

Mikko Westerlund

# HARJOITUSVAAHTONESTEET PALOKOULUTUKSESSA

Opinnäytetyö

Insinööri AMK

Merenkulun koulutus

2023



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri AMK
Tekijä	Mikko Westerlund
Työn nimi	Harjoitusvaahtonesteet palokoulutuksessa
Toimeksiantaja	Merenkulun turvallisuuskoulutuskeskus
Vuosi	2023
Sivut	29 sivua
Työn ohjaaja	Roopertti Tikkanen

## TIIVISTELMÄ

Meriturvan Palokoulutusyksikössä tehdyn harjoitusalueen remontin yhteydessä vaihdettiin osa alueen vanhoista dieselpolttoaltaista nykyaikaisiin ja ympäristöystävällisempiin kaasutoimisiin toimilaitteisiin. Uusien toimilaitteiden rinnalla käytetään edelleen pienempiä dieselpolttoaltaita, joten harjoitusvaahtonesteiden pitää soveltua molempiin käyttöihin.

Tämän tutkimuksellisen työn avulla haluttiin selvittää harjoitusvaahtonesteiden soveltuvuutta uusille laitteille sekä markkinoilta löytyvien harjoitusvaahtonesteiden teknisiä ominaisuuksia. Heräsi myös kysymys, olisiko markkinoilla myytävissä harjoitusvaahtonesteissä eroja käytännön palokoulutuksessa?

Työtä varten palokoulutusyksikköön hankittiin kahta erilaista harjoitusvaahtonestettä. Tutkimuksesta rajattiin hyvissä ajoin pois valmistajien tarjoamat sammutusvaahtonesteet, vaikka ne olisivatkin olleet ympäristökriteereiltään vastaavia harjoitusvaahtonesteiden kanssa. Sammutusvaahtonesteet eivät sovellu ominaisuuksiensa puolesta koulutuskäyttöön. Vertailtavia harjoitusvaahtonesteitä testattiin oppilasharjoituksissa ja tuloksia pyydettiin kouluttamiseen osallistuneilta kouluttajilta. Lisäksi muiden palokoulutusyksikön kouluttajien kanssa keskusteltiin vapaamuotoisesti harjoitusvaahtonesteiden käyttökokemuksista vanhojen dieselöljyaltaiden ja uusien kaasutoimisten toimilaitteiden toimivuudesta harjoituksissa.

Tuotevertailussa ei harjoitusvaahtonesteiden väliltä löytynyt suuria eroja viskositeetin lisäksi. Toinen tuote tuotti keskiraskaalla vaahdolla hieman paremmin vaahtoa, mutta muita käytännön eroja tuotteiden välillä ei ollut. Käyttökokemuksissa esille nousivat haasteet kaasutoimisen harjoitusaltaan tyhjennyksessä. Vaahtoa ei nykyisillä menetelmillä saa altaasta tehokkaasti puhdistettua. Allas saattoi vaahdota huuhtelusta huolimatta vielä seuraavilla käyttökerroilla. Työn tulokset osoittivat, että Palokoulutusyksikössä voidaan tulevaisuudessakin harjoitella harjoitusvaahtonesteillä.

**Asiasanat:** vaahdot, sammutus, ympäristö, palokoulutus

Degree title	Bachelor of Engineering
Author	Mikko Westerlund
Thesis title	Training foam concentrates in firefighting training
Commissioned by	Maritime Safety Training Centre
Time	2023
Pages	29 pages
Supervisor	Roopertti Tikkanen

## ABSTRACT

Meriturva's Fire Training Unit had a renovation in their training field a few years ago. During the process most of the outdated diesel pools were replaced by modern practise devices that use propane. New devices are also more environmentally friendly than the old ones. However, diesel is still in use besides propane. Therefore, training foams must be suited for both diesel and propane devices.

The main objective of the thesis was to study the suitability of training foam concentrates for new devices. The second objective was to compare the technical data of currently available training foam concentrates and study if the compared training foam concentrates had any practical differences in firefighting exercises. In order to compare the qualities, two different products were purchased. Non-training foams were excluded, because they are not suitable for training use. The products were tested during normal training courses, and feedback was collected from the participating fire instructors. General feedback was also collected from other Meriturva fire instructors related to the differences between the old diesel pools and the new propane devices.

The product comparison did not reveal any other differences except viscosity. In practical exercises, the instructors noticed that one of the products generated slightly more foam in the medium expansion range. During exercises, the instructors noted that it was not easy to flush the foam completely from the propane pool and some foam remained in the pool in the following day. The results of the study strongly suggest that the Fire Training Unit can continue teaching and training using training foam concentrates.

**Keywords:** foam, extinguishing, environment, fire training

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	KÄSITTEET .....	6
3	TUTKIMUKSEN TAUSTA .....	7
3.1	Meriturvan palokoulutusyksikkö .....	7
3.2	Koulutusympäristö .....	8
3.3	Paloluokat .....	9
3.4	Sammutusvaahdot .....	9
3.5	Sammutusvaahtonesteet .....	11
3.6	Vaahtolaitteistot .....	12
3.7	Vaahdot palokoulutuksessa .....	14
3.8	Ympäristökohtaiset rajoitteet .....	15
3.9	Koulutukseen vaikuttavat säännökset .....	16
4	TUTKIMUSONGELMA .....	17
5	AINEISTON KERUU JA VERTAILU .....	17
5.1	Trainer E-lite .....	18
5.2	BIO T3 .....	18
5.3	Vaahtonesteiden vertailu .....	19
6	VAAHTONESTEIDEN KÄYTTÖ JA VERTAILU HARJOITUKSISSA .....	20
6.1	Raskasvaahdolla sammuttaminen .....	21
6.2	Keskiraskaalla vaahdolla sammuttaminen .....	22
6.3	Kevytvaahdon esittely vaahtokontissa .....	23
7	KÄYTTÖKOKEMUSTEN KERÄYS .....	24
8	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	25
	LÄHTEET .....	27
	KUVALUETTELO .....	29

## 1 JOHDANTO

Merenkulun turvallisuuskoulutuskeskus eli Meriturva kouluttaa merenkulun ammattilaisia ja muita toimijoita kahdessa toimipaikassaan Lohjan pelastautumiskoulutusyksikössä sekä Kirkkonummella sijaitsevassa Upinniemen palokoulutusyksikössä. Viimeksi mainitussa palokoulutusta on järjestetty jo vuosikymmeniä samalla harjoitusalueella. Ympäristöajattelun ja työskentely-ympäristön kehittyessä haluttiin harjoituskenttä uudistaa nykyaikaiseksi poistamalla vanhoja sammutusaltaita, joissa poltettiin dieselöljyä. Idea työhön syntyi kenttäremontin muuttaessa polttopisteet kaasutoimisiksi. Kaasutoimisten polttopisteiden tultua heräsi kysymys, toimisivatko harjoitusvaahtonesteet edelleen kaasualtaissa vai syntyisikö ongelmia esimerkiksi vaahdon joutuessa sytyttiin. Öljyaltaiden sammutuksessa sammutusvaahto toimii siihen suunnitellulla tavalla, mutta kaasupalo on sammutusvaahdolle vieras elementti. Kokemusta kaasutoimisesta altaasta oli saatu muutaman vuoden ajalta kentällä olleesta prototyypistä, mutta suora vertailu uusiin polttopisteisiin olisi vaikeaa niiden erilaisuuden vuoksi.

