



ITÄ-SUOMEN MAA-ALUEIDEN JA SAIMAAN VESISTÖALUEEN ÖLJYN- JA VAARALLISTEN AINEIDEN VARASTOINNIN JA KULJETUSTEN YMPÄRISTÖRISKIEN ÄLYKÄS MINIMOINTI JA TORJUNTA

Vuokko Malk (toim.)



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Vuokko Malk (toim.)

ITÄ-SUOMEN MAA-ALUEIDEN JA SAIMAAN VESISTÖALUEEN ÖLJYN- JA VAARALLISTEN AINEIDEN VARASTOINNIN JA KULJETUSTEN YMPÄRISTÖRISKIEN ÄLYKÄS MINIMOINTI JA TORJUNTA



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



XAMK KEHITTÄÄ 3

KAAKKOIS-SUOMEN AMMATTIKORKEAKOULU
MIKKELI 2017

© Tekijät ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu
Kannen kuva: Manu Eloaho
Taitto ja paino: Grano Oy
ISBN: 978-952-344-006-7 (nid.)
ISBN: 978-952-344-007-4 (PDF)
ISSN: 2489-2467 (nid.)
ISSN 2489-3102 (verkkajulkaisu)

julkaisut@xamk.fi

LUKIJALLE

”ÄLYKÖ – Itä-Suomen maa-alueiden ja Saimaan vesistöalueen öljyn ja vaarallisten aineiden varastoinnin ja kuljetusten ympäristöriskien älykäs minimointi ja torjunta” on Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Metsä, ympäristö ja energia -painoalan ja Logistiikka ja merenkulku -painoalan yhteishanke. Hanketta ovat rahoittaneet Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan unionin aluekehitysrahastosta (EAKR 2014–2020), Öljysuojarahasto, Etelä-Savon ja Pohjois-Karjalan pelastuslaitokset, Meritaito Oy ja Metsäsairila Oy. Hankenumero on A70113.

Hanke käynnistettiin 1.1.2015. Projektipäällikköinä ovat toimineet Mikkelin ammattikorkeakoululla FM Vuokko Malk ja Kymenlaakson ammattikorkeakoululla ins. (AMK) Jouni-Juhani Häkkinen (1.1.2015–30.4.2016) sekä tutkimuspäällikkö ja merikapteeni (AMK) Justiina Halonen (1.5.2016–28.2.2017). Mikkelin ammattikorkeakoulu (Mamk) ja Kymenlaakson ammattikorkeakoulu (Kyamk) fuusioituivat 1.1.2017 Kaakkois-Suomen ammattikorkeakouluksi (Xamk). ÄLYKÖ-hankkeen vastuullisina johtajina ovat olleet tutkimusjohtaja, TkT Kati Manskinen (1.1.2015–31.7.2015), tutkimusjohtaja ja dosentti, FT Yrjö Hiltunen Mamkista (1.8.2015–31.12.2016) ja FT Lasse Pulkkinen Xamkista (1.1.–28.2.2017). Hankkeen yhteyshenkilönä on toiminut tutkimuspäällikkö DI Hanne Soininen.

Hankkeen toteutukseen ovat osallistuneet Mikkelin ammattikorkeakoulusta myös hankesihteeri Hanna-Maija Penttinen, yliopettaja FT Arto Sormunen, TKI-asiantuntija DI Juha-Pekka Lemponen, laboratorioinsinööri Sari Seppäläinen, harjoittelijoina insinööriopiskelijat (AMK) Anu Kela, Juha Leinonen ja Tiia Montonen, harjoittelijoina ja opinnäytetyöntekijöinä insinööriopiskelijat (AMK) Maija Tanskanen ja Mariia Zhaurova, opinnäytetyöntekijänä insinööriopiskelija (AMK) Serge Ryndov sekä seminaarityöntekijät Joseph Kairouz ja Victor Griseri. Kymenlaakson ammattikorkeakoulussa hankkeen toteutukseen ovat osallistuneet projektiasiantuntija FM Joel Kauppinen sekä opinnäytetyöntekijöinä insinööriopiskelijat (AMK) Timo Leppälä, Otto Fredrikson, Denis Voroshilin, Hannu Heikkilä ja Henri Heino.

Hanketyön etenemistä on ohjannut ja valvonut ohjausryhmä, johon ovat kuuluneet rahoitusasiantuntija Jaana Tuhkalainen Etelä-Savon ELY-keskuksesta, rahoitusasiantuntija Esa Pekonen Etelä-Savon ELY-keskuksesta, ympäristöinsinööri Esa Rouvinen ja yksikön päällikkö Vesa Toivola Etelä-Savon ELY-keskuksesta, ympäristöylitarkastaja Lea Koponen Pohjois-Savon ELY-keskuksesta, ympäristöasiantuntija Petri Naumanen Pohjois-Karjalan ELY-keskuksesta, pelastuspäällikkö Jyri Silmäri Etelä-Savon pelastuslaitokselta, pelastuspäällikkö Erkki Asikainen ja pelastusjohtaja Jukka Koponen Pohjois-Savon pelastuslaitokselta, palomestari Jani Nevalainen Pohjois-Karjalan pelastuslaitokselta, yliopettaja Kyösti Survo Pelastusopistolta, tutkija Jani Häkkinen ja ylitarkastaja Meri Hietala Suomen ympäristökeskuksesta, johtaja Jaakko Halonen Meritaito Oy:stä, toimitusjohtaja Sami Hirvonen Metsäsairila Oy:stä, tutkimuspäällikkö Hanne Soininen sekä tutkimusjohtaja Mervi Nurminen Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulusta.

Tekijät kiittävät hankkeen rahoittajia kehittämistyön mahdollistamisesta sekä hankkeen ohjausryhmän jäseniä ja hankkeeseen osallistuneita yrityksiä erittäin aktiivisesta osallistumisesta hanketyöhön.

Mikkelissä 28.2.2017

Tekijät

TEKIJÄT

Justiina Halonen, merikapteeni (AMK), tutkimuspäällikkö
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Logistiikka ja merenkulku -painoala

Hannu Heikkilä, insinööri (AMK), merenkulku

Henri Heino, insinööri (AMK), merenkulku

Jouni-Juhani Häkkinen, ins. (AMK), projektipäällikkö
Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, Logistiikka ja merenkulku -painoala

Joel Kauppinen, FM, projektiasiantuntija
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Logistiikka ja merenkulku -painoala

Vuokko Malk, FM, projektipäällikkö
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -painoala

Tiia Montonen, ympäristötekniikan opiskelija (AMK)

Serge Ryndov, ympäristötekniikan opiskelija (AMK)

Jyri Silmäri, pelastuspäällikkö
Etelä-Savon pelastuslaitos

Sari Seppäläinen, insinööri (AMK), laboratorioinsinööri
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -painoala

Hanne Soininen, DI, tutkimuspäällikkö
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -painoala

Arto Sormunen, FT, yliopettaja

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsätalouden ja ympäristötekniikan
koulutusyksikkö

Maija Tanskanen, insinööri (AMK), ympäristötekniologia

Denis Voroshilin, insinööri (AMK), merenkulku

Mariia Zhaurova, insinööri (AMK), ympäristötekniologia

SISÄLTÖ

LUKIJALLE.....	3
ÄLYKKÄITÄ MENETELMIÄ YMPÄRISTÖVAHINGOJEN TORJUNTAAN	9
Vuokko Malk & Hanne Soininen	
SAIMAAN SYVÄVÄYLÄN ALUSLIIKENTEEN RISKIALUEET ALUSÖLJYVAHINGON NÄKÖKULMASTA	13
Justiina Halonen & Jouni-Juhani Häkkinen & Joel Kauppinen	
VAARALLISTEN AINEIDEN VARASTOINNIN SEKÄ MAANTIE- JA RAUTATIEKULJETUSTEN YMPÄRISTÖRISKIKOhteet ITÄ-SUOMESSA.....	56
Vuokko Malk	
ÖLJYVAHINKOSKENAARIOIDEN MALLINNUS SAIMAAN VESISTÖSSÄ.....	74
Jouni-Juhani Häkkinen	
HAVERIALUKSEN MIEHISTÖN ENSITOIMENPITEET ALUSÖLJYVAHINGOSSA	119
Henri Heino & Denis Voroshilin & Hannu Heikkilä & Justiina Halonen & Jouni-Juhani Häkkinen	
MÄRKÄPESU/DESORPTIOTEKNIIKAT PILAANTUNEIDEN MAA- JA VESIMASSOJEN KÄSITTELYSSÄ JA RISKINARVIOINNISSA.....	160
Arto Sormunen & Maija Tanskanen & Vuokko Malk	
BIOPOLTTOAINEIDEN KÄYTTÄYTYMINEN JA VAIKUTUKSET YMPÄRISTÖSSÄ VAHINKOTILANTEESSA.....	167
Vuokko Malk	
PYROLYYSIÖLJYVAHINGON MALLINNUS POHJAVESIALUEELLA	195
Vuokko Malk & Jouni-Juhani Häkkinen	
DEMONSTRAATIOKOKEET BIOPOLTTOAINEIDEN KÄYTTÄYTYMISESTÄ VEDESSÄ JA MAAPERÄSSÄ.....	206
Vuokko Malk & Mariia Zhaurova	

BIOÖLJYT JA -POLTTOAINEET ÖLJYNTORJUNNAN NÄKÖKULMASTA	235
Justiina Halonen & Vuokko Malk	
ÖLJYNTORJUNTAMATERIAALIEN TESTAUS BIOPOLTTOAINEILLA LABORATORIOSSA	262
Vuokko Malk & Serge Ryndov	
ALUSÖLJYVAHINGON JÄTELOGISTIIKKA	275
Justiina Halonen & Vuokko Malk & Joel Kauppinen	
ÖLJYVAHINKOJÄTTEEN KÄSITTELY ITÄ-SUOMESSA	317
Vuokko Malk	
ÖLJYVAHINKOJÄTTEEN KÄSITTELYMENETELMIEN TEKNIŠTALOUDELLINEN TARKASTELU	331
Vuokko Malk & Tiia Montonen & Sari Seppäläinen	
KARTTA-AINEISTOT JA LOGISTIIKKAPISTEET ÖLJYVAHINKOJÄTELOGISTIIKAN HALLINTAAN SEKÄ TILANNETIEDON YLLÄPITOON.....	349
Joel Kauppinen	
ICT-TEKNOLOGIA ÖLJYVAHINKOJÄTTEEN KULJETUSTEN JA VARASTOINNIN SEURANNASSA.....	371
Vuokko Malk & Justiina Halonen	
YMPÄRISTÖN MONITOROINTI JA PIKAMITTAUSMENETELMIEN HYÖDYNTÄMINEN ÖLJYVAHINKOTILANTEESSA.....	385
Vuokko Malk & Arto Sormunen	
YRITYKSILLE UUTTA TIETOA YMPÄRISTÖVAHINKOJEN RISKEISTÄ JA TORJUNNASTA	408
Vuokko Malk & Hanne Soininen & Jyri Silmäri	

ÄLYKKÄITÄ MENETELMIÄ YMPÄRISTÖVAHINKOJEN TORJUNTAAN

Vuokko Malk & Hanne Soininen

Itä-Suomen maa-alueiden ja Saimaan vesistöalueen öljyn- ja vaarallisten aineiden varastoinnin ja kuljetusten ympäristöriskien älykäs minimointi ja torjunta (ÄLYKÖ) -hanke syntyi tarpeesta kehittää uusia keinoja vahinkoihin varautumiseen sekä niiden jälkihoitoon. Hankkeessa kartoitettiin riskikohteet, kehitettiin öljyisten jätteiden logistiikkaa ja pilotoitiin uusia puhdistusteknologioita.

Vaarallisten aineiden kuljetukset ja varastointi aiheuttavat Saimaalla ympäristövahingon riskin, joka voi pahimmillaan aiheuttaa vakavia haittoja alueen herkälle luonnolle, virkistyskäytölle, matkailulle sekä laivaliikenteelle ja vesihuollolle. Saimaalla rannat ovat lähellä, joten pienikin vuoto voi nopeasti liata laajoja ranta-alueita.



KUVA 1. ÄLYKÖ-hankkeen virallinen kuva (kuva Manu Eloaho 2015)

Hankkeen tavoitteena on ollut vaarallisten aineiden kuljetuksiin ja varastointiin liittyvien ympäristöriskien tunnistaminen ja niihin varautumisen tukeminen sekä vaikutusten minimointi. Erityistavoitteena hankkeessa oli uusien tuoteinnovaatioiden kehittäminen öljyntorjunta-alalle yhteistyössä yritysten kanssa sekä Itä-Suomen alueen osaamisen ja yritysten, viranomaisten ja asiantuntijoiden yhteistyön kasvattaminen.

Hankkeessa tuotettu tieto auttaa öljyntorjuntaan osallistuvia viranomaisia muun muassa suunnittelemaan ja kouluttamaan toimintamalleja ja harjoituksia vahinkotilanteita varten. Lisäksi hankkeessa tuotettu tutkimustieto auttaa alalla toimivia yrityksiä kuten teollisuuslaitoksia, kuljetusyrityksiä, jätehuoltoyrityksiä ja öljyntorjuntatuotteita sekä asiantuntijapalveluita tarjoavia yrityksiä kehittämään tuotteitaan ja palveluitaan. Suuri osa hankkeen tuloksista on hyödynnettävissä Itä-Suomen alueen lisäksi myös valtakunnallisesti.

Riskikohteiden kartoituksesta öljyvahinkojätteen loppukäsittelyyn

ÄLYKÖ-hankkeen toteutus jaettiin kuvassa 2 esitettyihin toimenpidekokonaisuuksiin. Hankkeessa tehtiin laaja riskikartoitus öljyn ja muiden vaarallisten aineiden varastointiin ja kuljetuksiin liittyvistä ympäristöriskeistä niin Saimaan syväväylällä kuin Itä-Suomen maa-alueillakin. Kuuteen riskikohteeseen tehtiin öljyn leviämismallinnukset kuvitteellisissa onnettomuusskenaariotilanteissa. Riskikartat ja leviämismallinnukset toimivat työkaluina vahinkoihin varautumisessa, torjunnan suunnittelussa ja harjoituksissa.

Uusien innovaatioiden kehittämiseksi hankkeessa tehtiin laboratoriokokeita ja tuotetestauksia. Ympäristövahinkojen monitorointiin soveltuvia pikamittausmenetelmiä sekä geotuubi-tekniikan soveltuvuutta öljyisten lietteiden käsittelyyn kartoitettiin ja testattiin käytännössä Metsäsairila Oy:n jätekeskuksessa Mikkelissä. Märkäpesu- ja desorptiotekniikoiden toimivuutta puhdistuksessa ja riskinarvioinnissa selvitettiin laboratoriokokeella. Bioöljyjen ja -polttoaineiden ympäristökäyttäytyminen ja torjunta nousivat keskeiseksi tutkimusteemaksi hankkeessa, sillä näistä uusista tuotteista ei vielä ole juuri kokemusta eikä tutkimustietoa ympäristövahinkojen torjunnan näkökulmasta. Suomalaisten biopolttoaineiden ympäristökäyttäytymistä ja torjuntaa havainnollistettiin demonstraatiokokeilla, ja öljyntorjuntatuotteita testattiin yhteistyössä yritysten kanssa.

Ympäristöturvallisuuden kehittämiseksi luotiin ohjeita ja toimintamalleja alusten miehistön ensitoimenpiteisiin öljyvahinkotilanteessa sekä teollisuuden vesilaitoksen toimintaan. Öljyvahingon torjunnassa ja ympäristön kunnostamisessa syntyy huomattava määrä öljyvahinkojätettä. Logistiikkaa helpottamaan kartoitettiin yhteistyössä pelastusviranomaisten kanssa maastosta sopivat keräys- ja kuljetuspisteet ja laadittiin laajoja kartta-aineistoja. Öljyvahinkojätteen käsittelymahdollisuudet Itä-Suomessa ja lähialueilla kartoitettiin ja käsittelymenetelmiä vertailtiin teknistaloudellisesta näkökulmasta. Lisäksi selvitettiin ICT-teknologian hyödyntämistä jätteen varastoinnin ja kuljetusten seurannassa. Case-tarkastelulla konkretisoitiin jätemääriä, toimintaa ja vahingon kustannuksia kuvitteellisessa onnettomuusskenaariossa.

1. ITÄ-SUOMEN MAA-ALUEIDEN JA SAIMAAN VESISTÖN HERKKIEN ALUEIDEN RISKIEN TUNNISTAMINEN, ARVIOINTI JA MALLINTAMINEN

2 UUDET INNOVAATIOT YMPÄRISTÖVAHINGOJEN MINIMOINTIIN, HALLINTAAN JA VAHINGOJÄTELOGISTIIKKAAN

- 2.1 Torjuntatekniikoiden kehittäminen öljyvahingoissa
- 2.2 Selvitetään Suomen olosuhteisiin soveltuvat pikamittausten menetelmät ja tutkitaan öljyllä pilaantuneiden maa-aineisten välivarastoinnin monitorointia
- 2.3 Kevyen polttoöljyn, bioöljyn ja muiden haitallisten aineiden käyttäytyminen Saimaan alueen vesistössä sekä demonstraatiokokeet
- 2.4 Öljyisten jättemateriaalien uudelleen käytön resurssitehokkuus ja tuotteistamisen mahdollisuudet

3 YMPÄRISTÖTURVALLISUUDEN KEHITTÄMINEN ONNETTOMUUKSIEN ENNALTAEHKÄISYSSÄ JA VAIKUTUSTEN MINIMOINNISSA

- 3.1 Kuljetusyritysten onnettomuuksien ennaltaehkäisyyn tähtäävien sekä ensitoimenpiteiden kehittäminen onnettomuustilanteisiin
- 3.2 Teollisuuden vesilaitosten toiminta onnettomuustilanteiden aikana
- 3.3 Jätelogistiikan ja jätteen vastaanottoalueiden kehittäminen jätehuoltoyritysten kanssa

4. ICT-ARKKITEHTUURIN KEHITTÄMINEN TIEDON ÄLYKKÄÄSEEN OHJAUKSEEN JA JAKAMISEEN

KUVA 2. ÄLYKÖ-hankkeen toteutus toimenpiteinä

ÄLYKÖ-hankkeen toimenpiteiden tulokset

Vaarallisten aineiden kuljetusten ja varastoinnin riskikartoituksen tuloksia on esitelty artikkeleissa ”Saimaan syväväylän alusliikenteen riskialueet alusöljyvahingon näkökulmasta” ja ”Vaarallisten aineiden varastoinnin sekä maantie- ja rautatiekuljetusten ympäristöriskikohteet Itä-Suomessa”. Leviämismallinnukset on esitelty artikkeleissa ”Öljyvahinkoskenaarioiden mallinnus Saimaan vesistössä”

ja ”Pyrolyysiöljyvahingon mallinnus pohjavesialueella”. Riskikartoituksesta ja leviämismallinnuksista syntyi tuloksena myös pääasiassa viranomaiskäyttöön tarkoitettuja paikkatietoaineistoja, jotka on viety Suomen ympäristökeskuksen Boris-tilannekuvajärjestelmään.

Biopolttoaineiden ympäristökäyttäytymistä ja torjuntaa kirjallisuusselvityksen pohjalta on käsitelty artikkeleissa ”Biopolttoaineiden käyttäytyminen ja vaikutukset ympäristössä vahinkotilanteessa” ja ”Bioöljyt ja -polttoaineet öljyntorjunnan näkökulmasta”. Hankkeessa toteutetut demonstraatiokokeet ja laboratoriotestaukset on kuvattu artikkeleissa ”Demonstraatiokokeet biopolttoaineiden käyttäytymisestä vedessä ja maaperässä”, ”Öljyntorjuntamateriaalien testaus biopolttoaineilla laboratoriossa” ja ”Märkäpesuldesorptiotekniikat pilaantuneiden maa- ja vesimassojen käsittelyssä ja riskinarvioinnissa”.

