen, T. 2007. *Palofysiikka*. SPEK. Helsinki.

SFS 14015. 2005. *Nesteiden varastointiin vähintään ympäristön lämpötilassa käytettävien säiliöiden suunnittelu ja valmistus. Paikalla rakennettavat pystylieriön muotoiset tasapohjaiset maanpäälliset hitsatut terässäiliöt*.

SFS 3350 2016. *Palavien nestemäisten kemikaalien varastopaikka ja siellä olevat kemikaalien käsittelypaikat*.

SFS 3357 2017. *Palavien nestemäisten kemikaalien varaston sammutus- ja palontorjuntakalusto*.

Sisäministeriö 2012. *Pelastustoimen toimintavalmiuden suunnitteluohje*. Sisäasiainministeriö. Helsinki.

Sisäministeriö 2016. *Ulkoisen pelastussuunnitelman laatiminen*. Sisäministeriö. Helsinki.

Statens räddningsverket, Suomentanut Sakari Halmemies. 1993. *Vahtokirja*. Karlskilda/Espoo.

Tepa termipankki. <http://www.tsk.fi/tepa/fi/haku/bulkkitavara>

TFT. 2013. *Masterstream nozzle series manual*. TFT.

TUKES. 2015. *Vaarallisten kemikaalien varastointi*. TUKES.

TUKES. *Kemikaalilaitosten yhteistoiminta onnettomuuksien ehkäisemiseksi*. TUKES.

Turunsanomat. 28.7.1948. *Naantalissa suurpalo*. Turunsanomat. Turku.

Tutkijalautakunta. 1991. *Tutkintaselostus Haminan Poitsilan ratapihalla 27.8.1989 tapahtuneesta säiliövaunupalosta*. Oikeusministeriö. Helsinki.

Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta (390/2005).

Valtioneuvoston asetus vaarallisten aineiden kuljetuksesta tiellä (194/2002).

Valtioneuvosto. 2012. Vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista.

Veljekset kulmala Oy. Folwmaster virtausmittari.
www.veljeksetkulmala.fi/tuotteet/flowmaster-virtausmittari/

Veljekset kulmala Oy. TFT sumukärjet. www.veljeksetkulmala.fi/tuotteet/tftsumukarjet/

Veljekset kulmala Oy. STORZ liittimet. www.veljeksetkulmala.fi/tuotteet/stortz-letkuliittimet/

VR. *Idän liikenteen kalusto*. www.vrtranspoint.fi/fi/vr-transpoint/asiakkaan-opas/kalusto/rautatiekalusto/idan-liikenteen-vaunut/sailiovaunut/sailiovaunu/sailiovaunu---vgobo/

LIITTEET

LIITE 1

Säiliön sammuttamiseen tarvittava vesimäärä.

Määrät on laskettu SFS 3357 mukaan. Standardi määrittelee kiinteille järjestelmille mitoit-
tus vesivirran. Mikäli käytetään siirrettävää kalusto tulee vesimäärien olla 1.5 kertainen
taulukon verrattuna (SFS 3357, 4.5). Laskelmissa on käytetty 3% vaahtoa. SFS 3357
mukaan kohteissa tulee varautua 60minuutin sammutustyöhön. Vallitiloissa on määritelty
erikseen keskiraskas ja raskaan vaahdon sammutusajat.

Säiliön pinta-ala $A_s=1134 \text{ m}^2$

Säiliön halkaisija $D=38 \text{ m}$

Mikäli sammutettava tuote hiilivetyä:

Vesimäärä $1,5 * 1134 \text{ m}^2 * \frac{4 \text{ l}}{\text{m}^2} / \text{min} = 6810 \text{ l/min}$

Vaahtomäärä $6810 \frac{\text{l}}{\text{min}} * 60 \text{ min} * 3\% = 12260 \text{ l}$

Mikäli alkoholipalo:

Vesimäärä $1,5 * 1134 \text{ m}^2 * \frac{8 \text{ l}}{\text{m}^2} / \text{min} = 13620 \text{ l/min}$