Palokoulutusyksikössä on ollut myös keskustelua erilaisten vaahtojen soveltuvuudesta koulutuskäyttöön niin ominaisuuksiensa kuin ympäristönäkökulmienkin kannalta. Markkinoille on vuosien varrella tullut ympäristöystävällisempiä vaihtoehtoja perfluorattuja yhdisteitä sisältäville vaahtonesteille, joista osan käyttö on kielletty kansainvälisillä sopimuksilla. Koska vaahtot ovat olennainen osa alusten paloturvallisuuden peruskoulutusta, pitää niitä pystyä käyttämään tehokkaasti jokaisella käytössä olevalla koulutusmenetelmällä.

Työssä pyritään vertailemaan ja testaamaan markkinoilta saatavia vaahtonesteitä, jotka soveltuisivat juuri palokoulutusyksikön harjoituskäyttöön. Vaahtonesteitä ei ole tarkoitus asettaa hinnan perusteella järjestykseen, vaan vertailla niiden teknisiä ominaisuuksia ja soveltuvuutta käytännön harjoituksiin. Työn tulokset toimivat tukena päätöksissä yksikön linjatessa erilaisten vaahtonesteiden käyttöä tulevaisuuden hankinnoissa.

## 2 KÄSITTEET

AFFF	Nestekalvon muodostava vaahto (Aqueous Film Forming Foam)
AR	Poolisia liuottimia kestävä vaahto (Alcohol Resistant)
Basic Safety Training	Kaikille merenkulkijoille pakollinen turvallisuuskoulutus
FFFP	Fluoriproteiinalvovaahto (Film Forming Fluoroprotein foam)
IMO	Merenkulkualan kattojärjestö (International Maritime Organization)
Meriturva	Merenkulun turvallisuuskoulutuskeskus
PFAS	Yleisnimitys per- ja polyfluoratuille alkyyliyhdisteille
PFOA	Perfluorioktaanihappo
PFOS	Perfluorioktaanisulfonaatti
POP	Hitaasti hajoava ja myrkyllinen kemiallinen yhdiste (Persistent Organic Pollutant)
SOLAS	Kansainvälinen meriturvallisuutta käsittelevä yleissopimus (International Convention for the Safety of Life at Sea)
STCW	Kansainvälinen käytäntö merenkulkijoiden standardisoidusta koulutuksesta, pätevyyksistä ja vahdinpidosta (Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers)

### 3 TUTKIMUKSEN TAUSTA

#### 3.1 Meriturvan palokoulutusyksikkö

Meriturva on STCW- ja ISO 9001 -auditoitu valtion oppilaitos, joka kouluttaa merenkulkijoita kansainvälisesti standardisoitujen koulutusten mukaisesti. Kirkkonummen Upinniemessä sijaitseva palokoulutusyksikkö on kouluttanut merenkulkijoita, viranomaisia sekä esimerkiksi pelastusalan ammattilaisia jo 47 vuoden ajan. Yksikkö on toiminut historiansa aikana monen eri oppilaitoksen alla, kunnes Meriturva perustettiin vuonna 1997 ja palokoulutusyksikkö liitettiin siihen yhdessä Lohjalle vuonna 2002 perustetun pelastautumiskoulutusyksikön kanssa. (Meriturva 2023.)

Yleisimmät palokoulutusyksikössä suoritettavat merenkulun kurssit ovat miehistön palokoulutus (STCW A-VI/1–2 Fire Prevention and Fire Fighting), sekä päällystön palokoulutus (STCW A-VI/3 Advanced Training in Fire Fighting). Miehistön palokoulutus on osa kaikkien turvallisuustehtävissä olevien miehistönjäsenien pakollista Basic Safety Training -kurssia. Edellä mainitut kurssit ovat voimassa viisi vuotta, jonka jälkeen miehistön pitää kerrata kurssien sisältö hieman lyhyemmillä kertauskursseilla. Nämä miehistön ja päällystön kertauskurssit muodostavat ison osan kurssimäärästä.

Upinniemessä palokoulutusyksiköllä on koulurakennus, jossa teoriakoulutus ja laitteiden huolto järjestetään. Yksikön käytännön palokoulutusta suoritetaan harjoitusalueella, joka on varustettu nykyaikaisilla simulaattoreilla ja todenmukaisilla harjoitusvälineillä. Koska harjoituskenttä on otettu käyttöön jo 70-luvun puolessavälissä, teetettiin sinne peruskorjaus vuonna 2020, jolloin kenttä uudistettiin vastaamaan nykyaikaista koulutusta ja mahdollistamaan ympäristöä mahdollisimman vähän rasittava käyttö. Tällöin suurin osa harjoituskentän vanhoista dieselöljyaltista purettiin ja tilalle rakennettiin kaasulla toimivat harjoituslaitteet. Jäljelle jääneet dieselöljynpolttopaikat uudistettiin ja muun peruskorjauksen lisäksi kaikki puhdistusjärjestelmät huollettiin.

Tällä hetkellä yksikkö kouluttaa vuodessa 1400–1600 henkilöä, joista vajaa tuhat on STCW-kurssilaisia.

### **3.2 Koulutusympäristö**

Palokoulutusyksikön harjoituskentällä koulutusta annetaan nykyaikaisilla kaasutoimisilla harjoituslaitteilla (kuva 1). Lisäksi sammutusharjoituksissa käytetään yksittäisiä öljyaltaita. Harjoitusalueella sijaitsee harjoituskentän lisäksi muita koulutuslaitteita, kuten kallistettava hyttisimulaattori, jossa harjoitellaan henkilön pelastamista kallistuman saaneesta aluksesta, sekä laivapalosiimulaattori, joka antaa aidonolaiset mahdollisuudet harjoitella savusukellusta ja palojen sammuttamista sisätiloissa. Keinosavulla täytettyjen tilojen lisäksi joillakin kursseilla käytetään lieskahduskonttia, jossa poltetaan lastulevyä korkeampien lämpötilojen mahdollistamiseksi.

Kaasutoimisissa harjoituslaitteissa kaasu tuodaan joko suoraan ilmaan poltettavaksi tai se johdetaan putkistolla veteen, josta purkautuessaan sytytetään palamaan. Pääpiirteittäin polttimet ovat kaikissa laitteissa samanlaiset, mutta polttimen ympärille rakennetulla kuorella saadaan harjoituslaite muistuttamaan laivalla kohdattavia potentiaalisia palokohteita. Harjoituslaitteet on jaettu kolmeen kategoriaan: altaisiin, joita on kolme eri kokoista, kahteen eri ajoneuvoon sekä manifoldi-alueeseen, jossa voidaan harjoitella erilaisten laippa- ja putkivuotojen sekä oven takana olevan palon sammutusta.

Kaasutoimisten harjoituslaitteiden lisäksi kentältä löytyy edelleen kaksi polttoöljytoimista allasratkaisua, niitä käytetään B-luokan palosammutuksen esittelyyn. Näiden lisäksi A-luokan palojen palamista ja sammuttamista havainnollistetaan lieriöllä, jossa poltetaan pieniä määriä puuta. Paloluokat on selvitetty tarkemmin tekstin kohdassa 3.3.