Öljyvahinkojätteen logistiikkaa ja käsittelyä on tarkasteltu artikkeleissa ”Alusöljyvahingon logistiikka”, ”Öljyvahinkojätteen käsittely Itä-Suomessa” ja ”Öljyvahinkojätteen käsittelymenetelmien teknistaloudellinen tarkastelu”. Öljyvahinkojätteen logistiikkaan syntyi laaja kartta-aineisto, joka sisältää muun muassa rantalohkojaon ja logististen pisteiden kohdekortit. Kartta-aineisto toimitetaan viranomaiskäyttöön ja julkiset tiedot julkaistaan myös avoimessa data-palvelussa. Kartta-aineistojen taustatietoja on kuvattu artikkelissa ”Kartta-aineistot ja logistiikkapisteen öljyvahinkojätelogistiikan hallintaan sekä tilannetiedon ylläpitoon”.

ICT-sovelluksia ja ympäristön monitorointia on käsitelty artikkeleissa ”ICT-teknologia öljyvahinkojätteen kuljetusten ja varastoinnin seurannassa” sekä ”Ympäristön monitorointi ja pikamittausmenetelmien hyödyntäminen öljyvahinkotilanteessa”.

Alusten miehistön ensitoimenpiteiden kehittämiseen suunnattuja ohjeita on käsitelty artikkelissa ”Haverialuksen miehistön ensitoimenpiteet alusöljyvahingossa”. Teollisuuden vesilaitoksen toimintaa öljyvahinkotilanteessa tarkasteltiin hankkeessa case-kohteessa.

SAIMAAN SYVÄVÄYLÄN ALUSLIIKENTEEN RISKIALUEET ALUSÖLJYVAHINGON NÄKÖKULMASTA

Justiina Halonen & Jouni-Juhani Häkkinen & Joel Kauppinen

Alusperäisen ympäristövahingon todennäköisyys Saimaan vesistössä on verrattain pieni. Saimaan syväväylä kulkee kuitenkin keskellä ainutlaatuista luonto- ja virkistysaluetta, jolloin vahingon vaikutukset voivat olla suuret. Vahinkoihin varautumisen tueksi Saimaan syväväylän riskialttiit väyläosuudet on kartoitettu ja valittuihin riskikohteisiin on luotu öljyvahingon leviämismallit. Leviämismallinnuksista on julkaistu erillinen artikkeli ”Öljyvahinkoskenaarioiden mallinnus Saimaan vesistössä”. Alusliikennettä merkittävämpi ympäristövahinkoriski aiheutuu maalla vesistön läheisyydessä sijaitsevista öljy- ja kemikaalisäiliöistä ja -varastoista sekä öljy- ja kemikaalituotteiden maakuljetuksista. Maaliikenteen ja varastoinnin riskikartoituksen tulokset on kuvattu artikkelissa ”*Vaarallisten aineiden varastoinnin sekä maantie- ja rautatiekuljetusten ympäristöriskikohteet Itä-Suomessa*”.

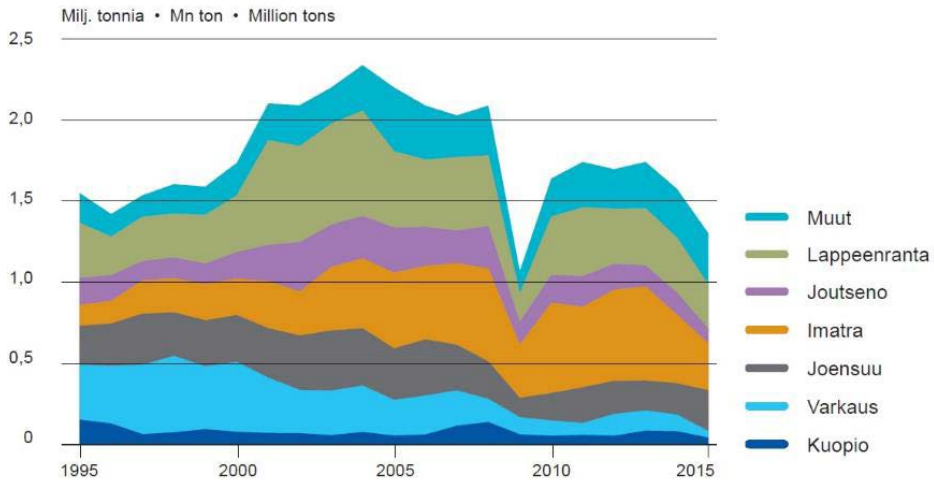
Tässä artikkelissa lähestytään alusliikenteen öljyvahinkoriskiä todennäköisyyspohjaisen riskianalyysin kautta. Artikkelin taustamateriaalina on käytetty sekä asiantuntija-arvioita että tilastotietoa alusliikennemääristä, tapahtuneista onnettomuuksista sekä onnettomuuspaikoista. Saimaan syväväylän alusliikennemäärän hahmottamiseksi hyödynnettiin Liikenneviraston tilastoja. Alusten satamakäyntien lukumäärät saatiin Liikenneviraston PortNet-järjestelmästä vuosilta 2002–2014. Tämän lisäksi alusten lukumäärätietoja on kerätty Merenkulkulaitoksen raporteista, Tilastokeskukselta sekä Satamaliitosta.

Alusonnettomuustiedot on koottu Merenkulkulaitoksen raporteista, Liikenteen turvallisuusvirasto Trafilta ja Liikennevirastosta. Tämän lisäksi lähteenä on käytetty aiempia tutkimuksia sekä Onnettomuustutkintakeskuksen raportteja. Riskikartoituksen lähdemateriaali on kerätty sekä julkisista aineistoista että viranomaislähteistä. Osa lähdetiedoista on luokiteltu luottamuksellisiksi ja osa salassa pidettäviksi. Tässä artikkelissa esitetyistä tuloksista on poistettu salassapitovelvollisuuden piiriin kuuluvat tiedot.

Saimaan syväväylä ja väylän alusliikenne

Saimaan syväväylän pituus on noin 770 kilometriä. Syväväyläverkko alkaa Viipurinlahdelta Brusnitchnoen sululta ja ulottuu Lappeenrannan kautta Joensuuun ja Siilinjärvelle. Saimaan sisävesiväylillä on useita kanavia ja sulkuja. Vesistöalueen pisimmässä ja vilkkaimmassa Saimaan kanavassa on 8 sulkua, 7 avattavaa siltaa ja 6 kiinteää siltaa. Lisäksi syväväyläverkolla on 2 sulkua, Taipaleen sulku Varkaudessa ja Konnuksen sulku Leppävirralla. Hyötyliikenteen kanavia ovat Pielisjoen reitti (3 sulkua, 7 avattavaa siltaa), Heinäveden reitti (5 sulkua), Iisalmen reitti (2 sulkua, 1 avattava silta) ja Tahkon reitti (3 sulkua). Saimaan kanavan liikennekausi on noin kymmenen kuukautta. Kausi alkaa tyypillisesti maaliskuun puolesta väliltä Suomenlahden jäätilanteen mukaan ja päättyy tammikuun puolenvälin jälkeen. (Merenkulkulaitos 2008, 3–6; Liikennevirasto 2016a, 26.) Saimaan syväväylän kulkusyvyys on 4.2–4.35 metriä. Väylän ylittävien siltojen alikulkukorkeus on joko 24,5 metriä tai ne ovat avattavia. Muilla Saimaan hyötyliikenteen väylillä alikulkukorkeus on 8–16 metriä. (Merenkulkulaitos 2005, 3.) Saimaan kanava rajoittaa liikennöivien alusten pituuden noin 80 metriin. Liikennöivät alukset ovat pääsääntöisesti tätä kokoluokkaa. (Merenkulkulaitos 2008, 6–7; Liikennevirasto 2016a.)

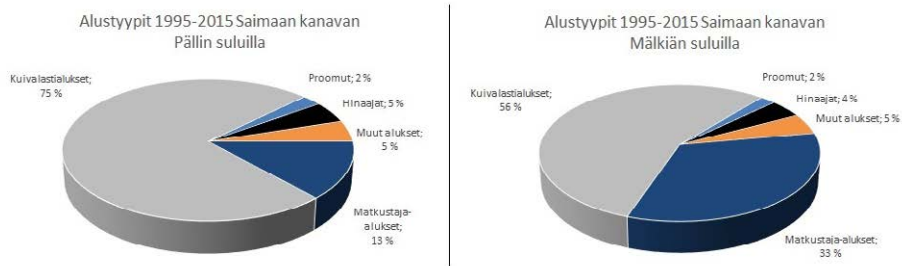
Syväväyläverkon alueella on syväsatamia kymmenellä paikkakunnalla. Satamissa on keskimäärin 1500 aluskäyntiä vuosittain. Etelä-Saimaan satamien (Lappeenranta, Imatra, Joutseno ja Ristiina) osuus alusliikenteestä on noin 60 % ja tavaraliikenteestä noin 50 %. (Liikennevirasto 2015a.) Vuonna 2015 koko Vuoksen vesistöalueen (Saimaan) tavaraliikenne oli 2,25 miljoonaa tonnia. Tästä 1,32 miljoonaa tonnia kuljetettiin Saimaan kanavan kautta ja 0,50 miljoonaa tonnia Saimaan sisäisessä liikenteessä. Uiton osuus oli 0,43 miljoonaa tonnia. (Liikennevirasto 2016a, 39.)



KUVA 1. Saimaan kanavan kautta kulkenut tavaraliikenne satamittain Saimaan alueella 1995–2015 (Liikennevirasto 2016a, 16).

Saimaan kanavan kautta kuljettiin 2015 pääasiassa raakapuuta (34 %), raakamineraaleja (30 %) ja metsäteollisuuden tuotteita (18 %). Öljytuotteiden aluskuljetuksia ei ole ollut Saimaalla vuoden 1992 jälkeen. (Liikennevirasto 2016a, 22.) Merenkulun ympäristönsuojelulain 2. luvun 8. § kieltää raskaan polttoöljyn kuljettamisen sisävesialueella öljysäiliöaluksen lastisäiliöissä sekä kaiken tyyppisten öljyjen kuljettamisen aluksen pohjaan tai ulkolaitaan rajoituvissa lastisäiliöissä (Merenkulun ympäristönsuojelulaki 2009/1672). Lakia valmistelleen Hallituksen esityksen (248/2009, 54) mukaan ”*raskaalla polttoöljyllä tarkoitetaan tullitariffin nimikkeeseen 2710 kuuluvia raakaöljystä saatuja, lämmitykseen tarkoitettuja öljyjä ja öljyvalmisteita [...] ei kuitenkaan meriliikenteessä käytettävää polttoainetta.*”

Suurin osa Saimaalla liikkuvista aluksista on kuivarahtialuksia (Liikennevirasto 2016a, 22). Nämä rahtialukset voidaan karkeasti jakaa kahteen eri alustyyppiin: Saimax-tyypin aluksiin ja venäläisiin STK-sarjan jokilaivoihin (Heikkilä 2016, 12). Eri alustyyppien osuudet liikenteestä on esitetty tarkemmin kuvassa 2. Mälkiän sulun tilasto kuvaa Saimaan kanavalta Saimaalle ja Saimaalta kanavalle kulkeneiden alusten määrää. Mukana on myös kanavan Suomen puoleisen osan risteilyt. Pällin sulun tilasto kuvaa Saimaan kanavan läpi merelle saakka kulkenutta liikennettä. Osa tavaraliikenteen aluksista jää kuitenkin kanavassa olevaan Mustolan satamaan eivätkä siten näy Pällin tilaston lukumäärissä. (Liikennevirasto 2016a, 22.)



KUVA 2. Alustyyppien prosenttiosuudet Saimaan kanavan Pällin ja Mälkiän suluilla 1995–2015 välisenä aikana kulkeneesta alusliikenteestä, pois lukien huvialukset (Liikennevirasto 2016a, 22).

Pällin sulkujen kautta kulkee keskimäärin 3070 alusta vuodessa. Keskiarvo on laskettu vuosilta 1985–2015. Luku ei sisällä huvialuksia. Mälkiän suluista on saman ajanjakson keskiarvona kulkenut 3630 alusta. Alusmäärät on tilastoitu läpikulkukertoina eli yhteensä sekä kanavaa ylös- että alaspäin kulkeneet alukset. Aluskäyntimääristä suurin osa (37 %) on venäläisiä aluksia ja toiseksi suurimman osan (19 %) muodostavat alankomaalaiset alukset. Suomalaisten alusten osuus on 17 %. (Liikennevirasto 2016a, 19–22.) Noin puolet liikennevälineistä aluksista luotsataan (Paldanius 2016).

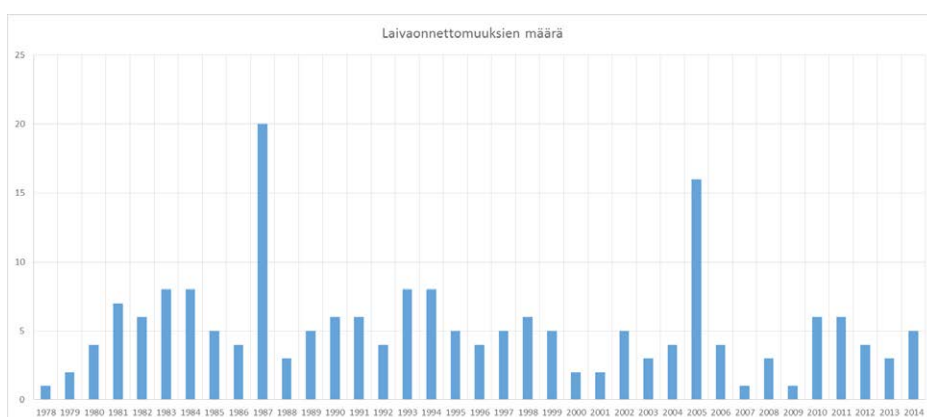
Syväväylällä tapahtuneet onnettomuudet

Koostettua alusonnettomuusanalyysia Saimaan alueelta ei ollut käytettävissä. Tiedot Saimaan syväväylällä tapahtuneista alusonnettomuuksista on kerätty useasta lähteestä. Aineistoa oli saatavilla vuodesta 1978 vuoteen 2014. Onnettomuustapauksista on karsittu pois satamissa ja aluksilla sattuneet työtapaturmat sekä huviveneille tapahtuneet onnettomuudet. Analyysi pohjautuu siten aineistoista poimituihin relevanteimmiksi arvioituihin onnettomuustapauksiin, joita on yhteensä 116 kappaletta.

Tilastoanalyysin laatimista on jossain määrin hankaloittanut onnettomuusaineistojen tilastointikäytäntöjen eroavaisuudet. Esimerkiksi tietoa onnettomuuksista ja niissä syntyneistä vaurioista on kerätty eri aikoina eri painotuksilla. Lisäksi osa vanhemmista onnettomuusilmoituksista on etenkin sijaintitietojen osalta puutteellisia. Samankin toimijan raportointi- ja kirjausmenetelmät sekä niiden tilastointiperiaatteet ovat tarkastelujaksolla muuttuneet; paperiarkistoinnista on siirrytty sähköiseen arkistointiin ja myös sähköisen arkistoinnin järjestelmät ovat kehittyneet ajan myötä.

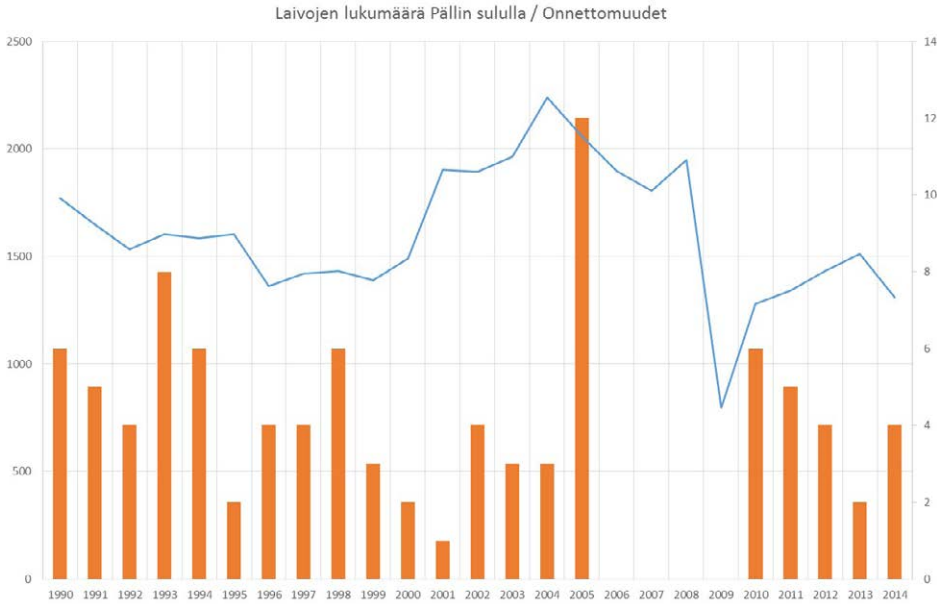
Onnettomuusmäärät

Saimaan syväväylältä raportoidaan alusonnettomuusilmoituksia vuosittain. Onnettomuusilmoitusmäärät ovat vaihdelleet tarkastelujakson aikana yhden ja 20 välillä. Keskimäärin onnettomuuksia on raportoitu alle viisi vuodessa 1990 jälkeisenä aikana. Suuria ympäristövaikutuksia aiheuttaneita onnettomuuksia ei ole raportoitu. (Dannenberg 1989; Merenkululaitos 1996; Kaila & Luukkonen 1998; Laasonen, Rytönen & Sassi 2001; Merenkululaitos 2001; Merenkululaitos 2007; Liikennevirasto 2015b; Trafi 2015.) Saimaan syväväylällä vuosien 1978–2014 aikana raportoitujen onnettomuuksien määrä on esitetty kuvassa 3.



KUVA 3. Raportoitujen alusonnettomuuksien määrä Saimaan syväväylällä 1978–2014 (kuva Jouni-Juhani Häkkinen 2016).

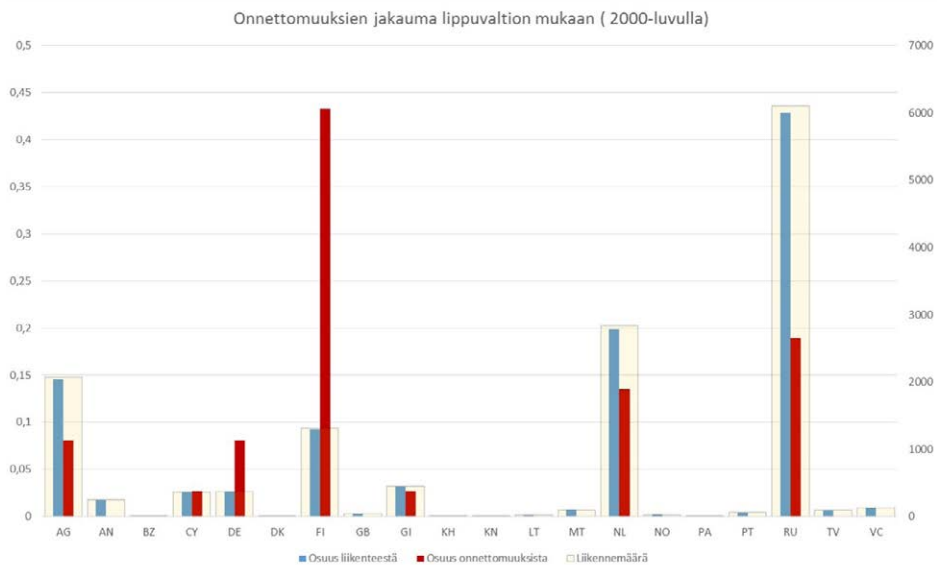
Sisävesionnettomuuksien tilastoitu määrä on lisääntynyt äkillisesti vuonna 2005. Merenkululaitoksen onnettomuusanalyysin mukaan tämä johtuu pääasiassa madaltuneesta ilmoituskynnyksestä ja tehostuneesta valvonnasta (Merenkululaitos 2007, 7). Toimintatapojen muutos ei kuitenkaan näytä heijastuneen enää seuraaville vuosille. Finn-pilot Pilotage Oy:n mukaan vuoden 2005 onnettomuusmäärää selittää vilkas liikenne. Vuoden 1987 onnettomuusmäärä ei kuitenkaan selity liikennemäärillä. (Paldanius 2016.) Vuosittaisten onnettomuuksien lukumäärällä ei ole vahvaa korrelaatiota liikennemääriin (ks. kuva 4). Eri vuosille sattuneet onnettomuuspiikit saattavat olla ennemminkin seurausta olosuhdetekijöistä, kuten vedenkorkeuden vaihteluista (Haapiainen 2016), joihin ilmiöiden yhteyttä ei tässä selvityksessä ole voitu todentaa.