Vaahtomäärä $13620 \frac{\text{l}}{\text{min}} * 60 \text{ min} * 3\% = 24520 \text{ l}$

Vallitilojen sammutukseen tarvittava vaahtoliuoksen määrä:

Vallitilan pinta-ala $A_v=4134 \text{ m}^2$

Vaahtoliuoksen määrä neliötä kohden (SFS 3357, taulukko 6)

Vaahtovirta hiilivetypalossa $4134 \text{ m}^2 * \frac{5 \text{ l}}{\text{m}^2} / \text{min} = 20670 \text{ l/min}$

Tarvittava vaahtomäärä:

Keskivaahtoa käytettäessä $18120 \frac{\text{l}}{\text{min}} * 30 \text{ min} * 3\% = 18620 \text{ l}$

Raskasvaahtoa käytettäessä $18120 \frac{\text{l}}{\text{min}} * 45 \text{ min} * 3\% = 27910 \text{ l}$

Vaahtovirta alkoholipalossa $4134 \text{ m}^2 * \frac{10 \text{ l}}{\text{m}^2} / \text{min} = 41340 \text{ l/min}$

Tarvittava vaahtomäärä:

Keskivaahtoa käytettäessä $41340 \frac{l}{min} * 30min * 3\% = 37210 l$

Raskasvaahtoa käytettäessä $41340 \frac{l}{min} * 45min * 3\% = 55810 l$

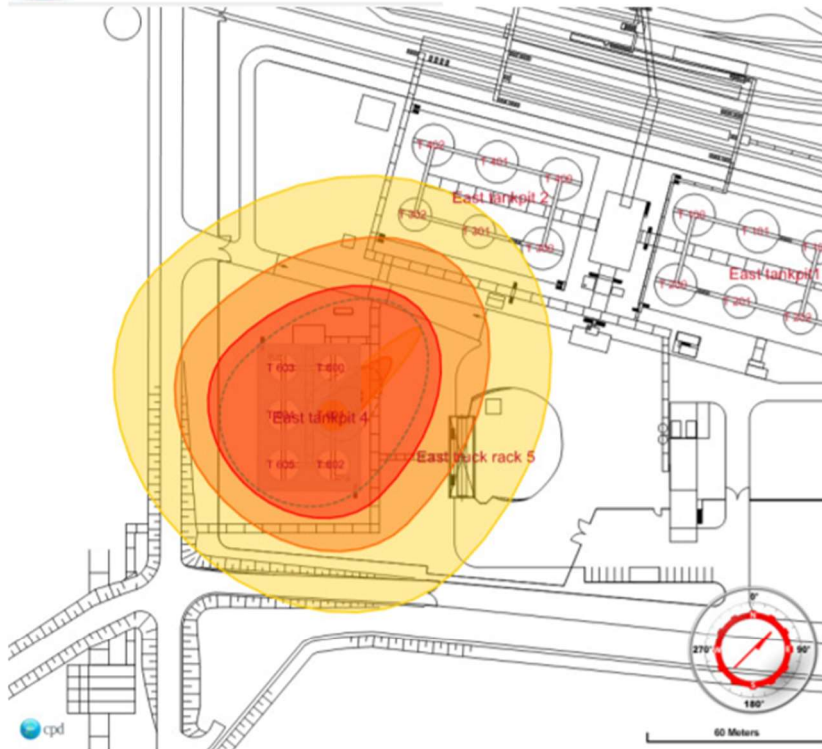
LIITE 2: Operaatiosuunnitelma, esimerkki