Kuva 1 Harjoituskenttä (Westerlund 2021)

### 3.3 Paloluokat

Sammutusaineiden valinnan helpottamiseksi palavat aineet on jaettu paloluokkiin erilaisilla aakkosilla. Maailmalla on paloluokille erilaisia standardeja, joista tässä esimerkkinä on eurooppalaisen SFS 3062-EN2 -standardin mukainen luokittelu:

**A-luokan** palot palavat hehkupaloina ja palavana aineena on jokin kiinteä aine, kuten puu. Sammutukseen soveltuvia aineita ovat vesi sekä A-luokan vaahto ja -jauhe. **B-luokan** paloissa palaa jokin neste tai nesteytyvä aine. Esi-merkki nesteytyvästä aineesta on steariini ja nesteestä alusten polttoaineena yleisesti käytetty polttoöljy. Nestepalojen sammutukseen käytetään yleensä B-luokan vaahtoa tai -jauhetta tai vettä. **C-luokan** paloihin luokitellaan kaikki kaasupalot, kuten nestekaasu ja asetyleeni. Tehokkain sammute kaasupaloil- le on C-luokan jauhe. **D-luokka** kattaa erilaiset metallipalot, kuten alumiinin ja magnesiumin. Metallipalot ovat harvinaisia ja niiden sammuttamiseen on luokiteltu omanlaisensa D-luokan jauhe. (Hyttinen ym. 2010, 19.)

### 3.4 Sammutusvaahdot

#### Vaahtoluku

Sammutusvaahdot jaetaan kolmeen eri vaahtolajiin niiden vaahtoluvun mukaan. Raskaalla vaahdolla vaahtoluku on  $<20$ , keskiraskaalla vaahdolla  $20-200$  ja kevytvaahdolla  $>200$ . Vaahtoluku muodostuu vaahtoliuoksen (veden ja

vaahtonesteen seos) ja ilman muodostamasta vaahtomäärästä. Eli jos 1 litraan vaahtoliuokseen sekoitetaan ilmaa ja sillä tuotetaan 50 litraa vaahtoa, on kyseessä keskiraskasta vaahtoa. (Hyttinen ym. 2010, 110–112.)

### **Märkävesi**

Vaahtonesteestä voidaan valmistaa myös märkävettä, jossa veteen sekoitetaan pieni määrä vaahtonestettä ( $\leq 0,5$  %). Syntynyt liuos pienentää veden pintajännitystä ja auttaa palojen sammutuksessa. (Hyttinen ym. 2010, 99–100.) Märkävettä käytetään usein maasto- ja puru- sekä hakepalojen yhteydessä. Se soveltuu myös tehokkaasti pienten öljypalojen sammutukseen ja siksi sen käyttöä opetetaan mm. Meriturvan päällystön palokurssilla.

### **Puoliintumisaika**

Harjoitus- ja sammutusvaahtojen yhteydessä puhutaan puoliintumisajasta. Vaahdossa muodostuneet ilmakuplat pyrkivät hajoamaan ja samalla ilma ja vaahtoliuos erottuvat uudelleen toisistaan. Kun muodostetusta vaahdosta on hävinnyt puolet tietyssä ajassa, puhutaan vaahdon puoliintumisajasta. (Hyttinen ym. 2010, 112.) Aika tulee ottaa huomioon sammutustilanteissa, jotta vaahtoa olisi kuhunkin hetkeen sopiva määrä. Harjoituskäytössä hidas puoliintumisaika vaikeuttaa harjoituslaitteiden ja alueen siivousta, sekä hidastaa harjoitusten toistoja.

### **Ominaisuudet ja käyttökohteet**

Sammutusvaahtoja käytetään A- ja B-luokan palojen sammuttamiseen sen tukahduttavien ja jäähdyttävien ominaisuuksien vuoksi. Vaahto leviää pinnoille hyvin ja polttonesteitä kevyempänä se kelluu niiden pinnalla. Vaahto, varsinkin raskasvaahto, sisältää paljon vettä ja toimii siten kohdetta jäähdyttävänä aineena. Koska vaahtoneste rikkoo veden pintajännityksen, saa se vaahdon tunkeutumaan pelkkää vettä paremmin ahtaisiin tiloihin. Vaahtopatjan peittäessä palavan kohteen eristää se palolta myös hapen tukahduttaen sen. (Hyttinen ym. 2010, 122–124.) Raskasta sammutusvaahtoa käytetään lastikansien sammutukseen sekä muihin ulottuvuutta vaativiin kohteisiin. Hyvän leviämisen vuoksi sillä voidaan estää esimerkiksi aluksen autokannelle valuneen

polttoaineen syttyminen. Keskiraskas sammutusvaahto soveltuu matalien tilojen, kuten valuma-altaiden, alusten pilssien ja ajoneuvojen täyttämiseen. Kevytvaahtoa käytetään suurempien sisätilojen täyttämiseen. Aluksilla kevyellä sammutusvaahdolla on suojattu mm. kone- ja laitetiloja.

### 3.5 Sammutusvaahtonesteet

Vaahdote on ainetta, joka koostumukseltaan ja ominaisuuksiltaan tuottaa käyttötarkoitukseen mahdollisimman hyvin soveltuvaa vaahtoa. Vaahdote on kemiallisia vaahtoja lukuun ottamatta nestemäistä ja siksi tässä työssä rajataan vaahdotteet vain vaahtonesteisiin. Vaahtonesteet voidaan jakaa seuraavasti:

**Kalvovaahtonesteet** ovat erittäin tehokkaita polttonesteiden sammutuksessa niiden kalvonmuodostuskyvyn vuoksi. Kalvovaahtonesteet jaetaan AFFF- sekä FFFP-nesteisiin. **AR-vaahtonesteitä** käytetään poolisia liuottimia kestävien vaahtojen valmistamiseen. **Synteettiset vaahtonesteet** ovat hyvin yleisiä ja niiden perusaine on hiilivetytensidi, joka alentaa liuoksen pintajännitystä. Synteettinen vaahtoneste sisältää myös muita kemikaaleja, jotka auttavat vaahtonestettä säilymään, kestävämpään pakkasta ja parantavat sammutustehoa vaativia sammutusvesiä, kuten kovia ja suolaisia vesiä käytettäessä. **Proteiinivaahtonesteet** ovat eläin- ja kasvikunnan proteiineista hydrolysoidusti tuotettuja vaahtonesteitä. Aluksen vaahtonestesäiliössä nestettä on kierrätettävä jatkuvasti, jotta suuri sakkapitoisuus ei laskeutuisi säiliön pohjalle. **Fluoriproteiinivaahtonesteet** ovat proteiinivaahtonesteitä, joihin on lisätty ominaisuuksia parantavia aineita, kuten fluorattuja hiilivetyjä. (Hyttinen ym. 2010, 113–118.)