KUVA 4. Laivaonnettomuuksia tapahtuu vaihtelevasti, eikä vahvaa korrelaatiota kuljetusmääriin ole osoitettavissa (kuva Jouni-Juhani Häkkinen 2016).

Onnettomuuksien jakauma aluksen lippuvaltion mukaan

Saimaan vesistön alusliikenteestä suurin osa on venäläisiä aluksia. Onnettomuudet sattuvat kuitenkin pääasiassa suomalaisille aluksille. Aikaisemmissa tilastoanalyyseissä (mm. Kaila & Luukkonen 1998, 27) todetaan, etteivät kotimaisten ja ulkomaisten alusten onnettomuustiheydet ole vertailukelpoisia, sillä kotimaiset alukset sisältävät runsaasti kalastusaluksia, hinaajia, losseja jne., mutta taas ulkomaiset alukset eivät. Aluskanta on siis erilainen ja erot onnettomuustiheydessä johtunevat erilaisten alustyyppien operointitavan luonteesta enemmän kuin lippuvaltiosta. Lippuvaltiokohtaista eroa onnettomuustiheydessä olisi siten mielekkäämpää tarkastella tietyn alustyyppin, esimerkiksi kuivarahتيالusten, suhteen. Kuvassa 5 onnettomuustiheys on esitetty suhteessa liikennemääriin. Tietyn väylän tai väyläosuuden liikennöinti- ja onnettomuusfrekvenssiä on tarkasteltu lähemmin luvussa Onnettomuustiheys riskialueilla.



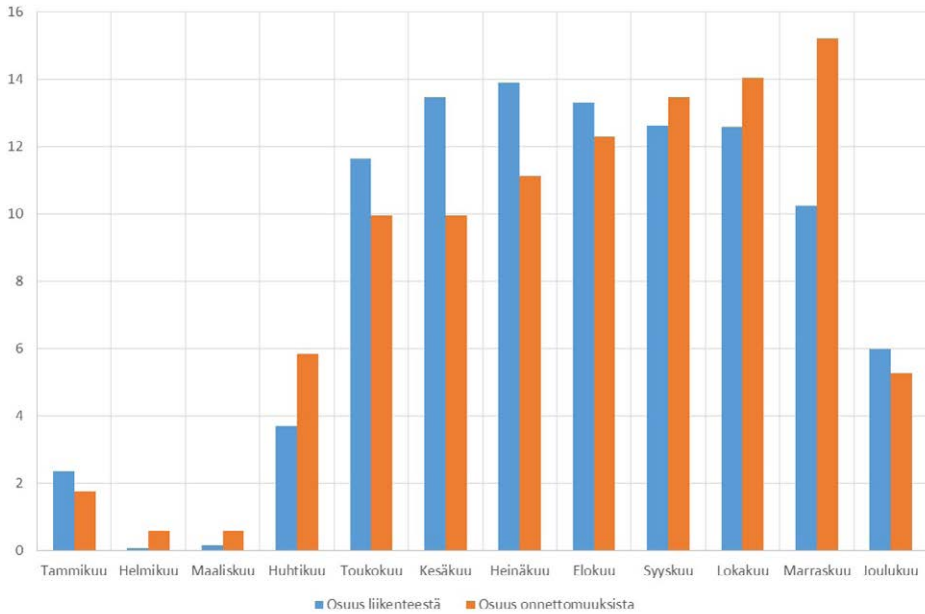
KUVA 5. Onnettomuuksien jakauma aluksen lippuvaltion mukaan sekä osuus liikennemäärästä (kuva Jouni-Juhani Häkkinen 2016).

Onnettomuuksien jakauma ajankohdan mukaan

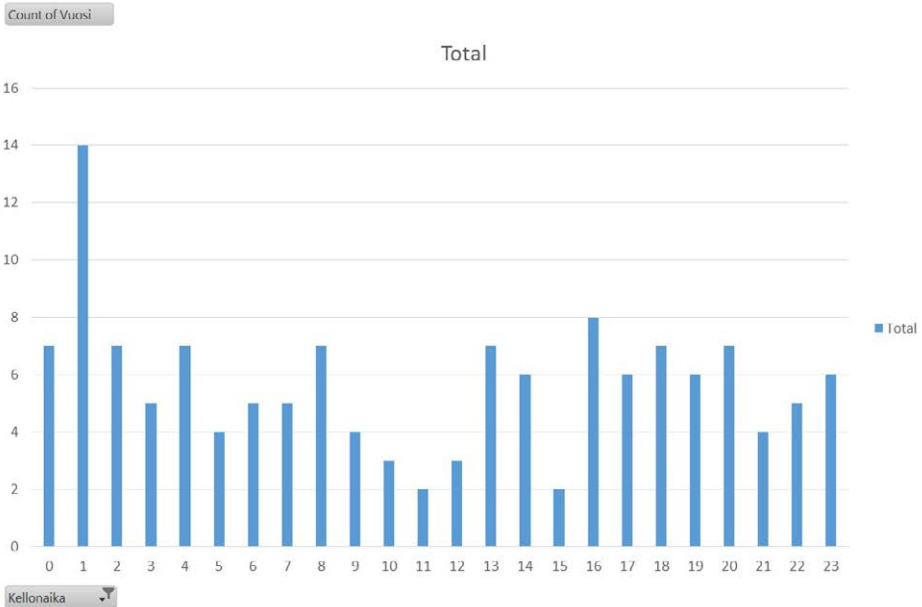
Alusonnettomuuksia on tapahtunut kaikkina vuorokaudenaikoina sekä kaikkina syväväylällä liikennöitävinä kuukausina. Onnettomuustapausten jakauman vertaaminen kyseisen kuukauden liikennöintimäärän jakaumaan paljastaa onnettomuusriskin suhteellisen osuuden olevan keskimääräistä korkeampi syksyn kuukausina (syys, loka, marras) ja jossakin määrin huhtikuussa. Tilastollisesti korrelaatio ei ole vahva, mutta marraskuun voidaan todeta olevan sekä absoluuttisesti että suhteellisesti riskialttein kuukausi, ks. kuva 6.

Marraskuun pimeä aika voi osaltaan selittää suurta onnettomuusmäärää. Myös huhtikuussa on tapahtunut liikennemäärään suhteutettuna paljon onnettomuuksia. Huhtikuussa jääolosuhteet haittaavat liikennettä, sillä jäät liikkuvat ja turvalaitteet voivat olla vielä pois paikoiltaan tai näkymättömissä (Paldanius 2016). Marras- ja huhtikuun suuri onnettomuusmäärä on yhtenevä merialueilta raportoitujen onnettomuustihentymien kanssa. Merialueilla on havaittu pienempi onnettomuuspiikki keväällä jäiden lähdön aikoihin ja voimakkaampi piikki loppusyksystä olosuhteiden ollessa näkyvyydenkin suhteen huonot (Laa-sonen, Rytönen & Sassi 2001, 35).

Onnettomuuksien jakauma vuodessa verrattuna liikennemäärään



KUVA 6. Onnettomuuksien jakautuminen eri kuukausille verrattuna liikennemääriin. Vertailussa kuukausittaisen liikennemäärän keskiarvo ja kuukausittaisen onnettomuusmäärän keskiarvo (kuva Jouni-Juhani Häkkinen 2016).

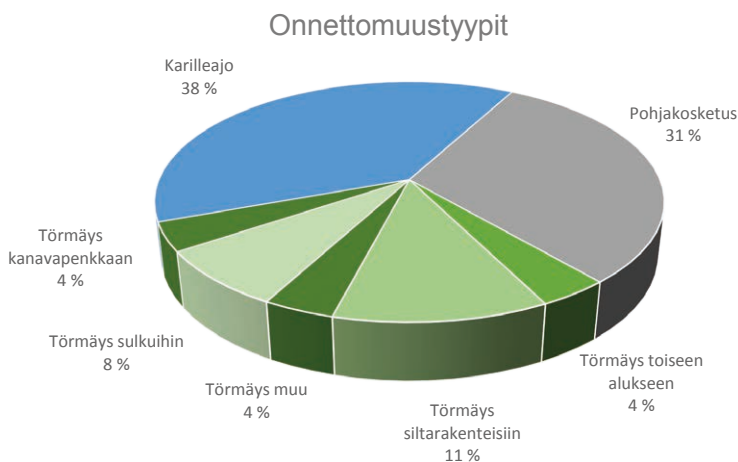


KUVA 7. Onnettomuustapausten lukumäärä eri vuorokaudenaikoina (kuva Jouni-Juhani Häkkinen 2016).

Onnettomuudet jakautuvat melko tasaisesti vuorokauden mittaan. Päivänvalon aikaan voidaan havaita tapahtuneen hieman vähemmän onnettomuuksia kuin yöllä, ja keskiyön huippuarvo näyttäisi ajoittuvan vahtijärjestelmän mukaisen vahdinvaihdon tienoille. (Vahdinvaihdot 4/4-vahtijärjestelmässä klo 00, 04, 08, 12, 16 ja 20 sekä 2/2-vahtijärjestelmässä klo 00, 06, 12 ja 18.) Havainnot eivät kuitenkaan ole tilastollisesti luotettavia onnettomuustapausten vähäisen lukumäärän vuoksi.

Onnettomuustyypit ja raportoidut seuraukset

Yleisin onnettomuustyyppi Saimaalla on karilleajo. Vuosien 2000–2014 aikana tapahtuneista alusonnettomuuksista karilleajoja oli 38 %. Pohjakosketuksia ja törmäysonnettomuuksia oli aineistossa yhtä paljon, molempia 31 %. Törmäyksistä on edelleen eroteltavissa törmäykset siltarakenteisiin, törmäykset sulkuihin, kanavapenkkaan ja yhteentörmäykset toiseen alukseen (ks. kuva 8). Onnettomuustyyppi ”törmäys muu” pitää sisällään törmäyksen merimerkkiin sekä yhden tapauksen, jossa törmäyksen kohdetta ei ollut eritelty. (Merenkulkulaitos 2001; Merenkulkulaitos 2007; Liikennevirasto 2015b; Trafi 2015.)



KUVA 8. Karilleajot, pohjakosketukset ja yhteentörmäykset vuosina 2000–2014 tapahtuneissa onnettomuuksista.

Onnettomuustyyppitarkastelun ajanjaksoksi valittiin 2000-luvulla tapahtuneet onnettomuudet, koska vanhempi ei aineisto anna ajanmukaista kuvaa alusten navigointijärjestelmissä ja väyläalueen turvalaitteissa tapahtuneen kehityk-

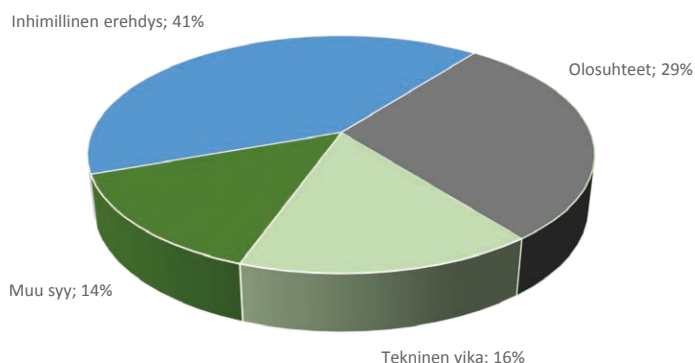
sen vuoksi. Tulos oli kuitenkin yhdenmukainen lähteessä Dannenberg (1989) esitetyn onnettomuusanalyysin kanssa, jossa tarkastellaan vuosina 1978–1987 tapahtuneita alusonnettomuuksia. Dannenbergin (1989, 30) onnettomuusaineistosta 34 % tapauksista olivat karilleajoja, 31 % pohjakosketuksia, 19 % törmäyksiä siltaan, 11 % muita törmäyksiä ja 4 % muita onnettomuuksia. Myös Laasonen, Sassi & Rytönen (2001) päätyivät samansuuntaisiin tuloksiin tarkastellessaan vuosina 1982–1998 tapahtuneita onnettomuuksia. Näistä karilleajoja tai pohjakosketuksia oli 58 % ja yhteentörmäyksiä 42 % (Laasonen, Sassi & Rytönen 2001, 50). Saimaalla tapahtuneiden alusonnettomuuksien jakautuminen eri onnettomuustyyppeihin on siten pysynyt samankaltaisena usean vuosikymmenen ajan.

Vuosien 2000–2014 karilleajoista ja pohjakosketuksista yli 80 % tapahtui syväväylästä alueella. Yhteentörmäykset jakautuivat tasaisemmin kanavalla tapahtuneisiin (44 %) ja muualla syväväylästä tapahtuneisiin (56 %) onnettomuuksiin. (Merenkulkulaitos 2001; Merenkulkulaitos 2007; Liikennevirasto 2015b; Trafi 2015.) Kanavalla tapahtuneet onnettomuudet ovat pääasiassa törmäyksiä penkkoihin tai rakenteisiin. Kanavalla kulkunopeudet ovat pieniä ja vauriot ovat tyypillisesti vähäisiä. Varsinaisella syväväylällä tapahtuvat onnettomuudet keskittyvät tietyille onnettomuustihentymäalueille, ja vaurioiden laadun ja vakavuusasteen jakauma on suurempi. (Dannenberg 1989; Merenkulkulaitos 1996; Kaila & Luukkonen 1998; Laasonen, Rytönen & Sassi 2001; Merenkulkulaitos 2001; Merenkulkulaitos 2007; Liikennevirasto 2015b; Trafi 2015.)

Onnettomuuksien taustasyt

Alusonnettomuusraportteihin on kirjattu onnettomuuksiin johtaneita syitä jonkin verran, mutta vaihtelevalla luokituksella. Kuvassa 9 on esitetty onnettomuussyiden pääluokat ja niiden jakauma 116 Saimaan syväväylällä vuosina 1978–2014 tapahtuneessa onnettomuudessa. Suurin osa, 41 %, onnettomuuksien syistä on inhimillisiä virheitä. Tyypillisiä onnettomuuteen johtaneita inhimillisiä virheitä ovat olleet navigointivirheet, puutteet paikanmäärittämisessä tai puutteelliset tai huonosti viestitetyt tilannetiedot. (Dannenberg 1989; Merenkulkulaitos 1996; Kaila & Luukkonen 1998; Laasonen, Rytönen & Sassi 2001; Merenkulkulaitos 2001; Merenkulkulaitos 2007; Liikennevirasto 2015b; Trafi 2015.)

Onnettomuuteen johtaneet syyt



KUVA 9. Onnettomuuteen johtaneiden syiden jakauma tarkasteltaessa kaikkia onnettomuustyyppejä vuosilta 1978–2014.

Olosuhdesyiksi mainitaan useimmin huono näkyvyys, pimeys ja vaikeat tuuliolosuhteet (Dannenbergr 1989; Merenkululaitos 1996; Kaila & Luukkonen 1998; Laasonen, Rytönen & Sassi 2001; Merenkululaitos 2001; Merenkululaitos 2007; Liikennevirasto 2015b; Trafi 2015). Esimerkiksi Sulkavan ja Puumalan alueella sumu muodostuu usein äkillisesti ja yllättäen. Myös jääolosuhteet, kuten liikkuvat jäälautat, on mainittu onnettomuuksien taustasyiksi. Lisäksi mainitaan, mm. Vekaransalmen kohdalla, että alueen pysyessä myös talvella jäättömänä väylälle ei muodostu ohjailuja helpottavia jäärännejä. (Laasonen, Rytönen & Sassi 2001, 56.)

Sisävesien kapeilla ja mutkasilla vesillä tuuli ei aiheuta niin suuria momenteja alukseen kuin merialueilla. Toisaalta kapeikoissa ja salmissa veden virtausnopeus sekä pohja- ja reunaimut vaikeuttavat kulkua. Virtausnopeudet voivat paikallisesti olla noin 1,0–1,5 m/s. Poikittaisvirtaukset ovat esimerkiksi Kyrönsalmessa, Konnuksen ja Joensuun suluissa mainittu ensisijaisiksi syiksi tapauksissa, joissa alus on törmännyt rakenteisiin. (Laasonen, Rytönen & Sassi 2001, 11.)

Syväväylän riskipaikat

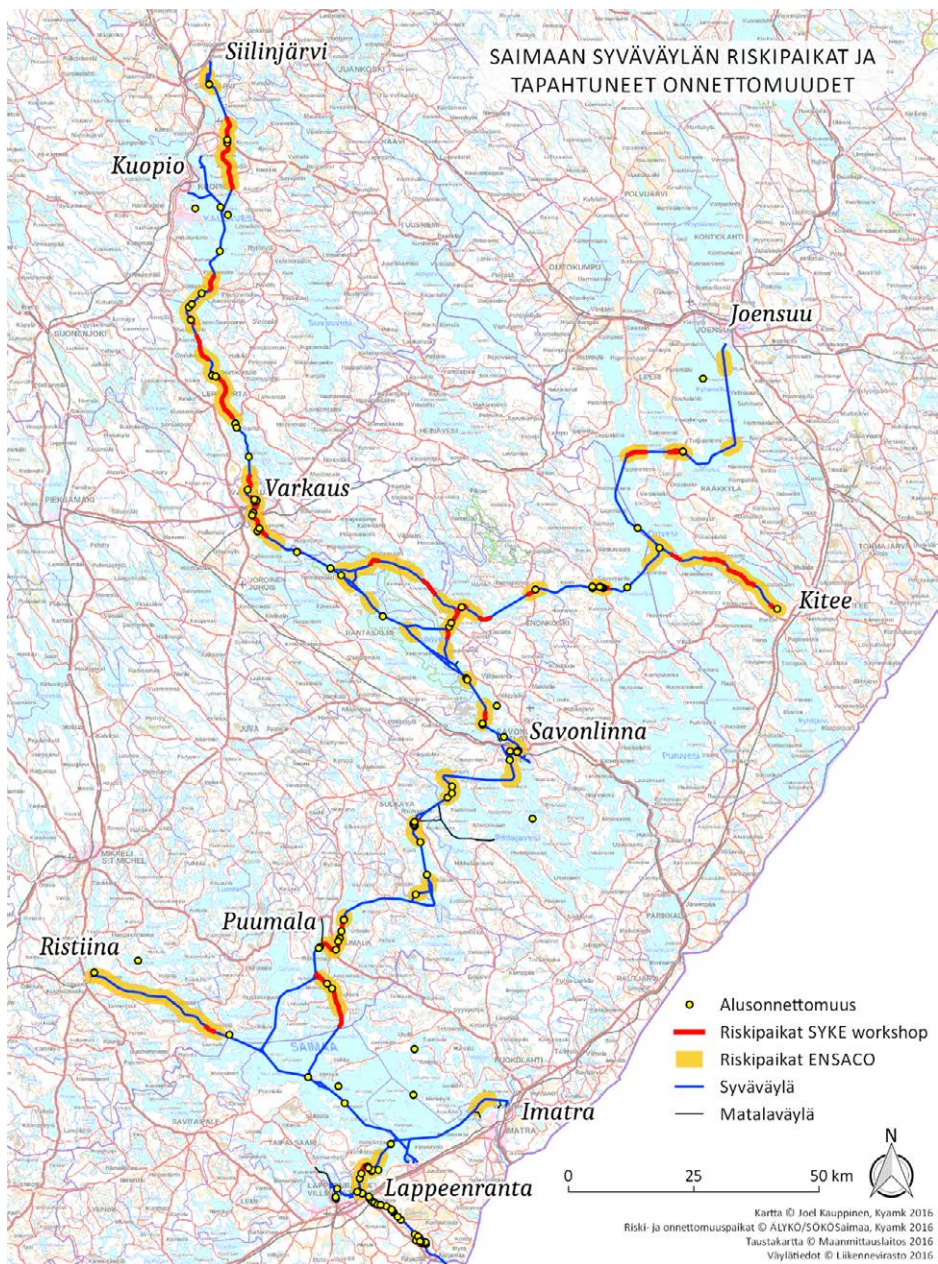
Saimaan syväväylältä on tunnistettu väyläosuuksia, joissa on muuta väyläaluetta korkeampi alusonnettomuuden riski. Riskipaikat ovat tyypillisesti kapeikkoja ja virtauspaikkoja sekä kanavia. Myös syväväylän ylittävät sillat ja lossit kohottavat

onnettomuusriskiä. Riskipaikkoja on dokumentoitu jo Mikkelin vesirakennuspiiriin vuoden 1996 raportissa. EnSaCo-hankkeessa vuonna 2012 riskipaikat kartoitettiin paikkatietoaineistoksi. Suomen ympäristökeskus ja Kymenlaakson ammattikorkeakoulu järjestivät 11.5.2015 Mikkelissä työpajan, jossa merenkulun asiantuntijaryhmä määritteli riskipaikat koko syväväylän alueelta. Myös Liikenneviraston Saimaan syväväylän suojapaikkoja kartoittanut työpaja Lappeenrannassa 4.2.2015 otti kantaa syväväylän riskipaikkoihin. Kaikki edellä mainitut tietolähteet ovat päätyneet samansuuntaisiin tuloksiin.