NESTEPALON OPERAATIOSUUNNITELMA KYMENLAAKSON PELASTUSLAITOS		ESIMERKKI		
<p>YLEINEN TAKTIikka: JÄÄHDYTYKS: Viereisten säiliöiden jäähdytys tarvittaessa (liekkikosketus, lämpöherkät aineet, maalivaurio, vesi höyrystyy pinnalta). Palavan säiliön reunojen jäähdytys vasta sammutuksen loppuvaiheessa SAMMUTUS: Vaahtoisku 1 kokeillaan aina! Resurssien kokoaminen koko sammutusta varten, ensisijainen sammutus kiinteillä järjestelmillä! Vaahtotykeillä keskittetty vaahtoisku! Reuna-alueen sammutus RKY106 tai RKY506 tykillä! Vaahtotuksen ylläpito, kunnes säiliö tyhjennetty! Varauduttava 60min vaahtosammutukseen! Letkukitkat nyrkkisääntö 4l/s, 4" 2000l/min ja 6" 5000l/min pituudella ei merkitystä! Lähestyminen tuulen yläpuolelta pienentää lämpöäteilyä merkittävästi!</p>				
TORIUNTAVAIHE	TEHTÄVÄT	RESURSSIT	TUOTANNON TEHTÄVÄT	HUOMIO
Säiliöiden sammutus kiinteillä vaahtodotuslaitteilla (kaikki säiliöt koot) Yksiköt jäähdytys: RKY133, RKY233, RKY162, RKY172 Yksiköt vaahtoisku valmius: RKY203, RKY303, RKY204, RKY234, RKY503, RKY504. Yksiköt vesihuolto: RKY2094+letkukontti, RKY169, R1, RKY5597, (RKY4394 ja RKY4594+ lavat lisäletku Jylpyltä)	PÄÄTEHTÄVÄT: -lähisäiliöiden jäähdytys -sammutus kiinteillä järjestelmillä	Tykkien kapasiteetit: Yksiköt jäähdytys: RKY133 4500l/min, RKY233 2500l/min, RKY162 2500l/min, RKY172 2500l/min Yksiköt vaahtoisku valmius: RKY203 4500l/min, RKY303 4500l/min, RKY204 10 000l/min, RKY503 4500l/min Vaahtonesteet: RKY204 10000l Fomtec ARC 3x3 RKY234 10000l Komet extract AX RKY504 12900l Fomtec ARC 3*3	-siirrot seis -vallitilan venttiilit kiinni -säiliön täyttöaste vapaa tila vaahtolle -lämpötilatiedot säiliöstä -tietojen välitys pelastustoiminnan johtajalle -sammutusvedet hallinta	Säiliön kohdekortin tiedot -lämpöherkät aineet -ylikehumisvaara Boil over. (raakaöljy, raskas polttoöljy, bio-polttoaineet) -> evakuoit 1000m -säiliöiden jäähdytys tarve
Säiliö 10m-52m sammutus siirrettävällä kalustolla Lisähälytys Neste Porvoo IR141 tykki 5000l/min IR116 vaahtopuomi 56m, 7500l/min FIFI-kontti pumppu ja tykki 20000l/min Vaahtokontit x3 yhteensä 30000l vaahtonestettä	PÄÄTEHTÄVÄT - vaahtosammutus TUKITEHTÄVÄT: -lähisäiliöiden jäähdytys -vesihuolto -vaahtotäydennys RKY234 ja Neste kontti	Vaahtoisku 1 4700l/min Vaahtoisku 2 Kotka 10000l/min Vaahtoisku 2 Kouvolaa 4700l/min Vaahtotykkien kokonaisvirtaama 19 400l/min, valitse riittävän iso isku! vesi palovesiverkostosta	-Säiliöiden tyhjennykset pelastustoiminnan johtajan hyväksymällä tavalla.	Tykkien suuntaus tuulen yläpuolelta! RKY234 vaahto ei sovellus alkoholipaloon! RKY237 ja RKY4372 Drone tilannekuva! Palovesipumppaamonhoitaja!

LIITE 3 Esimerkki säiliö- ja vallialueen kohdekortista.