Vaahtoja tuotettiin aikaisemmin myös yhdistämällä kahta erilaista kemikaalia, jolloin syntyi **kemiallista vaahtoa**. Näitä vaahtoja käytettiin vain vaahtokäsisammuttimissa eikä niitä ole enää markkinoilla. **Harjoitusvaahtonesteet** ovat nimensä mukaisesti vain harjoittelemiseen tarkoitettuja aineita, jota ei ole ilman valmistajan suostumusta tarkoitettu oikeisiin sammutustilanteisiin. Niillä ei esimerkiksi ole samanlaisia sammuttavia ominaisuuksia, kuten oikeilla vaahtonesteillä. Tästä on hyötyä myös harjoitustilanteissa, jossa toistoja halutaan enemmän. (Hyttinen ym. 2010, 113–118.) Harjoitusvaahtonesteet on

yleensä valmistettu niin, että ne tuottaisivat mahdollisimman pienen kuormituksen ympäristölle (Winnebeck 2019, 26).

Eurooppalaisen standardin EN 1568 osat 1–4 määrittelevät vaahtojen käytettävyyttä ja soveltuvuutta eri paloihin. Osat 1–3 koskevat raskas-, keskiraskas- ja kevytvaahtojen käyttöä veteen sekoittumattomien nesteiden yhteydessä. Osa 4 koskee raskasvaahtoja, jotka on suunniteltu käytettäväksi veteen sekoituvien nesteiden yhteydessä. (Winnebeck 2019, 37.)

Harjoitus- ja sammutusvaahtonesteillä on valmistajan määrittelemä säilyvyysaika. Aluksilla oikeista sammutusvaahtonesteistä kerätään näyte vuosittain laboratoriotestejä varten. Testausväleissä on kuitenkin paljon eroja käyttökohteeseen vaikuttavien säännösten myötä. Jotkin vaahtonesteen säilyvät jopa 25 vuotta ja osan testaaminen aloitetaan vasta 10 vuoden kohdalla (Nyman 2018, 46). Testeissä testataan vaahtonestetyypin mukaan esimerkiksi pH, sedimentit, kemiallinen koostumus ja puoliintumisaikatesti. Proteiinivaahtonesteille suoritetaan vielä erillinen pieni sammutuskoe. Harjoitusvaahtonesteille ei ole Meriturvassa teetetty testejä, koska ne yleensä käytetään pois viimeistä käyttöpäivää. Esimerkkinä testatulle BIOEX-harjoitusvaahtonesteelle annetaan 10 vuoden takuu.

### **3.6 Vaahtolaitteistot**

Siirrettäviin vaahtolaitteistoihin kuuluu 200 ja 400 l/min -vaahtolaitteistot, jotka sisältävät välisekoittimet ja niihin kuuluvat raskas- ja keskiraskaanvaahdon kehittimet (kuvat 2 ja 3). Näitä vaahtolaitteistoja käytetään kursseilla jatkuvasti, joskin 200 l/min -laitteisto on eniten käytössä. Kevytvaahtoa esitellään oppilaille konttiin sijoitetulla kiinteällä vaahdonkehittimellä, jota syötetään välisekoittimella.



Kuva 2 Raskasvaahtokalusto (400 l/min) (Meriturva 2023)



Kuva 3 Keskiraskasvaahtokalusto (400 l/min) (Meriturva 2023)

Näiden jatkuvasti käytössä olevien laitteistojen lisäksi tietyillä kursseilla käytetään vaahdotykkejä, joita on käytössä kaksi. Kiinteä ja toinen siirreltävä malli. Tykkien vaahtonesteen kulutus on huomattava, joten siksi niitä käytetään harvemmin (kuva 4).



Kuva 4 Vaahtotykki ja dieselöljyaltaat ennen kenttäremonttia (Meriturva 2023)

Siirreltävien laitteistojen lisäksi käytössä on kiinteää vaahtojärjestelmää simuloiva pumpputoiminen sekoittaja. Tästä vaahtoliitännästä saadaan vaahtoa tai märkää vettä harjoituksiin ilman erikseen liitettäviä sekoittajia ja vaahtonestekannuja.

### 3.7 Vaahdot palokoulutuksessa

Dieselöljypaloja sammutettiin palokoulutusyksikössä 35 vuoden ajan vedellä, jauheella sekä oikeista vaahtonesteistä tehdyillä vaahdoilla. Noin 18 vuotta sitten jauheen käyttöä haluttiin vähentää, koska se suurina määrinä kuormitti keräysjärjestelmiä ja aiheutti kouluttajille haitallista altistumista. Samoihin aikoihin nestesammuttimet alkoivat yleistyä ja yksikössä siirryttiin alkusammutusharjoituksissa käyttämään vaahtosammuttimia, jotka yksikön huolto täytti itse vaahtonesteellä ja vedellä. Koska sammuttimissa käytettiin oikeaa nestettä, aiheutti se ongelmia harjoitustilanteissa, kun paloja oli hankala saada uudestaan syttymään seuraavalle oppilaalle. Tämän takia sammuttimien vaahtoneste vaihdettiin harjoitusnesteeksi. Samalla siirryttiin raskas-, keskiraskas- ja kevytvahtolaitteissakin harjoitusvaahtonesteeseen.

Vaahtoa palokoulutuksessa käytetään kaikilla STCW-kursseilla sekä jonkin verran räätälöidyssä opetuksessa. STCW-kursseilla vaahtoa käytetään raskas-, keskiraskas- sekä kevytvaahtojärjestelmien opetuksessa. Siirrettävien vaahtojärjestelmien lisäksi kentälle voidaan tehdä vaahtoa kiinteän vaahtojärjestelmän yksiköstä, joko vaahtona tai märkävetenä.

Kursseja on vuodessa noin 100 ja ne sijoittuvat koko kalenterivuodelle. Tämän takia kaiken kaluston ja sammutteiden tulee toimia häiriöttä ympäri vuoden kaikissa sääolosuhteissa.

Kurssien oppilasmäärien vaihdellessa pienemmistä ryhmistä aina yli kolmeen kymmeneen, joudutaan vaahtoharjoituksia rajoittamaan käytettäessä palavia nesteitä. Ympäristön kannalta turhaa polttoöljyn polttamista pyritään rajoittamaan ja harjoitusvaahdon määrätkin halutaan pitää kohtuullisina. Polttoöljypaloissa harjoitusvaahtoa käytettäessä vaahdon puoliintumisaika rajoittaa uudelleen sytyttämistä, ja sammutusvaahtokäytössä odotusajat toistojen välillä olisivat vielä pidempiä.

### **3.8 Ympäristökohtaiset rajoitteet**

Ympäristölähtöiset rajoitteet perustuvat ns. kovien vaahtojen käytön välttämiseen oikeiden palotilanteiden ulkopuolella. Jo 1980-luvulla tehtyjen tutkimusten tulokset osoittivat, että moni vaahto on suoranainen ympäristömyrky jou tuessaan luontoon (Hyttinen ym. 2010, 120–122). Vuosikymmenten aikana tehdyissä mittauksissa ja tutkimuksissa on todettu kalvovaahdotteissakin käytettyjen PFAS-yhdisteiden aiheuttavan suurimmat ympäristöriskit. PFAS-yhdisteet voidaan jakaa kolmeen ryhmään, PFOS, PFOA sekä fluoritelomeereihin (Haavisto & Retkin 2014, 7). Ympäristöhaittojen takia yhdisteiden käyttöä ja myyntiä on rajoitettu, esimerkiksi EU:n jäsenmaihiin PFOS-yhdisteitä sisältäviä sammutusvaahtoja ei saa tuoda markkinoille (Hyttinen ym. 2010, 121). Palokoulutusyksikön harjoitusalueella vaahtoja käytetään rajatulla alueella, josta jäämät johdetaan puhdistusjärjestelmiin. Tästä huolimatta harjoitustoiminnassa ei haluta käyttää ympäristölle haitallisia yhdisteitä sisältäviä vaahtonesteitä.