Riskipaikat on esitetty kuvassa 10. Alusonnettomuuksista 52 % sijaitsee riskipaikoiksi nimetyillä alueilla. Kaikista onnettomuuksista 20 % on tapahtunut Saimaan kanavassa, jota ei ole luokiteltu riskipaikaksi. Riskipaikkoja on kartoitettu kaiken kaikkiaan 104 kappaletta ja ne kattavat yhteensä 335 kilometriä (noin 44 %) syväväylästä.

Kuvaan 10 on merkitty tässä selvityksessä kerättyjen onnettomuustapausten tapahtumapaikat niiltä osin kuin paikkatieto on ollut saatavissa. Osa väyläosuuksista on asiantuntija-arvioiden perusteella nostettu riskialueeksi, vaikka siellä ei ole tapahtunut vahinkoja. Kuten Dannenberg (1989, 77) toteaa, pelkkiä tapahtuneita onnettomuuksia tarkastelemalla tehty tutkimus ei paljasta kaikkia väylästä ongelmakohtia, sillä hyvinkin vaikeissa paikoissa on voitu selvitä ilman havereita. Kattavampaan analyysiin tulee siten sisällyttää myös läheltä piti -tapaukset. Kirjallisen lähdeaineiston puuttuessa kyseisistä läheltä piti -tapauksista tukeudutaan tässä selvityksessä luotsien ja merenkulun viranomaisten asiantuntija-arvioihin väyläosuuksien haastavuudesta ja riskipaikoista. Riskipaikkoja, joissa ei ole tapahtunut yhtään onnettomuutta, on 54 (yhteensä 152 kilometriä), joista pisin osuus on Tappuvirran väylä.

Riskipaikoista merkittävimmät onnettomuusmäärien perusteella ovat Saimaan kanava Lappeenrannassa sekä Kyrönsalmi Savonlinnassa. Kun tarkastellaan onnettomuusmääriä suhteutettuna väylän liikennemäärään, on Kyrönsalmi vasta neljänneksi riskialttein alue. Riskialttiimpia ovat Ristiinan väylä, Konnuksen kanava sekä Vihtakanta (lisätietoa artikkelin luvussa Onnettomuustiheys riskialueilla). Saimaan kanava on suuren liikennemääränsä takia Saimaan onnettomuustihentymäalueiden keskiluokkaa.



KUVA 10. Saimaan syväväylän riskialttiiksi arvioidut väyläosuudet sekä tapahtuneet onnettomuudet (kuva Joel Kauppinen 2016).

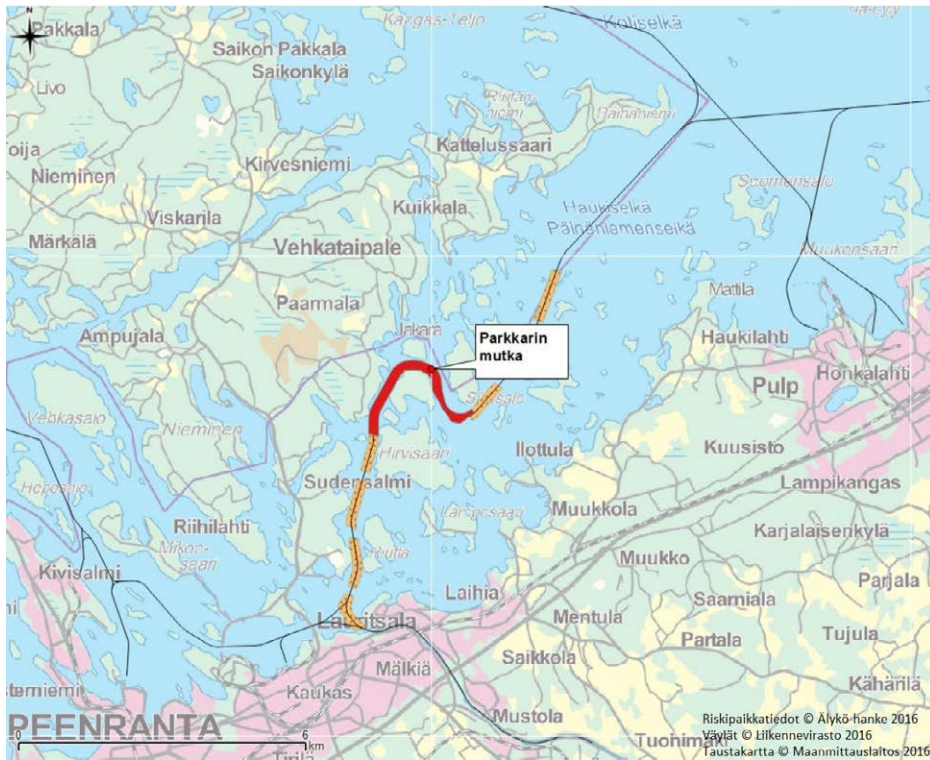
Muita riskialttiita paikkoja ovat muun muassa Vekaransalmi Sulkavalla, Varkauden ohittava väylä, Kiteelle johtava Puhoksen väylä sekä Parkkarin mutka Lappeenrannassa. (Mikkelin vesi- ja ympäristöpiiri 1993; Mikkelin lääninhallitus 1996; Laasonen, Rytönen & Sassi 2001; EnSaCo-hanke 2012; Suomen ympäristökeskus 2015.) Tapahtuneisiin onnettomuuksiin perustuvien riskialueiden pohjautuessa pieneen aineistoon tihentymätkin koostuvat vain muutamasta onnettomuustapauksesta. Ero riskialueen ja ei-riskialueen välillä ei ole suuri. Tästä syystä artikkelin kuudennessa luvussa palataan riskipaikkojen merkittävyyden arviointiin tarkennetun onnettomuustiheyden avulla.

Tarkasteltaessa onnettomuuksien hajaantumista koko syväväylän alueelle (kuva 10) havaitaan, että onnettomuuspaikat jakaantuvat koko syväväylän alueelle – koko Saimaa on yhtä suurta riskialuetta. Varautuminen on siten tarpeen muualakin kuin tässä kuvatuissa yksittäisissä riskipaikoissa.

Seuraavissa kappaleissa on lueteltu merkittävimmät alusliikenteen riskipaikat pelastustoimialueittain. Tiedot perustuvat lähteisiin Dannenberg 1989, Mikkelin vesi- ja ympäristöpiiri 1993, Merenkululaitos 1996, Mikkelin lääninhallitus 1996, Kaila & Luukkonen 1998, Laasonen, Rytönen & Sassi 2001, Merenkululaitos 2001, Merenkululaitos 2007, EnSaCo-hanke 2012, Liikennevirasto 2015b, Suomen ympäristökeskus 2015 ja Trafi 2015, sekä erikseen mainittuihin lähteisiin.

Etelä-Karjala

Etelä-Karjalan pelastustoimialueelle kuuluu noin 155 kilometriä syväväylästä. Raportoiduista onnettomuuksista 51 on tapahtunut tällä osuudella ja näistä Saimaan kanavalla 35 onnettomuutta. Syväväylän ulkopuolella on tarkastelujaksolla tapahtunut kolme alusonnettomuutta, joista yksi on tapahtunut risteilyalukselle ja yksi isommalle yksityisomistuksessa olevalle alukselle. Kanava korostuu aineistossa onnettomuuksien lukumäärän ja tiheän esiintymistaajuuden takia. Kanavassa nopeudet ovat kuitenkin pieniä ja alusten vauriot ovat olleet vähäisiä. Tästä syystä Parkkarin mutka voidaan nostaa merkitykseltään suuremmaksi (kuva 11). Parkkarin mutkassa on noin 1580 alusohitusta vuodessa (Häkkinen 2016). Tarkastelujaksolla 1978–2014 sattuneen seitsemän alusonnettomuuden perusteella Parkkarin mutkan onnettomuustiheydeksi muodostuu 0,12 onnettomuutta tuhatta alusohitusta kohti (ks. luku Onnettomuustiheys riskialueilla).



KUVA 11. Etelä-Karjalan pelastuslaitoksen alusonnnettomuusriskialueet (kuva Jouni-Juhani Häkkinen 2016).

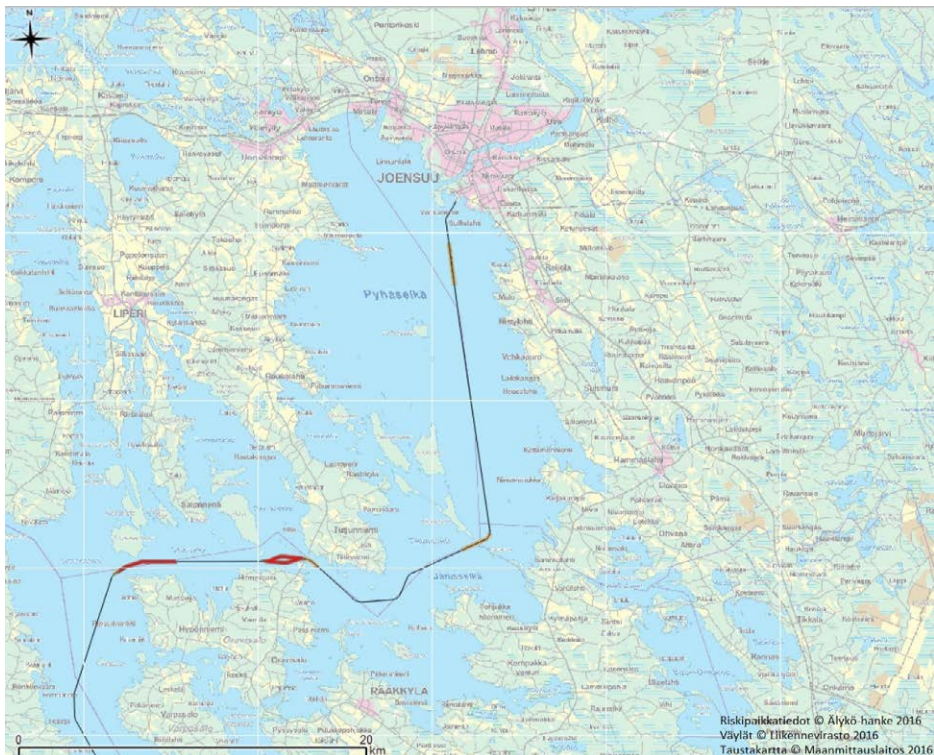
Pohjois-Karjala

Tarkastelujaksolla tapahtuneista onnettomuuksista sijoittui Pohjois-Karjalaan vähiten, vain viisi onnettomuutta. Näistä neljä onnettomuutta raportoitiin syväväylän alueelta ja yksi syväväylän ulkopuolelta. Syväväylästä noin 95 kilometriä sijaitsee Pohjois-Karjalan pelastustoimen alueella. Riskipaikkana korostuu Puhoksen satamaan johtava väylä (ks. kuva 12), jossa kulkee noin 65 alusta vuodessa. Puhoksen väylän onnettomuustiheys on siten noin 0,42 onnettomuutta tuhatta alusohitusta kohti (ks. luku Onnettomuustiheys riskialueilla). Väylää pidetään erittäin vaikeasti navigoitavana.

Pohjoisemmassa, Joensuuhun johtavalla väylällä riskialttiiksi osuudeksi on arvioitu Vuosalmen ja Vuoharjun välinen väyläosuus ja Arvinsalmi, (kuva 13), josta kulkee Häkkinen (2016) mukaan noin 125 alusta vuodessa. Arvinsalmen ohittavan väylän onnettomuustiheydeksi arvioidaan noin 0,22 onnettomuutta tuhatta alusohitusta kohti.



KUVA 12. Pohjois-Karjalan pelastuslaitoksen alusonnnettomuusriskialueet, eteläinen (kuva Jouni-Juhani Häkkinen 2016).



KUVA 13. Pohjois-Karjalan pelastuslaitoksen alusonnnettomuusriskialueet, pohjoinen (kuva Jouni-Juhani Häkkinen 2016).

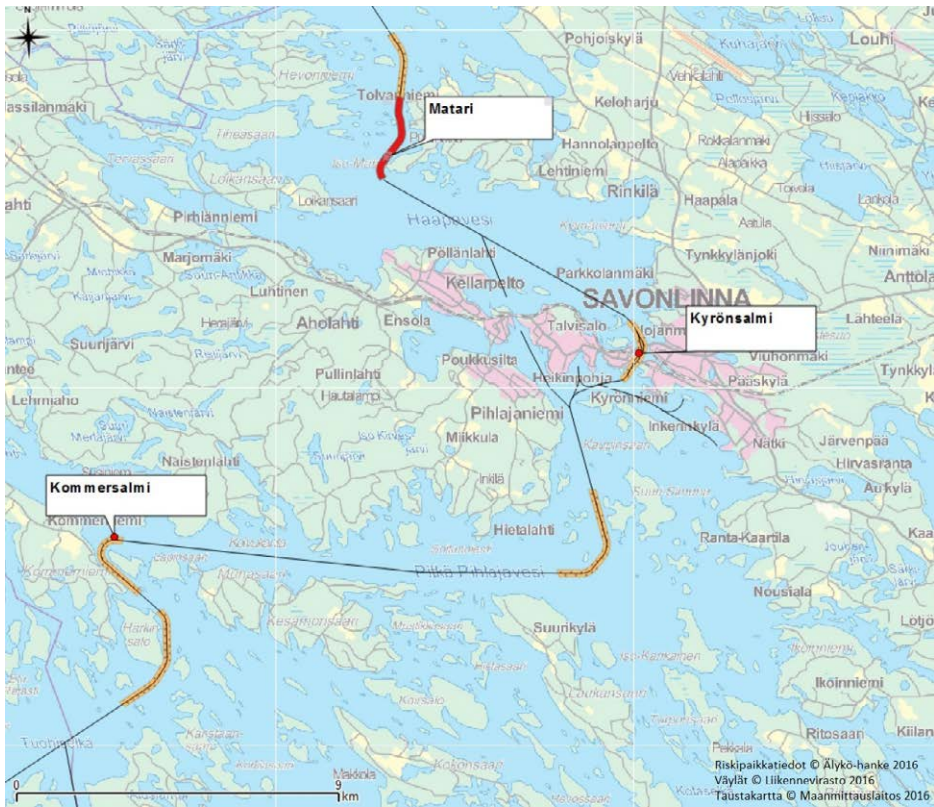
Etelä-Savo

Etelä-Savo on alusonnettomuuksien kannalta keskeistä aluetta, sillä noin puolet syväväylästä (388 kilometriä) kulkee alueella ja samoin puolet onnettomuuksista on tapahtunut siellä. Etelä-Savossa on tarkastelujaksolla tapahtunut 77 raportoitua alusonnettomuutta, joista kaksi syväväylän ulkopuolella.

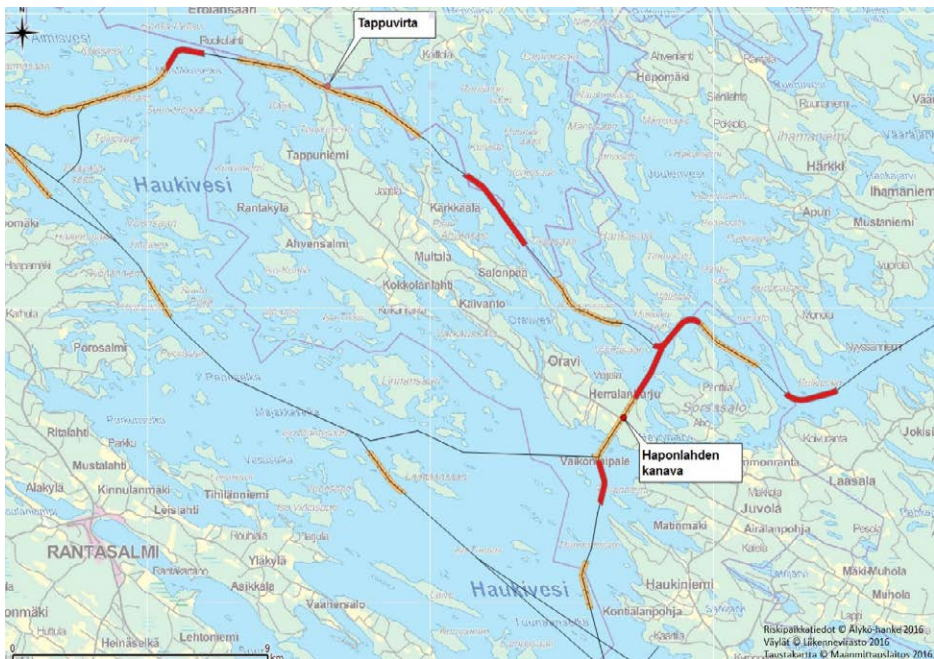
Onnettomuusmäärän mukaan Etelä-Savon merkittävämmäksi onnettomuusriskialueeksi nousee Kyrönsalmi, missä väylä kulkee hyvin kapeassa, voimakkaasti virtaavassa salmessa. Väylä alittaa kaksi siltaa sekä sivuuttaa Olavinlinnan. Kyrönsalmen kautta kulkee noin 760 alusta vuodessa (Häkkinen 2016). Riskialtiuden vuoksi syväväylä tullaan siirtämään Kyrönsalmesta Laitaatsalmeen, josta tulee helpommin navigoitava. Uusi väylä oikaistaan ja sitä levennetään. Väylän siirto pienentää onnettomuusriskiä ja lyhentää matkaa noin kolme kilometriä. (Liikennevirasto 2016c.) Väylän siirto valmistuu pääosin vuoden 2018 lopussa ja kokonaisuudessaan vuonna 2019. Kyrönsalmen onnettomuustiheydeksi arvioidaan noin 0,64 onnettomuutta tuhatta alusohitusta kohti (ks. luku Onnettomuustiheys riskialueilla).

Muita Etelä-Savon riskipaikkoja ovat Matarinsalmi ja Kommersalmi (kuva 14) ja Haponlahden kanavan matalan sillan alitus (kuva 15). Myös Vihtakannan kanavan ja Hanhivirran alueet (kuva 16), joissa on noin 310 alusohitusta vuodessa sekä Vekaransalmi Sulkavalla (kuva 17), on määritelty korkeamman onnettomuusriskin alueiksi. Vekaransalmessa on keskimäärin 820 laivaohitusta vuodessa (Liikennevirasto 2015a). Vihtakannan kanavan tekee hankalaksi kanavan yli johtavan maantiesillan virtapilari, joka sijaitsee keskellä kanavaa. Vekaransalmessa kulkee myös lossi, ja lauttaväli on noin 250 metriä. Ennen lossipaikalle tuloa alus joutuu tekemään useita käännöksiä etelän suunnasta tullessaan. (Laasonen, Sassi & Rytönen 2001, 54.) Lisäksi riskipaikoiksi on määritelty Osmonaskel-Pahikka-väli (kuva 18), josta kulkee ohitse noin 820 alusta vuodessa, Hätingvirta (kuva 19) Puumalassa sekä Vekaransalon salmen jälkeinen osuus (kuva 20) Ristiinaan johtavalla väylällä, jossa on noin 65 laivaohitusta vuodessa (Häkkinen 2016).