Oiltanking Kotka



Thermal

Personnel	Installations
0.3 kW/m ²	32 kW/m ²
3 kW/m ²	10 kW/m ²
1.3 kW/m ²	

Model Name: East asetoni palo vallialue 4

Model Author: Eeva-Mari Lantta
Model date: 03/20/2015

Weather Conditions

Wind Direction: South West / 225°
Wind Speed: 5.00 m/s / 18.00 km/h / 3 Beaufort
Wind Height: 10.00 m
Temperature: 15.00 °C
Relative Humidity: Low
Cloud Cover: Partial/Cover
Terrain: Water / Rural
Day / Night: Day
Season: Summer
Stability Class: C

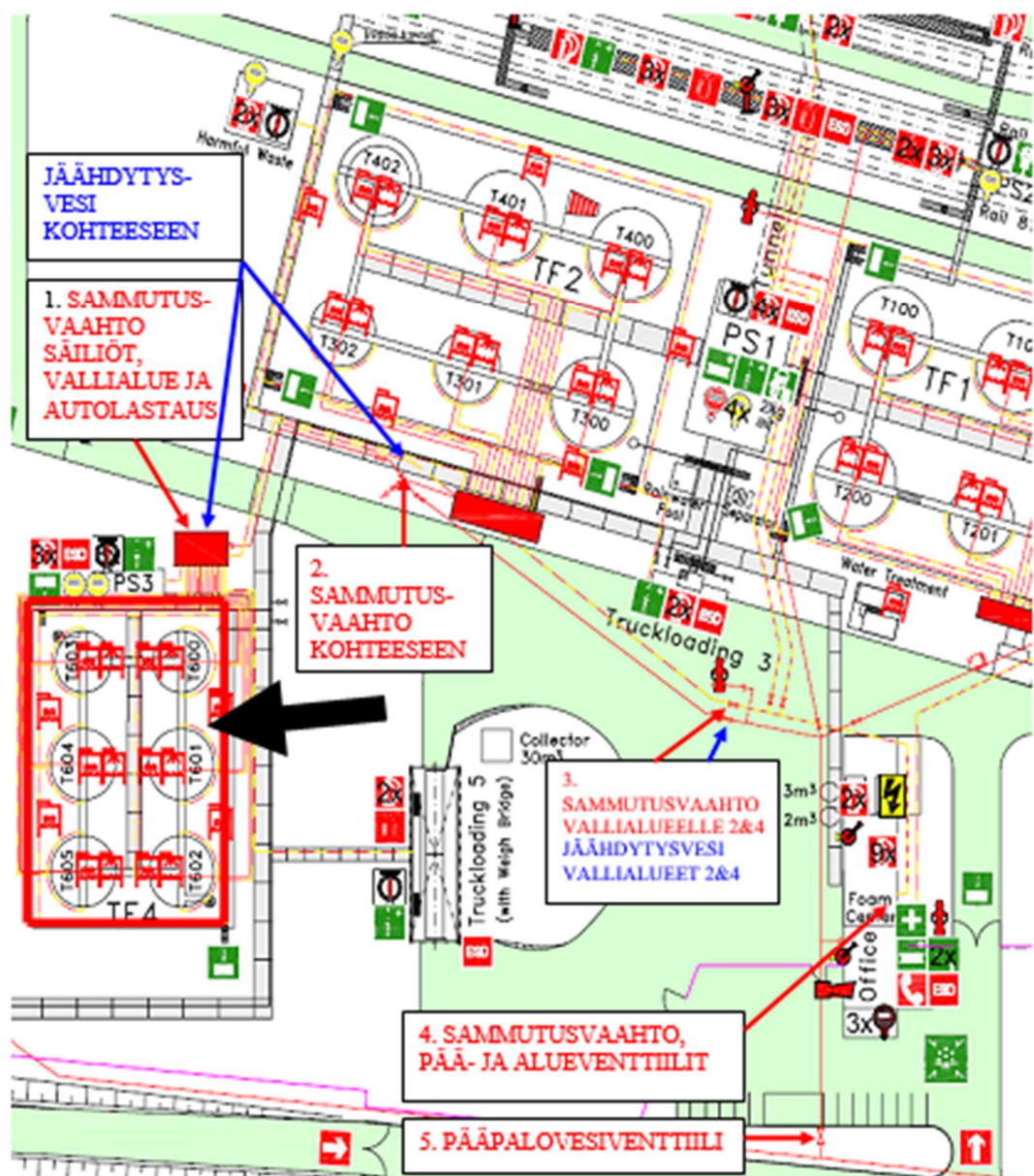
Scenario Details

Thermal Tank Model: asetoni FA601
Tank Name: T 601
Tank Height: 16.00 m
Tank Diameter: 11.08 m
Product Name: Acetone
Product Temperature: 15.00 °C
Include Solar: False