### 3.9 Koulutukseen vaikuttavat säännökset

Merenkulun koulutusta säännellään kansainvälisesti merenkulun kattojärjestön International Maritime Organization (IMO) toimesta. IMO:n jäsenvaltiot ovat sitoutuneet noudattamaan STCW-sopimusta, jonka avulla merenkulkijoiden koulutus, pätevyudet ja vahdinpito on standardisoitu. IMO on koulutuksen järjestämisen tueksi julkaissut STCW:n mukaisesti käytävien kurssien mallikurssiohjeet eli Model Course -ohjesarjan. Mallikursseissa kerrotaan opetuksen tavoitteet, opetusmenetelmät ja suositeltavat minimi käytettävälle kalustolle ja oppimisympäristölle. (IMO 2023.) Suomessa merenkulun koulutusta valvoo Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. Traficom hyväksyy hakemuksen perusteella STCW:n mukaiset koulutukset. Lisäksi koulutuksen tasoa valvotaan erillisillä viiden vuoden välein suoritettavilla koulutuksen järjestäjien auditoinneilla. (Traficom 2023.)

Meriturva kouluttaa merenkulkijoita auditoituna oppilaitoksena STCW-standardin mukaisesti. Palokoulutus täyttää STCW:n ja mallikurssien minimivaatimukset. Vaahtojen käytöstä mallikursseilla ohjeistetaan kunkin kurssin opetusmenetelmän mukaisesti käyttämään joko siirreltäviä välisekoittimia tai kiinteitä vaahtojärjestelmiä mallintavia harjoituslaitteita. Yleisohjeena vaahtojen käytössä opetusmenetelmänä painotetaan vaahtojen kohtuullista käyttämistä ympäristöongelmien välttämiseksi. Käytettävää vaahtonestettä ei tarkemmin määritellä, vaan vaahtonestettä kuvaillaan vain sanoilla ”foam compound” sekä ”foam concentrate”. (IMO 2000, 5; IMO 2001, 6; IMO 2014, 201.)

Sammutusvaahtojen käyttöön Meriturvassa vaikuttavat ympäristölait ja säännökset, joiden tarkoituksena on estää ympäristön pilaantuminen. Meriturva onkin rajannut harjoitusalueen käytön vain ympäristöystävällisillä harjoitusvaahtonesteillä käytettäväksi. Kansainväliset ponnistelut ympäristöongelmien rajoittamiseksi ovat laajentuneet vuosikymmenien aikana ja kansainvälisesti POP-yhdisteet kieltävän Tukholman sopimuksen on allekirjoittanut jo 152 maata (Stockholm convention 2023). Tukholman sopimuksen rajoitteet on tuotu Euroopan Unionin jäsenvaltioille vuonna 2004 voimaan tullessa POP-asetuksessa N:o 850/2004 (Haavisto & Retkin 2014, 9).



Koulutuksessa käytettävän vaahtonesteen valintaan vaikuttavat myös lait ja asetukset työturvallisuudesta. Kouluttajat kouluttavat päivittäin oppilaita ja heillä on kohonnut riski altistua harjoitusvaahtoille. Vaikka kokeneet kouluttajat osaavatkin väistää vaahtoa, voi esimerkiksi muuttunut tuulen suunta tuoda vaahtoa kouluttajan päälle. Tämän takia on tärkeää, että käytettävä vaahto on mahdollisimman vähän haitallista.

Työturvallisuuslaissa työnantaja veloitetaan huolehtimaan, että käytettävät välineet ja aineet ovat aiottuun tarkoitukseen soveltuvia ja työntekijöille turvallisista (Työturvallisuuslaki 12§).

Käytännön työturvallisuusohjeistus Meriturvassa neuvoo välttämään ihokontaktin harjoitusvaahtonesteiden kanssa. Koulutustilanteissa oppilaita ohjeistetaan haitoista ja vaaroista, sekä kehoitetaan suorittamaan harjoitukset tuulen suunta huomioon ottamalla.

#### **4 TUTKIMUSONGELMA**

Merenkulun palokoulutuksessa on siirrytty käyttämään hyvin uudenaikaisia laitteistoja, perinteisten polttoöljypalojen pysyessä niiden rinnalla. Soveltuvatko harjoitusvaahtonesteet uudenaikaisille kaasutoimisille polttopisteille?

Onko markkinoilla myytävissä harjoitusvaahtonesteissä eroja käytännön harjoituksissa? Entä eroavatko ne teknisiltä ominaisuuksiltaan toisistaan?

#### **5 AINEISTON KERUU JA VERTAILU**

Työtä varten tehtiin verkossa haku Suomessa myytävistä harjoitusvaahtonesteistä. Lisäksi myyjille lähetettiin sähköpostilla kysely tarjolla olevista harjoitusvaahtonesteistä tai harjoituksiin soveltuvista fluorittomista ympäristöystävällisistä vaahtonesteistä. Kyselyyn vastasi lopulta yksi myyjä, joka suositteli Fomtec Trainer E-lite -harjoitusvaahtonestettä sekä Bluefoam 3x3 -vaahtonestettä, joka on sittemmin poistunut heidän valikoimistaan. Internethaun perusteella ulkomailta harjoituskäyttöön tarkoitettuja harjoitusvaahtonesteitä on tarjolla enemmän, mutta ainakaan tällä hetkellä niitä ei ole saatavilla suomalaisten jälleenmyyjien edustamana. Vuonna 2018 kerätyn tiedon mukaan maailmalla

valmistettiin 13 erilaista harjoitusvaahtonestettä yhdeksän eri valmistajan toimesta (Winnebeck 2019, 26).

### 5.1 Trainer E-lite

Fometec trainer E-lite on vain harjoituskäyttöön hyväksytty vaahtoneste. Valmistaja kertoo sen olevan fluoriton ja glykoliton sekä täysin luonnossa hajoava. Vaahtoneste koostuu luonnollisista tensideistä, liuottimista, stabilointiaineista. Sekoitussuhde nesteellä on 3 %. (Fometec Trainer E-lite 2023.)

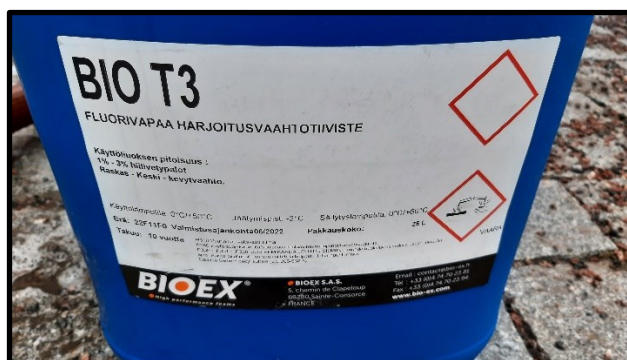


Kuva 5 Trainer E-lite -harjoitusvaahtoneste (Westerlund 2023)

Trainer E-lite -harjoitusvaahtoneste toimitetaan harjoitusalueelle muovitynnyreissä, joista se pumpataan käyttöä varten pienempiin 25 litran astioihin (kuva 5).