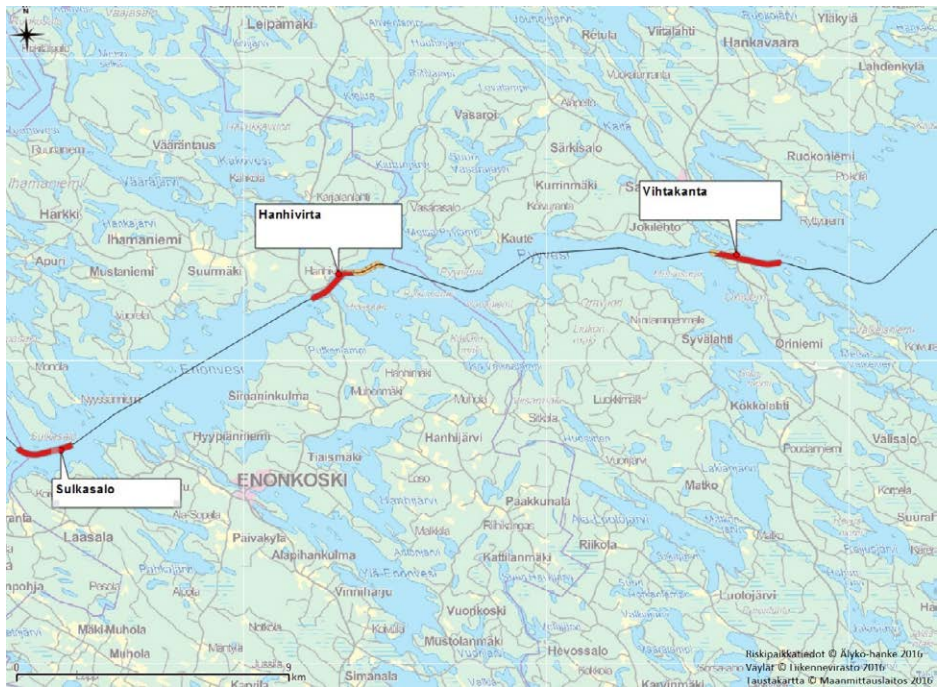
Liikennemäärään suhteutetun onnettomuustiheyden perusteella Ristiinaan johtava väyläosuus nousee koko Saimaan alueen riskialtteimmaksi väyläosuudeksi. Tarkastelujaksolla 1978–2014 tapahtuneiden onnettomuuksien perusteella väylän onnettomuustiheys on 0,83 vahinkoa tuhatta laivaohitusta kohden. Tarkastelu ei ole tilastollisesti pätevä vähäisten onnettomuustapausten ja pienen liikennemäärän takia.



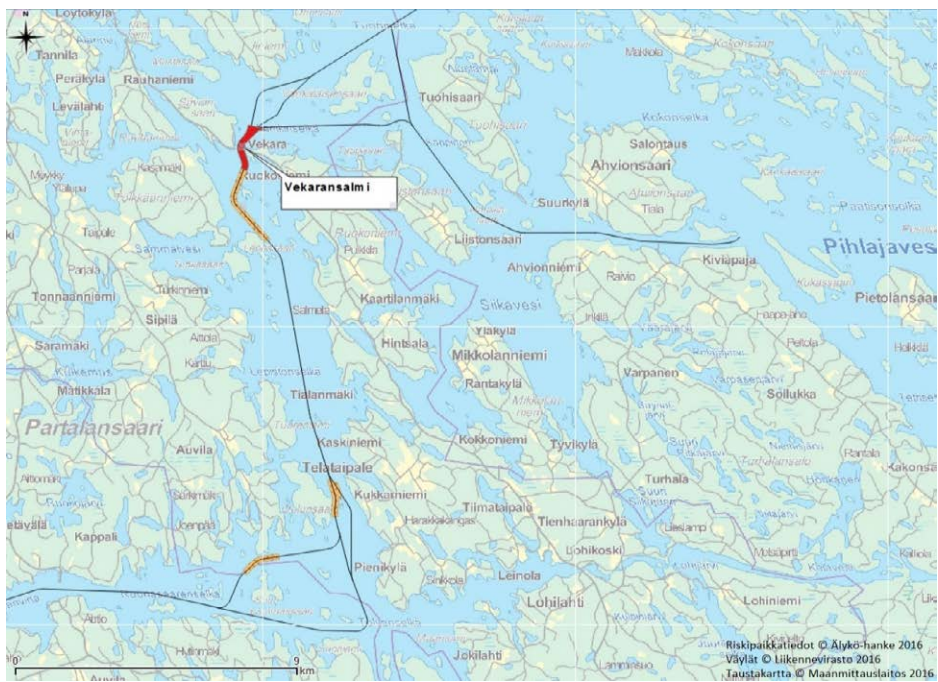
KUVA 14. Etelä-Savon pelastuslaitoksen alusonnnettomuusriskialueet, Savonlinna eteläinen (kuva Jouni-Juhani Häkkinen 2016).



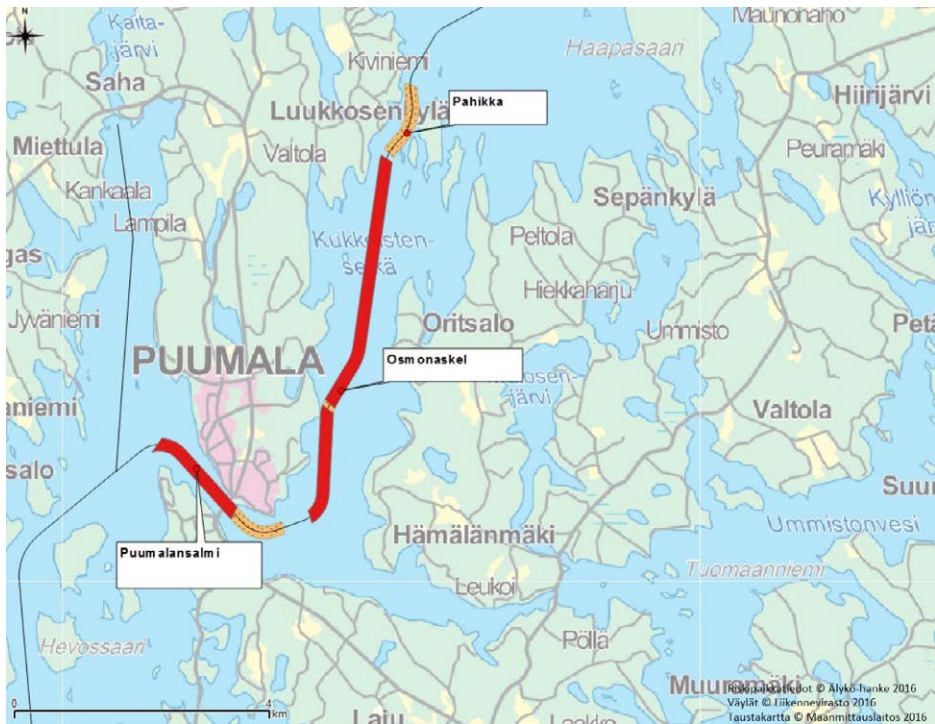
KUVA 15. Etelä-Savon pelastuslaitoksen alusonnnettomuusriskialueet, Savonlinna pohjoinen (kuva Jouni-Juhani Häkkinen 2016).



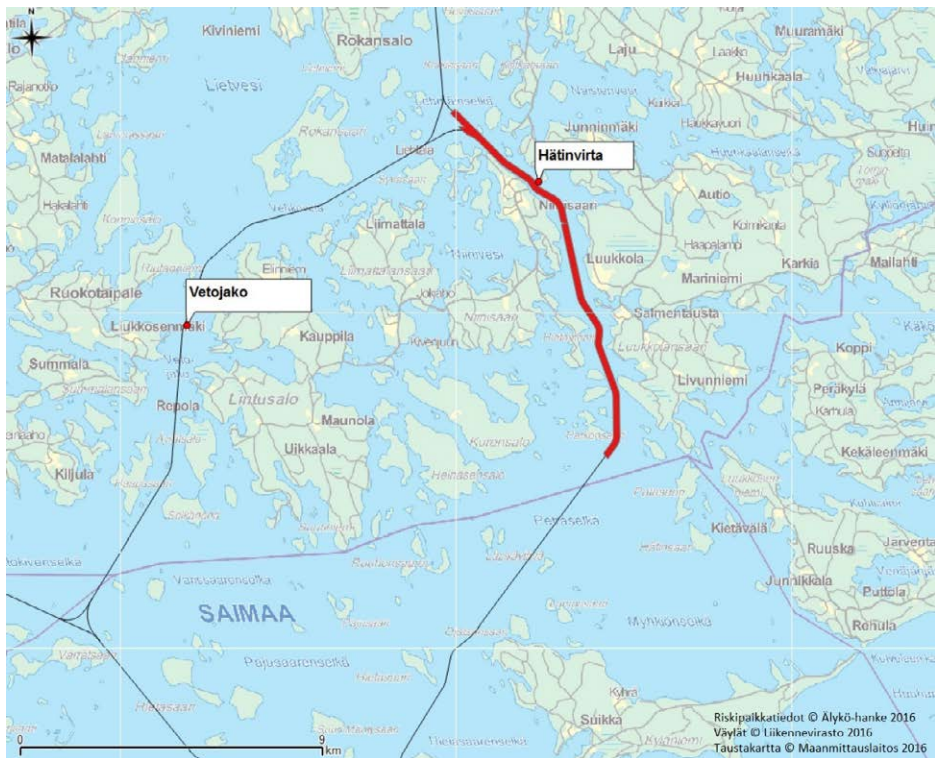
KUVA 16. Etelä-Savon pelastuslaitoksen alusonnottomuusriskialueet, Enonkoski (kuva Jouni-Juhani Häkkinen 2016).



KUVA 17. Etelä-Savon pelastuslaitoksen alusonnottomuusriskialueet, Sulkava (kuva Jouni-Juhani Häkkinen 2016).



KUVA 18. Etelä-Savon pelastuslaitoksen alusonnnettomuusriskialueet, Puumala (kuva Jouni-Juhani Häkkinen 2016).



KUVA 19. Etelä-Savon pelastuslaitoksen alusonnnettomuusriskialueet, Puumala eteläinen (kuva Jouni-Juhani Häkkinen 2016).



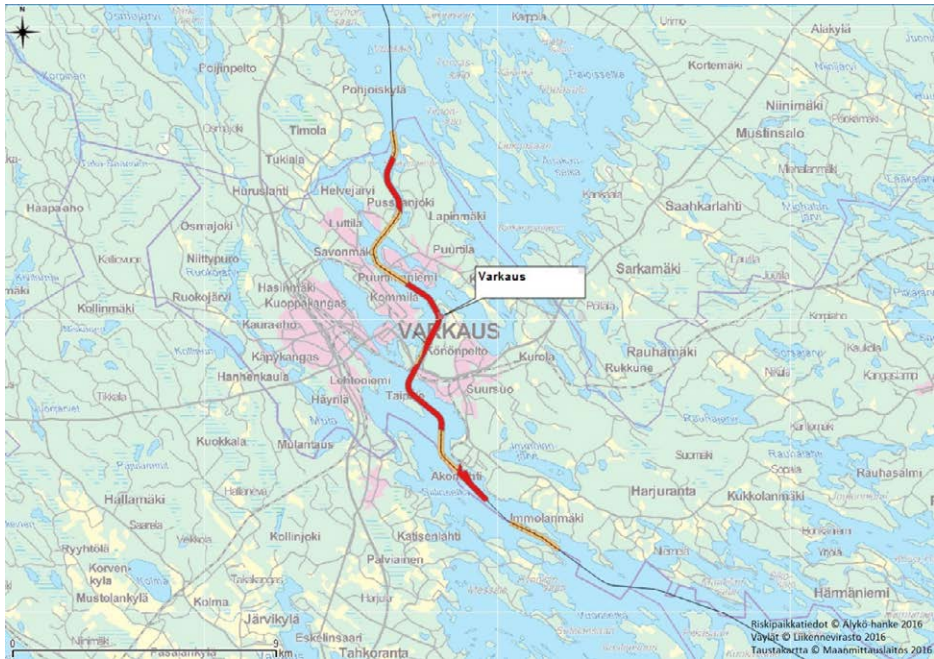
KUVA 20. Etelä-Savon pelastuslaitoksen alusonnettomuusriskialueet, Ristiina (kuva Jouni-Juhani Häkkinen 2016).

Pohjois-Savo

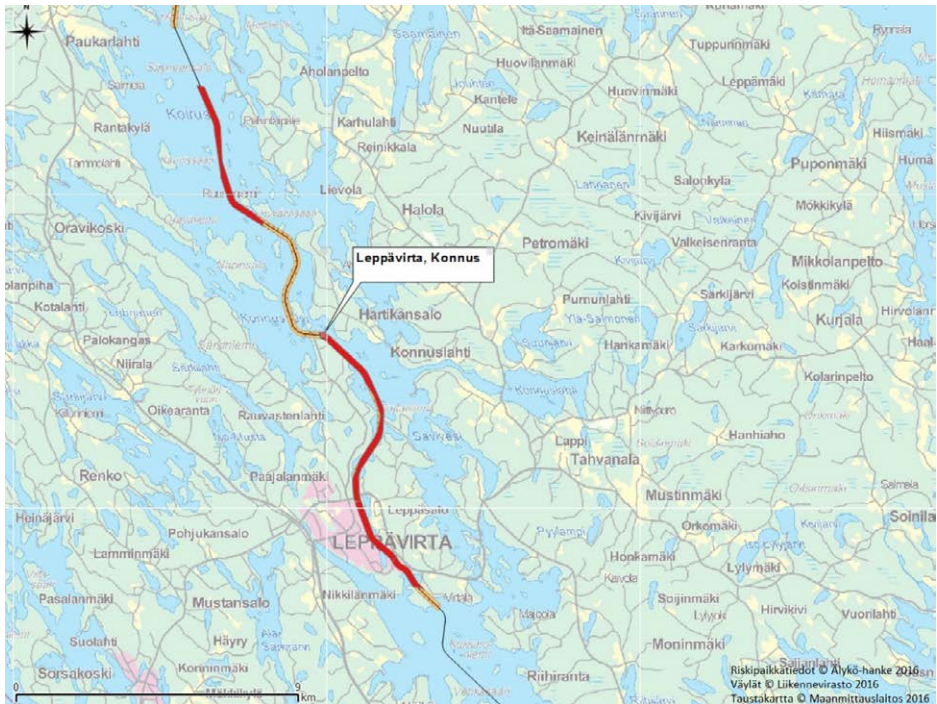
Pohjois-Savossa syväväylää on noin 143 kilometriä. Syväväylällä raportoituja alusonnettomuuksia on tarkastelujaksolla ollut 26 ja syväväylän ulkopuolella kaksi. Onnettomuudet ovat jakautuneet melko tasaisesti pitkin väylää. Keskitymiä on erotettavissa Varkaudessa Tahkosalmen ja Sinikoniemen välillä (kuva 21), Konnuksen kanavalla (kuva 22) ja Jännevirralla (kuva 23). Näillä väyläosuuksilla onnettomuuksia on sattunut keskimäärin kolme per alue, muualla karttaan (kuva 10) merkityillä alueilla, kuten Puutossalmessa (kuva 24), sattuneet onnettomuudet ovat yksittäisiä tapauksia. Ero ei siis ole kovin suuri. Liikennemäärään suhteutetun onnettomuustiheyden perusteella riskialttein väyläosuus on Konnuksen kanava (0,80 onnettomuutta tuhatta laivaohitusta kohden). Varkaudessa ja Jännevirralla onnettomuustiheydet ovat melko samansuuruisia (ks. luku Onnettomuustiheyden riskialueilla).

Varkauden ohittavalle väyläosuudelle on ominaista, että se on tasaisesti vaikea. Merenkulkuviranomaisten mukaan ”Taipaleesta ylöspäin on koko matkalta tiukkoja paikkoja – jos ohjausliike menee pieleen, sitä ei pysty korjaamaan” (Paldanius 2016; Väisänen 2016b). Konnuksen kanavan lävitse kulkee noin 200 alusta vuodessa, kanava on kapea ja siinä on kova virtaus. Jännevirralla taas si-

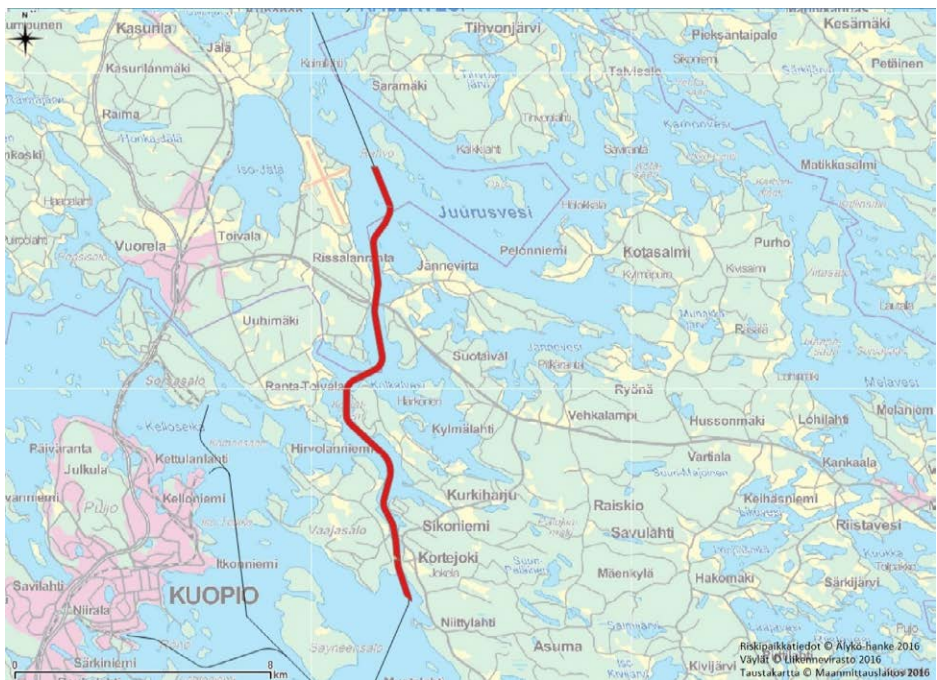
jaitsee silta, jossa on johteet. (Häkkinen 2016.) Jännevirralla on käynnistynyt siltaprojekti, jossa avattava silta poistuu ja väylä tulee siirtymään länsirannalta keskelle ruoppaustöiden valmistuttua (Väisänen 2016a).



KUVA 21. Pohjois-Savon pelastuslaitoksen alusonnnettomuusriskialueet, Varkaus (kuva Jouni-Juhani Häkkinen 2016).



KUVA 22. Pohjois-Savon pelastuslaitoksen alusonnnettomuusriskialueet, Leppävirta (kuva Jouni-Juhani Häkkinen 2016).



KUVA 23. Pohjois-Savon pelastuslaitoksen alusonnnettomuusriskialueet, Jännevirta (kuva Jouni-Juhani Häkkinen 2016).