Thermal Tankpit Model: Vallialue 4 asetoni

Tankpit Name: East tankpit 4
Tankpit Height: 1.41 m
Tankpit Area: 1136.81 m²
Product Name: Acetone
Product Temperature: 15.00 °C
Include Solar: False

LIITE 4 Esimerkki Säiliö ja vallitilakohtainen sammutussuunnitelma

VALLIALUE XXX PALAA:**VESIVALELU/VESI KOHTEISIIN:** KAIKKI VALLITILAN SÄILIÖT**VAAHTO KOHTEISIIN:** VALLITILA 4 JA VALLITILAN SÄILIÖT**SUOJATTAVAT KOHTEET:** VALLIALUE 2 JA AUTOLASTAUS 5

Mittaus päivä ja numero	Vaahoitusku malli	Vesilähde	Syöttöletkun koko (mm)	Virtraus mittarien paikka syöttö	Vesimäärä (l/min)	Syöttö Paine (bar)	Pumppu paine RKY 204	Virtrausmittarin paikka paine	Vesimäärä (l/m)	Paine	Letkukoko (mm)	Tykinrunko	Kärki	Tykillä paine (bar)	Suihkun pituus (m)	Suihkun korkeus (m)	Vesimäärä yhteensä l/min
5.6.19 1	Hamina	Vesiasema	4x110			4,4	10,3	X	2070 2000	7,5 7,8	4x110		man	6,5 6,5			8140
5.6.19 2	Hamina	Vesiasema	4x110			5,7	10,1	X	2020 2040 2010	7,5 7,4 7,2	4x110		man	6,5 6,0			8093,333
5.6.19 3	Hamina	Vesiasema	4x110			5,5	11,5	X	1770 2000 2000	9,0 9,0 9,1	4x110		auto	9,0 8,0			7693,333
5.6.19 4	Mussalo	Vesiasema	2x150			6,6	12,8	X	2010 2130 2140	10,0 10,0 11,0	4x110		auto	9,0 8,0			8373,333
5.6.19 5	Mussalo	Vesiasema	2x150			6	11,6	X	2160 2240 2140	8,1 8,0 8,0	4x110		man	6,5 6,0			8720
5.6.19 6	Mussalo	Vesiasema	2x150			8,3	12,4	X	2260 2360 2210	9,0 9,8 9,0	4x110		man	7,0 7,0			9106,667

Mittaus päivä ja numero	Vaahoitusku malli	Vesilähde	Syöttöletkun koko (mm)	Virtraus mittarien paikka syöttö	Vesimäärä (l/min)	Syöttö Paine (bar)	Pumppu paine RKY 204	Virtrausmittarin paikka paine	Vesimäärä (l/m)	Paine	Letkukoko (mm)	Tykinrunko	Kärki	Tykillä paine (bar)	Suihkun pituus (m)	Suihkun korkeus (m)	Vesimäärä yhteensä l/min
6.6.19 1	Hamina	Vesiasema	4x110			4,5	10,3	X		2100	7,5	4x110		man	6		8400
6.6.19 2	Mussalo	Vesiasema	2x150			6,4	11,5	X		2200	8	4x110		man	6		8800
6.6.19 3	Mussalo	Vesiasema	2x150			8,4	12,5	X		2300	9	4x110		man	7		9200
6.6.19 4	Mussalo	Vesiasema	2x150			6,5	12,1	X			4x110		man	7			

Mittauksissa suurimmat muutokset mittaustuloksiin aiheutti:

3.6 ja 4.6 vesiasema oli avattuna vajavaisesti, noin puolet

Tykin kärjen muutos manuaalikärjestä automaattikärkeen.