### 5.2 BIO T3

BIOEX BIO T3 on synteettinen harjoitusvaahtoneste, joka soveltuu hiilivetytyppojen sammuttamiseen. Valmistajan mukaan vaahtoneste on fluoriton ja glykoliton sekä täysin luonnossa hajoava. (BIOEX T3 2023.)



Kuva 6 Bio T3 -harjoitusvaahtoneste (Westerlund 2023)

Bio T3 -harjoitusvaahtoneste toimitettiin harjoitusalueelle 25 litran astiassa, josta sitä imettiin suoraan käyttöön.

### 5.3 Vaahtonesteiden vertailu

Harjoitusvaahtonesteiden tuotevertailuun tiedot koostettiin käyttämällä valmistajien julkisesti antamia tietoja, kuten verkkosivuja, tuote-esitteitä sekä käyttöturvallisuustiedotteita. (Fomtec Trainer E-lite 2023a; Fomtec Trainer E-lite 2023b; BIOX T3 2023a; BIOX T3 2023b.)

Taulukkoa tarkastelemalla voidaan todeta, ettei vertailtavilla tuotteilla ole juuri muita eroja kuin viskositeetti (taulukko 1). Suolaiselle vedelle soveltuvuutta ei Trainer E-lite -tuotteelle selvityksistä huolimatta löytynyt.

Taulukko 1 Ainevertailu (Fomtec Trainer E-lite 2023a; Fomtec Trainer E-lite 2023b; BIOX T3 2023a; BIOX T3 2023b)

Aine tai ominaisuus	FOMTEC Trainer E-lite	BIOEX BIO T
Fluoriton	Kyllä	Kyllä
Glygoliton	Kyllä	Kyllä
Luonnossa hajoava	Kyllä	Kyllä
Suhteellinen tiheys (20 °C)	1,00 ± 0.01 g/ml	1,02 ± 0.02 g/ml
Viskositeetti (20 °C)	≤ 30 mPas	4 ± 2 mPas
pH	6,5 - 8,5	7,0 ± 1.0
Jäätymispiste	0 °C	-7 °C
Varastointilämpötila	0-55 °C	0-50 °C
Sedimentti	< 0,2 %	0 %
Soveltuvuus suolaiselle vedelle	Ei tietoa	Kyllä
Sekoitussuhde	3 %	1-6 %

Yleisten ominaisuuksien lisäksi on vaikeaa saada täsmällistä ja luotettavaa tietoa aineiden sisältämistä ainesosista. Osaltaan tämä johtuu siitä, että tarkat tiedot ovat usein salaisia, jotta kilpailijat eivät voisi hyötyä tarkoista tuoteresepteistä (Liikesalaisuuslaki 2§). Luotettavien tuotetietojen saatavuus johtaakin siihen, että täysin luonnossa hajoavien tuotteiden 100 % hajoavuus voidaan kyseenalaistaa (Nyman 2018, 64).

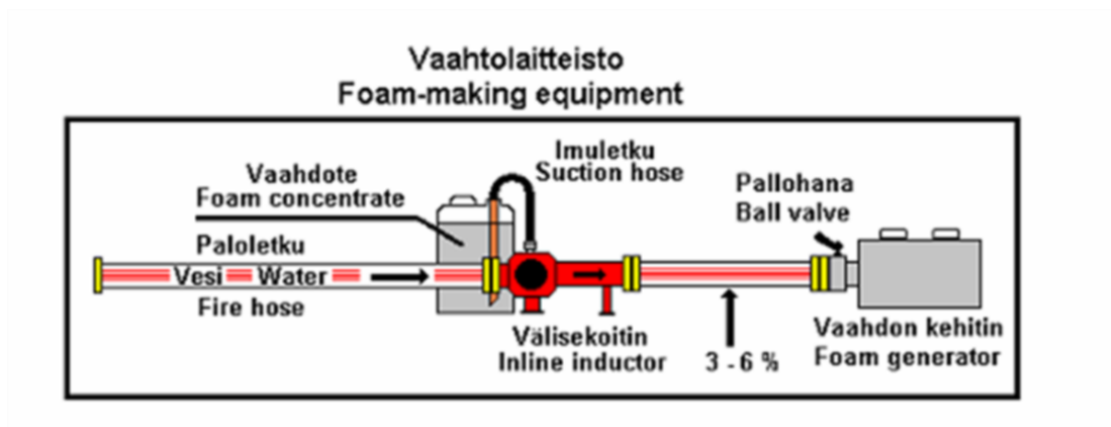
Käyttöturvallisuustiedotteita tutkimalla voi kuitenkin saada yleisen käsityksen vaahtonesteen sisältämistä ainesosista (TUKES 2023). Tiedotteita tutkimalla löytyi muutamia ainesosia, kuten alkoholit, sulfaatteja, natriumsuolat ja D-glukopyranoosi. Osa näistä ainesosista auttaa vaahtonestettä rikkomaan veden pintajännityksen ja auttaa sen vaahdottamisessa.

Vaahtonesteitä vertailtiin myös opetuksen yhteydessä käytännön harjoituksissa raskas-, keskiraskas- sekä kevytvaahtokehittimillä. Testausta tehtiin usealla kurssilla eri oppilasryhmien kanssa. Vaahdon ominaisuuksia ja käytettävyyttä vertailtiin käyttökokemukseen perustuvalla analysoinnilla.

## **6 VAAHTONESTEIDEN KÄYTTÖ JA VERTAILU HARJOITUKSISSA**

Vertailtavia harjoitusvaahtonesteitä testattiin päällystön palokurssien yhteydessä, mikä mahdollisti kaikkien vaahtolajien testaamisen yhdellä kertaa. Miehistön palokoulutus kun ei sisällä kevytvaahdon tekemistä. Päällystön kurssilla sammutusharjoitukset tehdään pienten kurssien yhteydessä ensimmäisenä päivänä ja harjoituskentälle oppilaat saapuvat iltapäivällä aamupäivän teorialuentojen jälkeen.

Harjoitusvälineinä kurseilla käytettiin 200 l/min välisekoitinta ja imuletkua sekä harjoituksen mukaan raskasta tai keskiraskasta vaahtokehitintä. Vaahtoneste imettiin 25 litran kannusta. Vaahtoselvitys tehtiin käyttäen kolmea 10 metrin paloletkua, joihin otettiin vesi 7 baarin merivesipostista.



Kuva 7 Vaahtolaitteisto (Meriturva 2023)

Trainer E-lite on käytetty palokoulutusyksikössä ennenkin, mutta BIO T3:a testattiin nyt ensimmäistä kertaa. Testattavia vaahtonestettä käytettiin sekä raskaan että keskiraskaan vaahton sammutusharjoituksissa, joissa sammutettiin erilaisia öljypaloja. Raskaalla vaahdolla sammutettiin myös kaasutoimista laippapaloa. Kevytvaahtoa taas esiteltiin täyttämällä vaahtokontti vaahdolla.