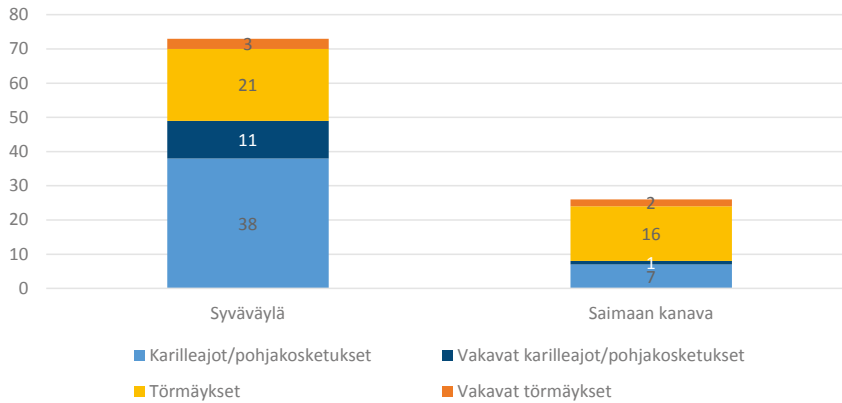
KUVA 24. Pohjois-Savon pelastuslaitoksen alusonnnettomusriskialueet, Puutossalmi (kuva Jouni-Juhani Häkkinen 2016).

Vaurioanalyysit

Laasonen, Sassi ja Rytkönen (2001) ovat analysoineet Saimaan kanavalla ja syväväylällä tapahtuneiden onnettomuuksien vaurioiden suuruutta. He kuvaavat vaurioastetta neliportaisella asteikolla i) ei vaurioita, ii) vähäinen vaurio, iii) melkoinen vaurio ja iiiii) hylky. Alukset selvisivät ilman vaurioita 32 %:ssa tapauksista, vähäisiä vaurioita syntyi 51 %:ssa onnettomuuksista ja melkoisia vaurioita 17 %:ssa onnettomuuksista tarkasteltaessa 1982–1998 tapahtuneita alusonnnettomuuksia. Karilleajo tai pohjakosketus oli yleisin syy vakavan vaurion syntymiseen. (Laasonen, Sassi & Rytkönen 2001, 28 ja 51–52.)

Vakavista vaurioista suurin osa (82 %) tapahtui syväväylällä ja loput Saimaan kanavalla (ks. kuva 25). Tarkasteltaessa alusonnnettomuuksien alueellista jakaumaa tarkemmin onnettomuuksista suurin osa eli 35 % tapahtui Puumala-Sulkava välillä, 18 % Savonrannan, Puhoksen ja Joensuun alueella, 18 % Saimaan kanavalla ja 12 % Lappeenrannan alueella (Laasonen, Sassi & Rytkönen (2001, 53).

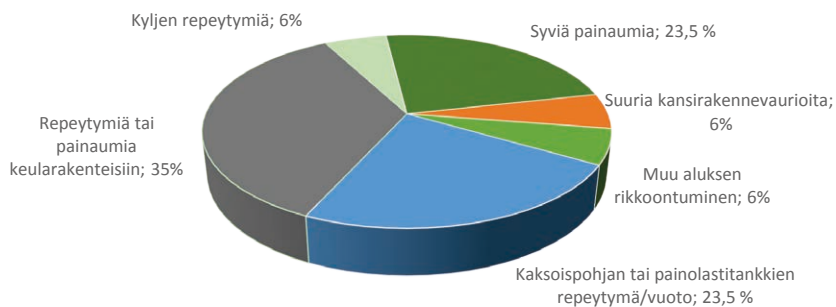
Onnettomuustyypit ja vakavaan vaurioon johtaneet alusonnettomuudet



KUVA 25. Vakavaan vaurioon johtaneiden karilleajojen ja yhteentörmäysten jakautuminen lukumäärinä Saimaan syväväylän ja Saimaan kanavan alueille vuosien 1982–1998 onnettomuuksista Laasonen, Sassin ja Rytkösen (2001, 52) mukaan. Karilleajot ja pohjakosketukset on kuvattu sinisellä värillä jakautuen vakaviin ja ei-vakaviin onnettomuuksiin. Törmäyssonnettomuudet on kuvattu oranssin sävyillä jakautuen vakaviin ja ei-vakaviin onnettomuuksiin.

Melkoiseen vaurioon johtaneista onnettomuuksista noin 24 % oli karilleajon seurauksena syntyneitä aluksen kaksoispohjan tai painolastitankkien¹ repeytymää tai vuotoa (ks. kuva 26). Repeytymiä tai painaumia aluksen keularakenteisiin oli syntynyt törmäyksen tai karilleajon seurauksena 35 %:ssa, kyljen repeytymiä yhteentörmäyksen seurauksena 6 %:ssa ja syviä painaumia noin 24 %:ssa tapauksista. Loput 12 % olivat suuria kansirakennevaurioita tai muuta aluksen rikkoontumista. (Laasonen, Sassi & Rytkönen 2001, 52.)

Vakavat vauriot vauriotyypeittäin



KUVA 26. Vakavien vaurioiden jakautuminen vauriotyypeihin 1982–1998 Saimaan alusonnettomuuksissa Laasonen, Sassin ja Rytkösen (2001, 52) mukaan.

¹ Kaksoispohja- ja painolastitankkien repeytymät laskettu analyysissä samaan ryhmään

Edellä kuvatuista vakavan vaurion alusonnnettomuuksista 65 %:ssa on potentiaalinen öljyvudon riski. Näiksi luetaan vahingot, joissa aluksen vesitiiveys on menetetty kaksoispohjan, painolastitankkien, keularakenteiden tai kyljen repeytymän vuoksi. Vaurioanalyysi ei kuitenkaan kerro vaurion syvyyttä. Koko onnettomuusanalyysin ajanjaksoa ja onnettomuusmäärää tarkasteltaessa potentiaalinen öljyvahingon riski on ollut noin 10 %:ssa tapahtuneista alusonnnettomuuksista. Tämä tarkoittaa yhtä öljyvudotoriskin sisältävää alusonnnettomuutta 1,5 vuoden välein. Vuosien 1982–1998 onnettomuuksien yhteydessä ei ole päässyt vuotamaan polttoainetta veteen (Laasonen, Sassi & Rytönen 2001, 53).

Myöskään vuosien 1978–2014 aikana raportoitujen onnettomuuksien joukossa ei ole vakaviin ympäristövahinkoihin johtaneita onnettomuuksia. Vuonna 2010 Kyrönsalmessa sattuneesta onnettomuudesta seurasi 20–30 litran vaihteistoöljyn (SAEG8) vuoto. Myös muita öljypäästöjä on raportoitu. Esimerkiksi sisävesialueen satamassa 14 metrisestä aluksesta valui veteen 1500 litraa kevyttä polttoöljyä. Pudotuspaikalla uponneesta puunkuljetuslautasta valui arviolta 2000 litraa polttoöljyä veteen. (Dannenberg 1989; Merenkulkulaitos 1996; Kaila & Luukkonen 1998; Laasonen, Rytönen & Sassi 2001; Merenkulkulaitos 2001; Merenkulkulaitos 2007; Liikennevirasto 2015b; Trafi 2015.) Tiedossa on myös noin kahden tonnin öljypäästö rahtialuksesta (Hämäläinen 2016).

Laivan pohjarakenteiden vauriot karilleajoissa ja pohjakosketuksissa

Karilleajot ja pohjakosketukset ovat osoittautuneet yleisimmäksi vakavan vaurion syyksi Saimaalla (Laasonen, Sassi & Rytönen 2001, 52). Pohjakosketukseksi² määritellään yleensä ne karilleajotapaukset, joissa alus jatkaa matkaansa karilleajon jälkeen menetettyään vain osan liike-energiastaan. Karilleajossa syntyneen vaurion suuruutta kuvataan usein vesitiiviiden menettämällä tai vaurion (tunkeuman) syvyydellä. Suomen aluevesillä 1990–1997 tapahtuneita karilleajoja ja pohjakosketuksia on tarkasteltu tilastollisesti lähteessä Luukkonen ja Kaila (1998) sekä niissä syntyneitä pohjarakenteiden vaurioita mm. lähteissä Luukkonen (1999a) ja (1999b). Vauriomekaniikkaa on lisäksi arvioitu lähteessä Kajaste-Rudnitski ja Varsta (2003) sekä Pedersen (2010).

2 Joskus pohjakosketus määritellään karilleajoksi syntyneiden vaurioiden mukaan. Termien ero on merkityksellinen, sillä karilleajosta joudutaan tekemään meriselitys, kun taas pohjakosketuksesta ei (paitsi matkusta- ja-aluksissa).

Aluksen pohjan osuessa vedenalaisen kiveen tai muuhun esteeseen syntyy pohjaan painauma, särö tai repeämä. Tapahtunut kontakti tuottaa energian, joka voimakkuudestaan riippuen kuluu muodonmuotoksiin ja/tai muuttaa aluksen kulkusuuntaa ja sijaintia (Kajaste-Rudnitski & Varsta 2003, 5). Karilleajo- ja yhteentörmäysanalyysit jaetaan yleisesti ulkoisen mekaniikan ja sisäisen mekaniikan malleihin. Ulkoisen mekaniikan mallissa tarkastellaan aluksen liiketilan muutosta tapahtuman jälkeen ja sisäisessä mekaniikassa liike-energian absorboitumista aluksen runkorakenteisiin. Aluksen liike-energia muodostuu sen nopeudesta ja uppoumasta. (Luukkonen 1999a, 11.) Merkittävimmät karilleajon seurausten vakavuuteen vaikuttavista tekijöistä ovat aluksen koko ja nopeus, karin geometria sekä aluksen pohjan energian absorboimiskyky (Luukkonen 1999b, 58).

Karilleajon tyyppitapauksia on useita. Vakavimpia ovat ne, joissa aluksen liike-energia ja karin tunkeuma ovat suuria. Seurauksena voi olla vuoto tankintopissa tai pohjalaudoituksen repeäminen koko laivan pituudelta aluksen jatkaessa kulkuaan karin yli. Tämän tyyppisten vaurioiden rajaamiseksi pohjalaidoituksen alueelle alukset on pääsääntöisesti varustettu kaksoispohjalla. Kaksoispohjarakennekaan ei kaikissa tilanteissa riitä estämään esimerkiksi säiliöaluksen öljyvuotoa. Rajuissa, ns. ”high-energy”-karilleajoissa sekä pohjalaudoitus että tankinkatto vaurioituvat siten, että vesitiiveys menetetään. Ns. ”low-energy”-karilleajoissa tankinkatto jää vahingoittumatta. (Luukkonen 1999a, 9–10.) Pedersen (2010, 249) käyttää termejä ”power grounding” silloin, kun aluksella on konevoimaa eteenpäin karilleajon hetkellä ja ”drift grounding” ohjailukyvottoman, ajelehtivan aluksen karilleajosta. Tarkastellessaan nopeuden vaikutusta aluksen rakenteisiin syntyneiden vaurioiden vakavuuteen on Luukkonen (1999a, 25) päätenyt lopputulokseen, etteivät kahden solmun tai sitä pienemällä nopeudella karille ajaneet alukset menetä vesitiiveyttään. Vesitiiveyden menettäneiden alusten osuus kasvaa selvästi siirryttäessä 2 solmun nopeudesta 8 solmuun, ja kaikki yli 12 solmun nopeudella karille ajaneet alukset kokevat jonkinasteisen vesitiiveyden menetyksen. (Luukkonen 1999a, 25–29.)

Suomen aluevesillä 1990–1997 tapahtuneiden onnettomuustapausten perusteella on osoitettavissa kolme tyypillistä vaurioryhmää: i) pallevaurio, ii) keulavaurio ja iii) laaja pohjavaurio. Näistä keulavaurion voidaan olettaa olevan laajan pohjavaurion alkuvaihe. Toisin sanoen laaja pohjavaurio alkaa yleensä keulavauriolla. Kummankin vauriotyyppin alkukohta sijaitsee aluksen keulanpuolella keskilinjan tuntumassa, mutta keulavauriossa aluksen liike-energia on kulunut loppuun jo keulan alueella. Pallevauriossa vauriokohta sijaitsee aluksen

tasapohjan reunassa tai palteessa, ja myös tässä vauriotyypissä absorboitunut liike-energia on huomattavasti pienempi kuin pohjavauriossa; alus on yleensä ainoastaan kolhaissut karia. (Luukkonen 1999a, 36 ja 76; Luukkonen 1999b, 10 ja 57.) Mikäli tapahtuneiden onnettomuuksien tilastointi olisi tarkempi, voitaisiin analysoida sisävesien karilleajot vaurioryhmittäin todellisen vaurioasteen kartoittamiseksi.

Karilleajotapahtumaan ja aluksen rakenteisiin syntyviin vaurioihin vaikuttavat karin ominaispiirteet, aluksen sisäiset ja ulkoiset olosuhteet sekä aluksen pohjan rakenne. Aluksen sisäisiä olosuhteita ovat nopeus, lastitilanne sekä aluksen liikkeiden, kuten kohoilun ja viippauksen, muutokset karilleajon hetkellä. Ulkoisia olosuhteita ovat aallokko, tuuli sekä jääolosuhteet, jotka vaikuttavat osaltaan karilleajossa syntyvän kontaktivoiman jakautumiseen rakenteiden muodonmuutoksiin ja ulkoisiin liikkeisiin. (Luukkonen 1999a, 11–12.)

Onnettomuuspaikan pohjan laatu ja karin geometria vaikuttavat luonnollisesti vaurioasteeseen. Tunkeumasyvyydeltään pieni, terävä kari aiheuttaa huomattavampaa vahinkoa leikatessaan pohjan auki aluksen pituudelta kuin kari, johon alus jää kiinni keulastaan aiheuttaen pohjalaudoitukseen suuren tunkeuman muttei repeämää. (Luukkonen 1999b, 58.)

Karilleajossa kovaan ja tasaiseen pohjaan tai hiekkarantaan lähtötilanteen kiineellinen energia kuluu kimmottoman iskun vaiheeseen, aluksen nousemiseen ja hankauskitkaan (Pedersen 2010, 255). Tämän tyyppisissä karilleajoissa ei yleensä synny suuria vaurioita aluksen sisempään pohjaan. Kuitenkin aluksen noustessa ja jäädessä kiinni karille, sen jäljelle jäänyt pitkittäislujuus vauriokohdan leikkauksessa saattaa heiketä yhdistettynä aallokon tai vedenkorkeuden aiheuttamaan lisäkuormaan, jolloin alus on vaarassa katketa. (Luukkonen 1999a, 10; Pedersen 2010, 255.)

Suomen aluevesillä tapahtuneiden alusonnettomuuksien vaurioanalyysit kertovat, että kaikki karilleajot, joissa painauman syvyys oli enemmän kuin 0,75 metriä, johtavat vesitiiviiden menettämiseen, ja noin puolet karilleajoista, joissa alukselle syntyy vähänkin painaumia (> 0 cm), johtaa vesitiiviiden menettämiseen (Luukkonen & Kaila 1998, 45). Suurimmassa osassa, eli noin 60 %:ssa karilleajoja tilanne ei johda vesitiiviiden menettämiseen. Karilleajoista 27 % johtaa vähäiseen vesitiiviiden menettämiseen ja vain 8 %:n seurauksena on suuri vesitiiviiden menetys. (Luukkonen & Kaila 1998, 38.)

Vauriot yhteentörmäyksissä ja törmäyksissä kiinteisiin rakenteisiin

Karilleajojen ja pohjakosketusten jälkeen kolmanneksi yleisin onnettomuustyyppi Saimaalla ovat alusten törmäykset siltarakenteisiin (kuva 8). Vuosien 2000–2014 aikana tapahtuneista onnettomuuksista on lisäksi erotettavissa törmäykset sulkuihin (8 %), törmäykset kanavapenkkaan (4 %) ja yhteentörmäykset toiseen alukseen (4 %). Saatavilla olevien tietojen perusteella siltaantörmäilyt jakautuvat tasaisesti aluksen ylärakenteiden iskeytymisiin siltarakenteeseen sekä aluksen törmäykseen siltajohteisiin. Saimaan syväväyliä ylittävien siltojen alikulkukorkeus on joko 24,5 metriä tai ne ovat avattavia. Muilla Saimaan hyötyliikenteen väylillä alikulkukorkeus on 8–16 metriä. Silta-aukon leveys on syväväylillä yleensä vähintään 60 metriä ja muilla väylillä 20–40 metriä. (Merenkulkulaitos 2005, 3.) Jos sillan vapaa aukko on kapeampi kuin yksikaistaisen väylän väyläleveys edellyttää, on silta-aukkoon rakennettu laivajohteet. Mitä enemmän sillan aukkoleveyttä on jouduttu kaventamaan väyläleveyteen nähden, sitä pidemmälle johteet ulottuvat sillan lähestymissuppilossa. Johteet toimivat törmäyssuojina estäen sillan vaurioitumisen aluksen törmätessä pilareihin. (Merenkulkulaitos 2005, 11.)

Väylän linjaus ja geometria, lähelle siltaa sijoittuvat käännökset sekä yhtyvät väylät lisäävät alusten onnettomuusriskiä. Erityisesti proomuille ja muille hinausyhdistelmille käännökset myötävirtaan ovat hankalia. (Knott & Pruca 2000, 6.) Saimaan 2000-luvun onnettomuusaineistossa siltaan törmäilyistä vain 17 % tapahtui proomuyhdistelmille. Suurin osa törmäyksistä jakautui kuivalasti-alusten (50 %) ja matkustaja-alusten (33 %) kesken. Yhdessäkään tapauksessa ei raportoitu onnettomuuden johtuneen väylägeometriasta. Vuosien 2000–2014 törmäysonnettomuuksissa ilmoitettiin ensisijaiseksi syyksi tekninen vika (ohjauslaitteistossa, vetolaitteessa) 25 %:ssa onnettomuuksista. Inhimillinen erehdys, kuten väärinymmärretyt oman aluksen liikkeet tai kommunikoinnin ongelmat, mainittiin syiksi 19 %:ssa törmäyksistä. Samoin ulkoiset olosuhteet (virta, tuuli, jää) olivat taustatekijöinä 19 %:ssa tapauksista. Muut ulkoiset tekijät, kuten tekninen vika avattavassa sillassa tai suluissa ym. vaikuttivat 13 %:iin onnettomuuksista. Onnettomuuden syystä ei löytynyt kirjausta 29 %:ssa tapauksista, mikä heikentää edellä esitettyjen syiden jakauman luotettavuutta.

Teknisten syiden suurta yleisyyttä yhteentörmäyksissä on selitetty sillä, ettei tilanteeseen johtanutta taustasyitä, tai ensisijaisen ja toissijaisten syiden suhdetta, ole aina helppo analysoida. On esitetty, että esimerkiksi hydrodyna-

misten ilmiöiden vaikutukset aluksen ohjattavuuden heikkenemiseen yleensä tulkitaan teknisiksi häiriöiksi. On arvioitu erittäin epätodennäköiseksi, että tekninen vika ilmenisi juuri sillä kriittisellä hetkellä, kun alus on esimerkiksi lähestymässä siltaa. Hitaalla nopeudella tai voimakkaassa myötävirrassa saattaa sen sijaan käydä niin, ettei peräsin tottele ruoria, kun veden virtaus ei kohdistu peräsimeen ollenkaan tai riittävällä nopeudella aiheuttaakseen tarvittavan voiman. Lisäksi hitaasti voimakkaassa virrassa liikkuvan aluksen runko, aluksen kulkusuunnan ollessa lievässä kulmassa vedenvirtaussuuntaan nähden, saattaa aiheuttaa suuremman vääntömomentin kuin peräsin pystyy korjaamaan. Vääntömomentti syntyy veden virtauksen aiheuttamista paine-eroista aluksen rungolla. Peräsimen reagoimattomuus tulkitaan usein erheellisesti tekniseksi häiriöksi. Keulapotkurien käyttö ratkaisee pääsääntöisesti tämän ongelman. (Minorksy 1983, 137.)

Saimaalla 2000-luvulla tapahtuneissa siltaan törmäyksissä on syntynyt vähäisiä vaurioita 25 %:ssa tapauksista ja 56 %:ssa ei syntynyt vaurioita lainkaan. 19 %:ssa aineiston tapauksista ei selvinnyt vaurioiden tarkempi laatu.