### 6.1 Raskasvaahdolla sammuttaminen

Manifoldialueen sammutuksessa tarkoituksena on opettaa oppilaille vuotavan laipan ja sen alle kertyvän aineen sammuttamista raskasvaahdon avulla. Samalla oppilas näkee raskasvaahdon ominaisuuksia ja muut oppilaat voivat seurata vaahton lentorataa ja leviämistä kohteeseen. Harjoitus suoritetaan yleensä vain kerran kohdetta kohti, jotta vaahtonestettä kuluisi kohtuullinen määrä. Kummatkin vertailtavat vaahtonesteet antoivat hyvä rakenteisen vaahton, joka levisi tehokkaasti kohteessa. Vaahtopatja jäi maahan vähintään niin pitkäksi aikaa, jotta oppilaille sitä ehdittiin esitellä.



Kuva 8 Manifoldin sammutus raskaalla harjoitusvaahdolla (Westerlund 2023)

Raskasvaahtoa käytettiin myös palavan ajoneuvon sammuttamiseen ja auton alle muodostettavan suojavaahdotatjan muodostamiseen. Vaahtojen muodostuksessa vertailtavien nesteiden välillä ei havaittu näkyviä eroja.

## 6.2 Keskiraskaalla vaahdolla sammuttaminen

Keskiraskaalla vaahdolla sammutettiin n. 2 m<sup>2</sup> öljyallasta, jossa poltettiin talvi-laatuista polttoöljyä. Keskiraskas vaahto ei ilmanvastuksensa vuoksi lennä muutamaa metriä kauemmaksi ja siksi harjoituksessa oppilaille opetetaan säteilylämmön huomioimista ja torjumista sammutustilanteen aikana. Oppilaat lähestyivät paloa vaahdon ja vesisuojasuihkun avulla torjuakseen lämpösäteilyn vaikutuksen. Vaahto kytketään päälle, kun lähestyminen aloitetaan ja suljetaan vasta altaan täytyttyä ja palon sammuttua. Liekkien kadotessa allas täytetään laitoja myöten vaahdolla, jotta oppilaille voidaan esitellä vaahdon ominaisuuksia kuumilla pinnoilla. Harjoituksen yhteydessä huomattiin, että oppilaiden oli BIOEX-vahtonesteellä helpompi muodostaa vaahtoa ja vaahtomäärä oli visuaalisesti mitattuna paljon suurempi kuin Trainer-vahtonesteen vaahto. Vaahto säilytti muotonsa altaassa opetuksen ajan, eikä selvää puoliintumista ehditty havaita. Kummallakin vahtonesteellä tehty vaahto pysyi altaassa vielä päivän päätteeksi tehtävän kentän siivouksen ajan, joten puoliintumisajassa ei ollut pidemmällä aikavälilläkään mainittavia eroja.



Kuva 9 Polttoöljyaltaan sammutus keskiraskaalla harjoitusvaahdolla ja suojasumulla (Westerlund 2023)

### 6.3 Kevytvaahdon esittely vaahtokontissa

Kevytvaahtoharjoituksessa käytetään ikkunoilla varustettuun konttiin rakennettua kiinteää kevytvaahtokehitintä. Kehitintä käytetään välisekoittimella, johon otetaan paine 10 baarin merivesipalopostista. Suurempaa painetta tarvitaan, koska kehitin tarvitsee noin seitsemän baaria tuottaakseen tarpeeksi kevyttä vaahtoa.



Kuva 10 Vaahdokontti täynnä harjoituskevytvaahtoa (Westerlund 2023)

Vertailtavilla harjoitusvaahtonesteillä ei ollut ongelmia tuottaa tarpeeksi vaahtoa kontin täyttämiseksi. Kuvassa 10 kontti on täytetty kevytvaahdolla ja vaahto alkaa valumaan ulos kontin päädyssä olevista aukoista.

## 7 KÄYTTÖKOKEMUSTEN KERÄYS

Käyttökokemuksia kerättiin kouluttajilta vapaamuotoisella keskustelulla. Molempia vertailussa mukana olleita vaahtonesteitä käyttäneillä kouluttajalla huomio kiinnittyi BIOEX-vaahdon parempaan tuottoon keskiraskaassa vaahdonkehittimessä. Jotta paremman vaahdomäärän voisi varmistaa, pitäisi vaahdotuotto mitata. Kyseessä on kuitenkin harjoitustilanne ja silloin pienempikin vaahdomäärä yleensä riittää.

Yleisesti palokoulutusyksikön kouluttajien kokemukset harjoitusvaahtonesteistä olivat positiivisia ja ero vuosia sitten käytettyihin sammutusvaahtoihin tuli esille suoritteiden toistoissa. Sammutusvaahdoilla ei polttoöljypaloja saanut enää helposti syttymään uudestaan. Toistoja varten vaahtopatja piti joko hajottaa vedellä tai polttaa sytytyspolttimella pois.

Uusien kaasutoimisten altaiden osalta kokemukset ovat olleet hyviä, eikä vaahto ole aiheuttanut satunnaisia sytytyspolttimen häiriötilanteita lukuun otta-



matta mitään suurempia vikoja. Asia, joka nousi esille kaasulla toimivien altaiden sammutuksissa, oli vaahdon huuhtoutumisongelmat. Kaasualtaaseen on rakennettu vesitoiminen huuhtelujärjestelmä, joka toimii jauheen poistamisessa erinomaisesti. Vahto sen sijaan jää vaahtoamaan altaaseen ja se pitää vesiletkun kanssa sieltä poistaa. Vedellä huuhtoessa on kuitenkin riski saada roiskuvaa vaahtoa päällensä, eikä sitä siksi mielellään käytetä. Jos vaahtoa ei kunnolla poisteta altaasta, vaahtoa se vielä seuraavilla käyttökerroillakin, jopa päivien kuluttua.



Kuva 11 Kaasutoimisen altaan sammutus keskiraskaalla harjoitusvaahdolla (Westerlund 2023)