Vaurioiden syntyyn vaikuttavista tekijöistä tärkein on törmäyksessä vapautuva energia. Eroa on sillä, tapahtuuko törmäys liikkuvaan vai kiinteään kohteeseen. Tapauksessa, jossa kaksi vapaasti kelluvaa kohdetta törmäävät, vain osa kineettisestä energiasta kuluu törmäävän aluksen keularakenteiden ja vastapuolen runko-osan muodonmuutoksiin. Koska runkoon varastoituneen elastisen energian taso on yleensä pieni, törmäyksessä vapautuva energia voidaan arvioida vähentämällä alusten törmäyksen jälkeisen kineettisen energian määrä lähtötilanteen kineettisen energian määrästä. (Pedersen 2010, 250-251.) Törmäyksessä purkautuvaan energiaan vaikuttavat törmäävän ja kohdealuksen uppoumat ja nopeudet, törmäyskulma, törmäyskohta ja toisinaan kitkakerroin (Pedersen 2010, 251), rungon jäykkyys, ja törmäyksen kohdistuessa kiinteään kohteeseen, kohteen muoto ja materiaalivahvuus (Brink-Kjær et al. 1983, 148). Alusten törmäämistä siltoihin on tutkittu kuitenkin lähinnä siltarakenteen kestävyuden näkökulmasta. Lisäksi tutkimuksen kohteeksi on valikoitu erittäin vakavat onnettomuudet, jotka ovat keskeyttäneet sillan liikenteen tai aiheuttaneet kuolonuhreja mm. Knott ja Pruca (2010) sekä Frandsen (1983). Aineisto ei näin ollen sovellu sisävesiltä raportoitujen törmäysonnettomuuksien arviointiin.

Alusöljyvahingon riskitarkastelua

Tässä artikkelissa lähestytään alusliikenteen öljyvahinkoariskiiä alusonnettomuuden todennäköisyyden ja sen seurauksena ulosvuotavan öljymäärän suhteen. Onnettomuuden seurauksiin, öljyn haittavaikutuksiin ympäristölle tai ihmisille, alueen palautumiskykyyn tai taloudellisiin menetyksiin ei oteta tässä kantaa. Riskien pienentämismahdollisuuksia on lisäksi tarkasteltu artikkelissa ”*Haverialuksen miehistön ensitoimenpiteet alusöljyvahingossa*”.

Onnettomuustiheys riskialueilla

Liikennemäärään suhteutettu onnettomuustiheys kuvaa tietyn alueen riskialtiutta paremmin kuin absoluuttinen onnettomuusmäärä. Merenkulun onnettomuusanalyysissä onnettomuustiheys on tyypillisesti laskettu tapahtuneiden onnettomuuksien määränä tuhatta saapunutta alusta kohti. Onnettomuustiheyttä sisävesien riskialttiiksi arvioiduilla väyläosuuksilla on kuvattu taulukossa 1 vertaamalla väyläosuudella tapahtuneiden onnettomuuksien määrää laivoahitusten määrään. Arvion luotettavuuteen vaikuttaa tapahtuneiden onnettomuuksien pieni lukumäärä sekä laivoahitusten tietojen epätarkkuus, sillä laivoahituksia tilastoidaan vain tietyillä suluilla. Laskennassa käytetyt liikennemäärät ovat keskiarvoja vuosien 2002–2013 PortNet-tiedoista (Häkkinen 2016). On huomioitava myös, että onnettomuustiheys perustuu lukumääriin, ei vakavuuteen: pienelläkin onnettomuudella on siten sama painoarvo kuin vakavalla onnettomuudella.

Tilastoitujen onnettomuustapausten perusteella muita väyläosuuksia korkeampi onnettomuustiheys on Ristiinaan johtavalla väylällä. Pienten liikennöintimäärien vuoksi Ristiinan väylällä on odotettavissa alusonnettomuuksia kuitenkin vain reilun 18 vuoden välein. Toinen korkean onnettomuustiheyden alue on Konnuksen kanava Leppävirralla. Myös Vihtakanta, Kyrönsalmi ja Varkauden väylä nousevat vertailussa kärkeen. Erot eri väyläosuuksien välillä muodostuvat vain muutamista onnettomuustapauksista. Tällä onnettomuus- ja liikennemäärällä ei voida varmasti sulkea sattuman aiheuttamaa vaihtelua pois riskipaikkatarkastelusta.

Alusonnettomuus toistuu useimmin Saimaan kanavalla (miltei vuosittain), Kyrönsalmessa joka toinen vuosi, Varkauden kohdalla ja Vekaransalmessa vajaan neljän vuoden välein, Puumala-Osmonaskel-Pahikka -väyläosuudella ja Vihta-

kannassa neljän–viiden vuoden välein, Parkkarin mutkassa reilun viiden vuoden välein ja Konnuksella kuuden vuoden välein. Muissa riskipaikoissa onnettomuuksien esiintymistiheys on harvempi, 12 vuotta tai enemmän.

Saimaan syväväylän riskipaikkojen onnettomuustiheyden keskiarvo on 0,4 onnettomuutta 1000 laivaohitusta kohti. Suomenlahden onnettomuustiheys on noin 0,2 onnettomuutta 1000 aluskäyntiä kohti ja yleisesti Suomen aluevesillä keskimäärin 0,7 onnettomuutta per 1000 saapunutta alusta (Partio 2009, 41–42). Vertailussa on huomioitava, ettei satamakäyntien ja laivaohitusten perusteella lasketut onnettomuustiheydet eivät ole suoraan verrannollisia.

TAULUKKO 1. Riskipaikat ja onnettomuustiheys [onnettomuutta/1000 alusta] Saimaan ja Vuoksen vesialueilla. Liikennemäärät perustuvat lähteessä Häkkinen (2016) tehtyyn yhteenvetoon PortNet-järjestelmän tiedoista vuosilta 2002-2013.

Alue/väyläosuus	Liikennemäärä [laiva-ohitusta/vuodessa]	Onnettomuudet vuosilta 1978-2014		Onnettomuustiheys [onnettomuutta/1000 alusta]	Ajallinen frekvenssi [n vuoden välein]
		onnettomuutta [lkm]	onnettomuutta /vuosi [keskiarvo]		
Ristiinan väylä, Vekaronsalon salmi	65	2	0,054	0,832	18,5
Konnuksen kanava	202	6	0,162	0,803	6,2
Vihtakanta	312	8	0,216	0,693	4,6
Kyrönsalmi	763	18	0,486	0,638	2,1
Varkaus, Taipale, Pussilantaipale	430	10	0,270	0,629	3,7
Jännevirta	115	2	0,054	0,470	18,5
Kommersalmi	190	3	0,081	0,427	12,3
Kuhakivi	65	1	0,027	0,416	37,0
Puhoksen väylä	65	1	0,027	0,416	37,0
Vekaronsalmi	820	10	0,270	0,330	3,7
Saimaan Kanava	3070	35	0,946	0,308	1,1
Puumala/Osmonaskei/Pahikka	820	9	0,243	0,297	4,1
Vuosalmi/Vuoharju	125	1	0,027	0,216	37,0
Haponlahden kanava	312	2	0,054	0,173	18,5
Parkkarin mutka	1580	7	0,189	0,120	5,3
Matari	763	2	0,054	0,071	18,5
Hätinvirta	820	2	0,054	0,066	18,5

Onnettomuustiheys ja öljyvahingon esiintymistaajuus

Väyläosuuden suurikaan onnettomuustiheys ei välttämättä korreloi potentiaalisen ympäristövahingon vaaran kanssa, sillä edellä esitetyissä onnettomuustiheyksissä ei ole voitu huomioida vaurioastetta. Luvussa Vaurioanalyysit esitettiin, että polttoaineen vuotoriski alkaa olla todennäköinen vasta vaurioiden ollessa melkoisia (Laasonen, Rytkönen & Sassi 2001, 62). Melkoisia³ vaurioita, kuten kaksoispohjan, painolastitankkien, keularakenteiden tai kyljen repeämisiä ja vuotoja, ilmenee noin 10 %:ssa Saimaan alueen alusonnettomuuksista (Laasonen, Rytkönen & Sassi 2001, 52 ja 58). Onnettomuuksia tapahtuu edelleen keskimäärin saman verran vuodessa kuin tiedon laskentahetkellä. Olettaen, että myös vakavampien onnettomuuksien osuus on pysynyt saman suuruisena, voidaan arvioida öljyvahingon riskin ilmenevän edelleen samassa suhteessa. Tämä tarkoittaisi yhtä potentiaalista alusöljyvahinkoa 1,5 vuoden välein⁴ olettaen, että vaurio osuu ulkolaitaa vasten sijoittuvan polttoainetankin kohdalle.

Tähän mennessä riski ei kuitenkaan ole realisoitunut kuin erittäin harvoin. Laasonen, Sassin ja Rytkösen (2001) analysoimalla ajanjaksolla (1982–1998) polttoainetta ei ole päässyt vuotamaan veteen onnettomuuksien yhteydessä. Kuten aiemmin todettiin, myöskään laajemmassa tarkastelussa vuosilta 1978–2014 ei ole sattunut vakaviin ympäristövahinkoihin johtaneita onnettomuuksia. Sen sijaan pienempiä vahinkoja on tapahtunut. Öljyä on päässyt veteen pienten alusten (pääasiassa hinaajat, veneet, lautat) törmäyksissä tai uppoamistapauksissa. Öljypäästöt ovat olleet suuruudeltaan kahdesta viiteen kuutiota.

Potentiaalisen öljyvuodon määrä

Saimaan syväväylän alusliikenteen öljyvahinkoriski aiheutuu aluspolttoaineista sekä voitelu- ja jäteöljyistä. Öljyvuoto on mahdollinen aluksen karilleajon, pohjakosketuksen tai yhteentörmäyksen seurauksena polttoainesäiliöön syntyneestä vauriosta. Alusöljyvahingon maksimimäärän arviointi perustuu siten aluksen mukanaan kuljettaman polttoaineen eli bunkkerin määrään.

Bunkkerikapasiteetti Saimaalla liikkuvissa aluksissa tyypillisesti 130–170 kuutiota. Polttoainetta ei kuitenkaan ole mukana läheskään täyttä määrää, vaan

3 Vaurioluokat: Ei vahinkoa, vähäinen vahinko, melkoinen vahinko, hylky.

4 11 vakavaa repeytymää 17 vuodessa, onnettomuuksien kokonaismäärä 99 kpl

tyypillinen polttoainevaranto Saimaalla liikkuvissa aluksissa on Liikenneviraston PortNet-järjestelmän otannan sekä onnettomuusraporttien perusteella noin 40–50 kuutiota ja maksimimäärä noin 100 kuutiota. Bunkkerin lisäksi aluksista löytyy noin 3–16 kuutiota voiteluöljyä, keulapotkurinöljyä, hylsäöljyä sekä jäteöljyä. (Heikkilä 2016, 21.)

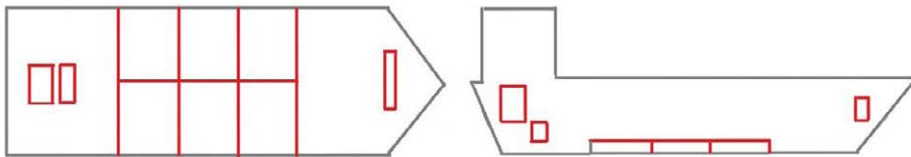
Bunkkerin määrä vaihtelee alustyyppin mukaan. Tyypillisessä rahtialuksessa bunkkerikapasiteetti on noin 100 kuutiota (maksimissaan 170 kuutiota) ja moottoriproomussa 95 kuutiota. STK-sarjan venäläisissä jokilaivoissa bunkkerikapasiteetti on 80–100 kuutiota ja aluksilla on tyypillisesti 40–50 kuution polttoainevaranto Saimaalla kulkiessa. Myös esimerkiksi hinaajien polttoainekapasiteeteissa on vaihtelua. Saimaan suurimmassa, myös jäänmurtoon käytettävässä hinaajassa on suuret 125 kuution polttoainetankit ja voiteluöljylle 5 kuution tankit. Saman varustamon toinen hinaaja on tankkitilavuuksiltaan yli puolet pienempi: 50 kuutiota bunkkeria ja voiteluöljyä 3–14 kuutiota. Lisäksi Saimaalla liikennöi pienempiä hinaajia, joita käytetään proomujen ja uittolauttojen hinaukseen, joissa on maksimissaan 30 kuution polttoainetankit. (Heikkilä 2016, 12–15.)

Pääsääntöisesti alukset käyttävät polttoaineenaan kevyttä polttoöljyä MGO (Marine Gas Oil) (Heikkilä 2016, 18). Muutamassa vanhemmassa aluksessa käytetään lisäksi erikoisraskaspolttoöljyä, joka on matalarikkistä raskasta polttoöljyä (Väisänen 2015). Saimaalla kulkevien alusten polttoaineluovutus- todistusten mukaan käytettävien polttoaineiden tiheys vaihtelee välillä 838,8–840,5 kg/m³ (Heikkilä 2016, 18).

Alusöljyvahingon syntymiseen vaikuttaa aluksen polttoainetankkien sijainti. Polttoainetta varastoidaan useassa tankissa, ja tankkien sijainti ja määrä ovat hyvinkin aluskohtaisia. Yleensä suuret polttoainetankit sijaitsevat aluksen pohjassa, josta sitä siirretään konehuoneen lähellä olevaan selkeytystankkiin (settling). Selkeytystankista öljystä painovoimaisesti vajonneet epäpuhtaudet johdetaan jäteöljytankkiin (sludge) ja puhtaampi öljy separaattorien kautta päivätankkiin. Polttoainetta tarvitaan myös hätägeneraattorille ja keulapotkureille. Lisäksi kansikoneille voi olla oma voimanlähde. Alukselta löytyvät bunkkeri- eli polttoainetankkien lisäksi voiteluöljytankki, sludgetankki ja polttoaineen ylivuototankki. (Heikkilä 2016, 22; Laasonen, Rytönen & Sassi 2001, 25.)

Kuvassa 27 on Heikkilän (2016, 27) hahmotelma tyypillisestä Saimaalla liikkuvasta aluksesta ja sen kuuden pohjaan sijoittuvan polttoainetankin, päivätankin, voiteluöljytankin sekä keulassa sijaitsevan polttoainesäiliön sijainnista. Huomi-

onarvoista on, että pohjan polttoainetankit sijaitsevat suoraan ulkolaitaa vasten. Tankit on osastoitu, jolloin todennäköisen vuotomäärän voidaan arvioida olevan 20–30 kuutiota. (Heikkilä 2016, 29.) Koska polttoaineen tiheys on vettä pienempi, säiliöstä ulos vuotavan öljyn määrä saattaa jäädä säiliön tilavuutta pienemmäksi. Vaurioitunut polttoainesäiliö saattaa pikemminkin vuotaa sisäänpäin ja vettä kevyempi öljy nousee kellumaan säiliöön vuotavan veden pinnalle (Jolma 2002, 35; Hämäläinen 2016).



KUVA 27. Polttoaine- ja öljytankkien tyypilliset sijainnit aluksessa. Kaavion mallina ovat olleet MS Vekaran peilauslistat (kuva Hannu Heikkilä 2016).

Pohjan repeytyessä öljyn vuotaminen riippuu polttoainetankin nestepinnan tasosta suhteessa vedenpinnan tasoon. Jos polttoaineen painekorkeus on suurempi kuin vedenpinnankorkeus, öljyä purkautuu veteen kunnes tasapainotila saavutetaan. Jos taas vedenpinta on korkeammalla kuin polttoainetankin nestepinta, vesi tunkeutuu tankkiin, nostaa vettä keveämmän öljyn ylöspäin ja pitää sen tankissa. Yhteentörmäyksessä repeytyneestä kyljestä polttoaine pääsee valumaan vapaasti ulos, jolloin vuotomäärä on todennäköisesti suurempi. (Laasonen, Rytkönen & Sassi 2001, 28.) Vuotavan öljyn määrään vaikuttaa myös virtaavan veden imu tai aallokon aiheuttama ”pumppaus”. Voimakas virtaus saattaa imeä bunkkeritankit tyhjiin. (Salminen 2016; Väisänen 2016b.)

Päätelmiä onnettomuusanalyysistä

Saimaalla tapahtuu vuosittain keskimäärin viisi alusonnettomuutta, joista yksi johtaa vakaviin vaurioihin. Noin 1,5 vuoden välein tapahtuu onnettomuuksia, joissa vauriot voivat johtaa öljyvahingon syntyyn. Suurin osa onnettomuuksista on karilleajoja tai pohjakosketuksia, ja myös vakavista vaurioista suurin osa (70 %) syntyy karilleajon tai pohjakosketuksen seurauksena. Karilleajosta tai pohjakosketuksesta johtuva polttoainetankin pohjan repeytyminen ei todennäköisesti ole yhtä vahingollinen ulosvuotavan öljymäärän suhteen kuin alusten yhteentörmäyksessä kylkeen tai keulaan kohdistunut repeäminen.

Rahtiliikenteen aiheuttaman alusöljyvahingon suuruudeksi arvioidaan noin 20–30 kuutiota, yhteensä noin 50–100 kuution aluskohtaisesta bunkkerivarannosta. Todennäköisempiä on kuitenkin pienet öljypäästöt, kokoluokaltaan muutamista litroista pariin kuution, pienten alusten ja veneiden havereista.

Onnettomuus tapahtuu todennäköisemmin joko liikennekauden alussa tai sen loppupuolella. Onnettomuusriski on keskimääräistä korkeampi syksyllä, erityisesti marraskuussa, ja jossakin määrin huhtikuussa. Vahingontorjuntatoimia voitaiten hankaloittaa syksyllä pimeä aika ja keväällä jääolosuhteet. Nämä olosuhteet mainitaan usein myös alusonnettomuuden syynä tuulen ja virtausten lisäksi. Karilleajo-onnettomuuksien syyt ovat suurimmalta osalta inhimillisiä erehdyksiä tai sääolosuhteiden vaikutusta. Tyypillisiä onnettomuuteen johtaneita syitä ovat olleet virheet paikanmäärityksessä sekä jo mainittujen sääolosuhteiden, kuten pimeyden ja tuulen, tuomat haasteet. Törmäysonnettomuuksissa yleisin taustasy on tekniset häiriöt ohjauslaitteistossa tai vetolaitteessa.

Onnettomuus on odotettavissa jollain Saimaan alueella tunnistetuista onnettomuustihentymäalueista. Todennäköisimmin onnettomuus tapahtuu Saimaan kanavalla, Kyrönsalmessa, Varkauden väylällä tai Vekaransalmessa. Potentiaalisen öljyvahingon näkökulmasta, eli riittävän vaurioasteen näkökulmasta, riskialteimmat alueet sijaitsevat Etelä-Savossa Puumala-Sulkava -alueella, jonne keskittyy suuri osa vakavimpiin vaurioihin johtaneista onnettomuuksista. Myös Savonrannan alueella, Puhoksen väylällä sekä Joensuun ja Lappeenrannan alueilla tapahtuneissa alusonnettomuuksissa on ollut keskimääräistä enemmän vesitiiviiden menettämiseen johtaneita onnettomuuksia. Toistaiseksi tapahtuneet onnettomuudet eivät ole johtaneet ympäristövahinkoihin ja suurimmassa osassa alukset eivät ole saaneet lainkaan vaurioita tai vauriot ovat olleet vähäisiä.

Vaurioasteeseen vaikuttavat tekijät ovat aluksen massa ja syväys, onnettomuushetkellä käytetty konetehto ja nopeus sekä pohjan tyyppi ja kohdalle osuneen karin geometria. Suurin osa karilleajoista tapahtuu hiljaisella nopeudella (Luukkonen & Kaila 1998, 23). Myös suurin osa edellä kuvatuista riskialueista on vaikeita väyläosuuksia, joissa ajetaan hiljaa ja varovasti (Paldanius 2016; Väisänen 2016b). Pienelläkin nopeudella voi silti saada isoa vahinkoa aikaan. Jos alus on lastissa, ei nopeutta tarvitse olla kuin muutama solmu, kun aluksen suuren massan vuoksi kineettinen energia riittää aiheuttamaan isojakin vaurioita. (Jämisen 2016; Salminen 2016; Paldanius 2016; Väisänen 2016b.) Myös onnettomuustilastot osoittavat, että jo kahden solmun nopeudella syntyy vesitiiviiden menettämiseen johtavia vaurioita. Nopeuden kasvaessa kahdesta solmusta kah-

deksaan solmuun vesitiiviyyden menettäneiden alusten osuus kasvaa selvästi, ja kaikki yli 12 solmun nopeudella karille ajaneet alukset kokevat jonkinasteisen vesitiiviyyden menetyksen (Luukkonen 1999a, 25 ja 29). Potentiaalisen ympäristövahingon vaara on suurempi aluksen ollessa lastissa myös aluksen suuremman syvyyksen ja pidemmän pysähtymismatkan takia.