Kuvassa 11 voidaan nähdä harjoitusvaahtoa täynnä oleva kaasuallas. Altaan huuhteluliitäntä on piilossa toisella puolella, mutta tyhjennysventtiilit ovat näkyvissä altaan vasemmalla sivustalla. Tyhjennysventtiilit ovat varsin pieniä, eikä sieltä käyttäjäkokemusten mukaan poistu tarpeeksi vaahtoa ja vettä, jotta allas puhdistuisi tarpeeksi nopeasti.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen taustatyö osoitti, että maailmalla on paine siirtyä ympäristöystävällisempiin vahtonesteisiin. Koulutukseen suunnattuja vahtonesteitä on

markkinoilla saatavilla, jos niitä vain halutaan käyttää. Suomen markkinoilla kysyntä on todennäköisesti niin pieni, ettei tänne maahantuoda ja jälleenvyydä useampia vain harjoituskäyttöön tehtyjä tuotteita. Vertailuun pyydettyjä tuotteita ei ollut tarjolla kuin kaksi eri vaahtonestettä. Muut vastaavat tuotteet olisivat rajoittuneet harjoitusvaahtonestekategorian ulkopuolelle erilaisina ympäristöystävällisinä tuotteina. Näitä ympäristöystävällisiä tuotteita markkinoidaan myös fluorittomina, glykolittomina ja luonnossa hajoavina. Ne vastaavat kuitenkin sammutusominaisuuksiltaan oikeita vaahtonesteitä, eivätkä ne siksi suoraan sovellu koulutuskäyttöön. Taustamateriaaliani tutkiessani törmäsin myös suoranaisiin epäilyihin tuotetietojen paikkaansa pitävyydestä, varsinkin luonnossa hajoavuuden osalta (Nyman 2018, 64–65). Käytännössä vertailtujen tuotteiden välillä ei ollut sellaisia eroja, joiden perusteella ne olisi voinut laittaa paremmuusjärjestykseen. Molemmat harjoitusvaahtonesteet tuottivat hyvää vaahtoa harjoitustilanteisiin. Tuotetietojen vertailussa ei myöskään viskositeetin lisäksi ollut mainittavia eroja. Harjoitusvaahtonesteiden ja miksei sammutusvaahtonesteidenkin kemiallisista ominaisuuksista ja tietojen paikkaansa pitävyydestä voisi tehdä erillisen päättötyön, joka tosin vaatisi laboratoriotestejä valtavan määrän. Olisi mielenkiintoista lukea, miten käyttöturvallisuustiedot vastaisivat näiden testien tuloksia.

Harjoitusalueen remontin yhteydessä käyttöönotetut kaasutoimiset toimilaitteet toimivat harjoitusvaahtonesteiden kanssa odotettua paremmin. Vaahtojäämien poistaminen näyttää olevan yksi edessä oleva haaste, jossa riittää pohdittavaa ja joka pitää ratkaista. Vaikka käytössä olisikin harjoitusvaahtoneste, tulee vaahtomääriä tarkkailla ja altaiden turhaa vaahdolla täyttämistä välttää. Näillä toimenpiteillä pienennetään ympäristön kuormitusta ja vältetään kustannusten nousemista.

Nyt tehdyt testit rajoittuivat käyttöön ja ominaisuuksiin, mutta tulevaisuudessa olisi mielenkiintoista tietää lisää harjoitusvaahtonesteiden vaikutuksesta eri materiaaleille, joita harjoituslaitteissa käytetään. Jo nyt on yleisesti tiedossa sammutusjauheiden ja veden korroosiovaikutus eri metalleille (Hyttinen ym. 2010, 108).

## LÄHTEET

BIOEX T3. 2023a. Leader group. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.bio-ex.com/en/our-products/product/bio-t/> [viitattu 7.4.2023].

BIOEX T3. 2023b. Eco Product Systems. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ecocaf.com/bio-t3-training-foam-bioex> [viitattu 7.4.2023].

Fomtec Trainer E-lite. 2023a. Fomtec. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fomtec.com/wp-content/uploads/2022/04/tds-fomtec-trainer-e-lite.pdf> [viitattu 7.4.2023].

Fomtec Trainer E-lite. 2023b. Dafo. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://publish-almego.ecoonline.net/getfile/129B8129-6B94-4C2A-BC84-8C73753F07D5/pdf/291937/291937\\_Dafo%20Fomtec%20AB\\_Fomtec%20Trainer%20\\_11-1149-01\\_FI-fi\\_v3\\_0](https://publish-almego.ecoonline.net/getfile/129B8129-6B94-4C2A-BC84-8C73753F07D5/pdf/291937/291937_Dafo%20Fomtec%20AB_Fomtec%20Trainer%20_11-1149-01_FI-fi_v3_0) [viitattu 7.4.2023].

Haavisto, T. & Retkin, R. 2014. Perfluorattujen yhdisteiden aiheuttama ympäristön pilaantuminen paloharjoitusalueilla. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 11/2014. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/10138/44791> [viitattu 4.4.2022].

Hyttinen, V., Tolonen, P. & Väisänen, T. 2010. Palofysiikka. 4.painos. Tampere: Tammerprint.

IMO. 2023. Training and certification. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.imo.org/en/OurWork/HumanElement/Pages/TrainingCertification-Default.aspx> [viitattu 9.4.2023].

IMO. 2000. Model Course 1.20. Portsmouth: CPC The Printers.

IMO. 2001. Model Course 2.03. Portsmouth: CPC The Printers.

IMO. 2014. Model Course 1.01. Exeter: Polestar Wheatons.

Liikesalaisuuslaki 595/2018.

Meriturva. 2023. Meriturva ennen ja nyt. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.meriturva.fi/fi/tietoa-meriturvasta/meriturva-ennen-ja-nyt#> [viitattu 8.4.2023].

Nyman, P. 2018. Sammutusjätevesien hallinta ja sammutusvaahdot. Lahden ammattikorkeakoulu. Tekniikan ala. YAMK opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018121822269> [viitattu 15.2.2021].

Stockholm convention 2023. Status of ratification. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.pops.int/Countries/StatusofRatifications/PartiesandSignatories/tabid/4500/Default.aspx> [viitattu 8.4.2023].

Traficom. 2023. Merenkulun koulutuksen järjestäminen. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/merenkulku/merenkulun-koulutuksen-jarjestaminen> [viitattu 8.4.2023].

TUKES. 2023. Käyttöturvallisuustiedote. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://tukes.fi/kemikaalit/reach/kayttoturvallisuustiedote#28ca8efe> [viitattu 8.4.2023].

Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738.

Winnebeck, K. 2019. Per- and Polyfluorinated Substances in Firefighting Foam. New York State Pollution Prevention Institute. Rochester Institute of Technology. PDF-dokumentti. Saatavissa: [http://theic2.org/article/download-pdf/file name/Per and Polyfluorinated Substances in Firefighting\\_Foam\\_040919.pdf](http://theic2.org/article/download-pdf/file name/Per and Polyfluorinated Substances in Firefighting_Foam_040919.pdf) [viitattu 7.4.2023].

## KUVALUETTELO

Kuva 1. Harjoituskenttä.

Kuva 2. Raskasvaahtokalusto (400 l/min). Miehistön palokoulutus.

PowerPoint-diaesitys. Meriturva 2023.

Kuva 3. Keskiraskasvaahtokalusto (400 l/min). Miehistön palokoulutus.

PowerPoint-diaesitys. Meriturva 2023.

Kuva 4. Vaahtotykki ja dieselöljyaltaat ennen kenttäremonttia.

Kuva 5. Trainer E-lite -harjoitusvaahtoneste.

Kuva 6. Bio T3 -harjoitusvaahtoneste.

Kuva 7. Vaahtolaitteisto. Miehistön palokoulutus. Powerpoint-diaesitys.

Meriturva 2023.

Kuva 8. Manifoldin sammutus raskaalla harjoitusvaahdolla.

Kuva 9. Polttoöljyaltaan sammutus keskiraskaalla harjoitusvaahdolla ja suojasumulla.

Kuva 10. Vaahtokontti täynnä harjoituskevytvaahtoa.

Kuva 11. Kaasutoimisen altaan sammutus keskiraskaalla harjoitusvaahdolla.