Aluksen pohjan osuessa vedenalaiseen kiveen tai muuhun esteeseen, tapahtunut kontakti tuottaa energian, joka voimakkuudestaan riippuen kuluu muodonmuutoksiin ja/tai muuttaa aluksen kulkusuuntaa ja sijaintia (Kajaste-Rudnitski & Varsta 2003, 5). Vaikka pohjakosketuksesta itsessään ei aiheutuisi vaurioita, voi tilanteen jälkeinen aluksen muuttunut liikerata tai harkitsematon korjausliike johtaa potentiaaliseen vaurioon. Samalla tavalla törmäyksessä siltarakenteisiin tai vastaaviin voi korjausliike olla kohtalokkaampi kuin alkuperäinen törmäys. Saimaalla on useita väyläosuusia, joissa vapaat väistöliikkeet eivät ole mahdollisia karilleajovaaran vuoksi. Siten kaikissa poikkeamatilanteissa on vahingon vaara.

Vahingon seuraukset määrittelee pitkälti väyläympäristö. Kanavissa ja suluissa väylän profiili on ratkaiseva. Esimerkiksi Taipaleen kanavassa on jyrkät profiilit eli vesi on syvää rantaan asti. Tämän kaltainen ympäristö ei ole bunkkeritankkien osalta niinkään herkkää. (Väisänen 2016b.) Kanavassa tai sulussa tapahtuva öljyvuoto saadaan tehokkaasti rajattua paikalliseksi. Kanavan tai sulun alue on pääosin myös rakennettua, jossa öljyn poistamiseen seinämän pinnoista voidaan käyttää luonnontilaista rantaa voimakkaampia puhdistusmenetelmiä. Toisaalta kuitenkin suurimmassa osassa Saimaan syväväylästä kanavien alueilla virtausnopeudet ovat suuria. Esimerkiksi Konnuksen kanavan eteläpäässä voimakkaat virtaukset kuljettaisivat mahdollisen öljypäästön nopeasti useiden kilometrien päähän. Virtaava vesi myös lisää öljypäästön määrää aiheuttamalla imua vaurioituneisiin tankkeihin.

Valmiussuunnittelua ja harjoittelua tukevana onnettomuusskenaariona voidaan käyttää seuraavanlaista ”Saimaan tyyppitapausta”:

- suomalainen kuivalastialus ajaa karille ohjailuvirheen vuoksi kapeassa salmesssa tai muussa virtapaikassa
- tapahtuma-aika marraskuussa vuoden pimeimpänä aikana (vaihtoehtoisesti huhtikuussa jäiden lähdön aikaan) keskiyön jälkeen, noin yhden aikaan yöllä
- aluksessa on kevyttä polttoöljyä (MGO) noin 50 kuutiota, josta vuotaa veteen noin 20 kuutiota

Kuvatun kaltaisen onnettomuuden torjuntatyöt edellyttävät pimeän ajan toimintakykyä. Voimakkaan virtauksen vuoksi öljypäästö myös leviää nopeasti, jolloin yksiköt olisi saatava paikalle mahdollisimman nopeasti. Myös pimeä rajoittaa öljyn liikkeiden havainnointia – pahimmassa tapauksessa öljyn leviäminen nähdään vasta päivän valjettua, jolloin se voi leviämismallinnusten mukaan olla jopa viiden kilometrin päässä. Onnettomuuden sattuessa keväällä myös mahdolliset jäät, jäälautat ja sohjo vaikeuttavat tehtävää. Onnettomuuspaikka virtaavassa vedessä saattaa olla sulana, mutta kuinka toimia kauemmas onnettomuuspaikasta jäiden sekaan leviävän öljyn kanssa? Molempina ajankohtina ilman ja veden lämpötilat ovat suhteellisen alhaiset. Tämä hidastanee kevyen polttoöljyn haihtumista, joten lautta pysyy silmin havaittavissa pidempään ja torjuntatoimenpiteet ovat siten helpompi kohdistaa.

Pohdintaa

Suuren alusöljyvahingon riski Saimaalla on vähäinen, mutta muutaman kuution ja kymmenenkin kuution vahinko täysin mahdollinen. Vaikka Saimaalla ei kuljetetakaan öljyä lastina, liikkuu siellä noin 75 000 kuutiota öljyä vuosittain. Tämä perustuu arvioon, jossa jokaisella Saimaalla liikennöivällä noin 1500 rahtialuksella on keskimäärin 50 kuution polttoainevaranto. Saimaan ainutlaatuinen luontoympäristö on erittäin herkkä, joten pienenkin öljypäästön vaikutukset voivat olla ympäristölle haitallisia ja pitkäkestoisia.

Tapahtuneiden onnettomuuksien sijoittaminen kartalle osoittaa niiden leviävän melko tasaisesti koko syväväylästä alueelle – koko Saimaa on yhtä suurta riskipaikkaa. Ero onnettomuustihentymäalueen ja ei-riskikohteen välillä syntyy vain muutamista onnettomuustapauksista. Torjunnan suunnittelua ei tule kohdistaa pelkästään nimettyihin riskipaikkoihin, sillä tarkastelusta ei saa tilastollisesti pätevää aineiston suppeuden vuoksi. Nykyisellä onnettomuus- ja liikennemäärällä ei voida varmasti sulkea pois sattuman aiheuttamaa vaihtelua riskipaikkatarkastelusta. On tärkeää kehittää ja ylläpitää öljyvahinkoon varautumista koko Saimaan alueella.

Vahinkoon varautumiseen tulee kiinnittää erityistä huomiota herkillä alueilla, joille öljypäästön seuraukset aiheuttaisivat suurempaa vahinkoa kuin selkeissä ja helposti saavutettavissa paikoissa, sekä virtapaikoissa, joissa leviäminen on nopeaa. Riskitarkasteluun tulee sisällyttää ympäristöhaittojen lisäksi muun muassa

torjunta- ja puhdistuskustannukset sekä muulle liikenteelle aiheutuvat haitat. Todennäköisyyspohjaisessa riskianalyysissä riski määritellään ei-toivotun tapahtuman esiintymistodennäköisyyden ja sen seurausten vakavuutta kuvaavien suureiden tulona. Tätä selvitystä tuleekin jatkaa öljyvahingon ympäristövaikutusten ja sosioekonomisten vaikutuksen arvioinnilla.

Onnettomuustiheyttä on tässä artikkelissa tarkasteltu vertaamalla väyläosuudella tapahtuneiden onnettomuuksien määrää laivoahitusten määrään. Onnettomuusriskiä voisi tarkastella myös väyläosuuden pituuden suhteen, jolloin riskialttiusjärjestys voisi olla toinen. Tarpeen olisi analysoida myös edellä mainittujen riskipaikkojen onnettomuustiheyden muutosta ajan suhteen. Lisäksi olisi mielenkiintoista tarkastella eri alustyyppien tiheyskerrointa, eli tietyn alustyyppin osuutta tapahtuneista onnettomuuksista jaettuna alustyyppin osuudella liikennöivistä aluksista. Yhdistämällä alustyyppin tiheyskerrotimeen tieto aluksen kokoluokan/konetehon ja polttoainemäärän suhteesta voisi saada arvokasta lisätietoa alusöljyvahingon riskinarvioinnin tueksi. Jatkotutkimusaihetta olisi myös alusten ikäjakauman arvioinnissa suhteessa tiheyskerrotimeen. Nyt käytössä olevan aineiston pieni koko, alle 200 onnettomuustapausta, sekä tapaustietojen puutteet kuitenkin rajoittavat tarkempien analyysien luotettavuutta.

Lisätutkimus edellyttäisi kerätyn alusonnettomuusaineiston täydentämistä. Tuloksia voisi lisäksi tarkentaa matemaattisten ja todennäköisyyspohjaisten mallien avulla. Myös simulaatioympäristössä ajetuilla toistoilla on mahdollista hakea esimerkiksi tietyn väyläosuuden kohtaamistilanteiden onnettomuustodennäköisyyttä.

LÄHTEET

Brink-Kjær, O.; Brodersen, F.N. & Nielsen, A. H: 1983. Modelling of ship collisions against protected structures. Theme D: Evaluation of consequences of collisions. IABSE Reports 41/1983. Sivut 147–164.

Dannenber, E: 1989. Saimaan syväväylästäön rahtialusliikenteen onnettomuus selvitys. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu

EnSaCo-hanke 2012. Haaga-Helia ammattikorkeakoulu.

Frandsen, A. G. 1983. Accidents involving bridges. Theme D: Evaluation of consequences of collisions. IABSE Reports 41/1983. Sivut 11–26.

Haapiainen; H. 2016. Palotarkastaja, Etelä-Savon pelastuslaitos. Suullinen tiedonanto SÖ-KÖSaimaan työpajassa 19.4.2016 Mikkelissä.

Hallituksen esitys 248/2009 vp. Hallituksen esitys Eduskunnalle alusten aiheuttaman meren pilaantumisen ehkäisemisestä vuonna 1973 tehtyyn kansainväliseen yleissopimukseen liittyvän vuoden 1978 pöytäkirjan uudistetun I ja II liitteen sekä alusten haitallisten kiinnittymisenestojärjestelmien rajoittamisesta vuonna 2001 tehdyn kansainvälisen yleissopimuksen hyväksymisestä ja laeiksi niiden lainsäädännön alaan kuuluvien määräysten voimaansaattamisesta sekä merenkulun ympäristönsuojelulaiksi ja öljyvahinkojen torjuntalaiksi sekä eräiden niihin liittyvien lakien muuttamisesta. Saatavissa <http://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2009/20090248>

Heikkilä, H. 2016. Laivan teknisen kaavion käyttö onnettomuustilanteessa Saimaalla. Opinnäytetyö. Insinööri (AMK) merenkulku. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Versio 08-2016.

Häkkinen, J. 2016. Projektipäällikkö, Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Esitys 13.4.2016 ÄLYKÖ-hankkeen työpajassa Lappeenrannassa.

Hämäläinen, J. 2016. Etelä-Savon pelastuslaitos. Suullinen tiedonanto 13.4.2016 ÄLYKÖ-hankkeen työpajassa Lappeenrannassa.

Jolma, K. 2002. Kemikaalivahinkojen torjunta merellä. Kansainvälisen merenkulkujärjestön IMO:n opas osa I. Ongelman määrittely ja torjunnan järjestäminen. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 90. ISBN 952-11-1029-5.

Jämsen, K. 2016. VTS-keskuksen päällikkö, Saimaa VTS. Suullinen tiedonanto 13.4.2016 ÄLYKÖ-hankkeen työpajassa Lappeenrannassa.

Kaila, J. & Luukkonen, J. 1998. Tilastoyhteenveto Suomen aluevesillä tapahtuneista karilleajoista ja pohjakosketuksista. Teknillinen Korkeakoulu, Konetekniikan osasto, Laivalaboratorio, Otaniemi. Raportti M-233. ISBN 951-22-4044-0.

Kajaste-Rudnitski, J. & Varsta, P. 2003. Mechanics of ship grounding. Teknillinen korkeakoulu. Laivalaboratorio. Espoo. ISBN 951-22-6719-5.

Knott, M. & Pruca, Z. 2000. Vessel collision design of bridges. Bridge Engineering Handbook. Boca Raton: CRC Press.

Laasonen J., Rytönen J. & Sassi J. 2001. Saimaan vesistöalueen kuljetusten ympäristöriskit. Helsinki. Suomen ympäristökeskuksen julkaisuja 455. ISBN 952-11-0857-6.

Liikennevirasto 2015a. PortNet-tilastot vuosilta 2002–2013. Satamaliikenteen tietojärjestelmä osoitteessa <http://www.portnet.fi/>

Liikennevirasto 2015b. Laivaonnettomuusraportit. Luottamuksellinen aineisto.

Liikennevirasto 2016a. Saimaan kanavan ja muiden sulkukanavien liikennetilasto 2015. Liikenneviraston tilastoja 2/2016. Liikennevirasto. Helsinki 2016. ISBN 978-952-317-248-7.

Liikennevirasto 2016b. Saimaan kanavan alusliikenne 2000–2016. Kanavaliikenne. Liikenne ja matkailu. Tilastokeskuksen PX-Web-tietokannat. [Viitattu 27.7.2016]

Liikennevirasto 2016c. Liikenneviraston internetsivut osoitteessa <http://www.liikennevirasto.fi/laitaatsalmi#.WCGUuJfHpMw> [Viitattu 8.11.2016]

Luukkonen, J. 1999a. Laivan pohjarakenteiden vauriot karilleajossa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Laivalaboratorio. M-239. Espoo. ISBN 951-22-4548-5.

Luukkonen, J. 1999b. Vaurioutilastot Suomen aluevesien karilleajoista ja pohjakosketuksista. Teknillinen korkeakoulu. Laivalaboratorio. M-240. Espoo. ISBN 951-22-4602-3.

Merenkulkulaitos 1996. Onnettomuusanalyysi 1982–1994. Karilleajot, pohjakosketukset ja yhteentörmäykset. Moniste. Merenkulkulaitos, Väyläosasto, Helsinki.

Merenkulkulaitos 2001. Onnettomuusanalyysi 1990–2000: karilleajot ja yhteentörmäykset. Merenkulkulaitoksen julkaisuja 7/2001. Helsinki. ISBN 951-49-0949-6.

Merenkulkulaitos 2005. Suositukset vesistösiltojen aukkomitoista. Merenkulkulaitoksen julkaisuja 12/2005. Helsinki. ISBN 951-49-2109-7.

Merenkulkulaitos 2007. Alusonnottomuusanalyysi 2001–2005. Merenkulkulaitoksen julkaisu 5/2007. Helsinki. ISBN 978-951-49-2128-5

Merenkulkulaitos 2008. Saimaan sisävesiliikenteen kehittämissektori. Merenkulkulaitoksen julkaisu 6/2008. Helsinki. ISBN 978-951-49-2142-1, ISSN 1456-7814.

Merenkulun ympäristönsuojelulaki 29.12.2009/1672. Saatavissa <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2009/20091672#L2P5> [Viitattu 27.7.2016]

Mikkelin lääninhallitus 1996. Mikkelin läänin riskianalyysi. Mikkelä.

Mikkelin vesi- ja ympäristöpiiri 1993. Saimaan kuljetusten ympäristöriskiselvitys. Mikkelin läänin alue. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 465.

Minorksy, V.1983. Evaluation of ship-bridge pier impact and of islands as protection. Theme D: Evaluation of consequences of collisions. IABSE Reports 41/1983. Sivut 131–145.

Paldanius, P. 2016. Alueluotsivanhin. Finnipilot Pilotage Oy. Saimaan luotsausalue. Suullinen tiedonanto 13.4.2016 ÄLYKÖ-hankkeen työpajassa Lappeenrannassa.

Partio, A. 2009. Pelastustoimikohtainen alusliikennekuva. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.

Pedersen, P. 2010. Review and application of ship collision and grounding analysis procedures. Artikkeliteoksessa Marine Structures nro 23. Sivut 241–262.

Salminen, I. 2016. Erityisasiantuntija, Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. Suullinen tiedonanto 13.4.2016 ÄLYKÖ-hankkeen työpajassa Lappeenrannassa.

Suomen ympäristökeskus 2015. Saimaan Boris-yhteistoimintatyöpaja. Ryhmätyön ”Saimaan syväväylän alueen riskipaikat ja esimerkkisuunnitelmien tarve” tulosten yhteenveto. Mikkelä 11.5.2015.

Trafi 2015. Laivaonnettomuusraportit. Luottamuksellinen aineisto.

Väisänen, J. 2015. Ylitarkastaja, Liikennevirasto. Suullinen tiedonanto 27.5.2015 Öljyvahinkojen torjunnan koulutuspäivillä Leppävirralla. Kylpylähotelli Vesileppis.

Väisänen, J. 2016a. Ylitarkastaja, Liikennevirasto. Suullinen tiedonanto 21.3.2016 SÖ-KÖSaimaa-hankkeen työpajassa Lappeenrannassa. Lappeenrannan kaupungintalo.

Väisänen, J. 2016b. Ylitarkastaja, Liikennevirasto. Suullinen tiedonanto 13.4.2016 ÄLYKÖ-hankkeen työpajassa Lappeenrannassa. Liikennevirasto.

VAARALLISTEN AINEIDEN VARASTOINNIN SEKÄ MAANTIE- JA RAUTATIEKULJETUSTEN YMPÄRISTÖRISKIKOHTTEET ITÄ- SUOMESSA

Vuokko Malk

Öljyvahinkoja ja muita vaarallisten aineiden vahinkoja sattuu vuosittain Itä-Suomessa parisataa. Suuri osa näistä on pieniä, alle 100 litran vuotoja. Isompia, vähintään 1000 litran vuotojakin sattuu kuitenkin vuosittain. Esimerkiksi helmikuussa 2016 20 000 litraa biodieseliä pääsi valumaan ympäristöön säiliöauto-onnettomuuden seurauksena Luumäellä (Etelä-Saimaa 15.2.2016). Joutsenossa arviolta tuhat litraa hydraulikkaöljyä valui Saimaaseen tehtaalta toukokuussa 2016 liaten mökkirantoja (Etelä-Saimaa 29.5.2016). Lieksassa 12 kuutiota öljyä pääsi meijerirakennuksesta Lieksanjokeen kesäkuussa 2016 (Pohjois-Karjalan pelastuslaitos 26.6.2016). Öljyvahingon ei tarvitse olla iso alusöljyvahinko merellä aiheuttaakseen merkittäviä haittoja ja kustannuksia. Saimaalla rannat ovat lähellä, joten pienikin vuoto voi nopeasti liata laajoja ranta-alueita. Lisäksi virtaavat vedet aiheuttavat erityishaasteen öljyntorjunnan kannalta.

Ympäristövahingon riski on suurin pohjavesialueella tapahtuvassa tai vesistöön kohdistuvassa vuototilanteessa. Vuoto maalta vesistöön voi tapahtua rannalla sijaitsevista säiliöistä tai vaarallisten aineiden maantie- tai rautatiekuljetusonnettomuuden seurauksena, kuten säiliöauton kaatuessa sillalla tai vesistön läheisyydessä. Saimaan rannan läheisyydessä sijaitsee öljysäiliöitä, joissa varastointikapasiteetti on suurimmillaan jopa kymmeniä-satoja tuhansia tonneja. Säiliöautossa voi olla 50 tonnia öljyä tai kemikaalia. Saimaalla öljyvahinko voi

tapahtua myös alusliikenteessä, mutta öljyvahingot maa-alueilla ovat yleisempiä kuin vesillä.

Vahinkoihin on Suomessa varauduttu lainsäädännön keinoin. Öljyvahinkojen torjuntalaki (1673/2009) velvoittaa niin viranomaisia kuin öljyä varastoivia laitoksia ja satamia laatimaan öljyntorjuntasuunnitelmia. Öljyntorjuntatilanteita varten järjestetään harjoituksia ja torjunnan tehostamiseksi on perustettu alueellisia yhteistyöryhmiä myös Itä-Suomen alueelle. Öljyntorjuntasuunnitelmi- en osana on tehty riskikartoituksia, mutta Saimaan alueelle haluttiin aiempaa laajempi riskiselvitys. Tässä artikkelissa tarkastellaan vaarallisten aineiden varastointia sekä maantie- ja rautatiekuljetuksia koskevaa riskikartoitusta. Saimaan syväväylää koskeva riskikartoitus on esitelty artikkelissa ”*Saimaan syväväylän alusliikenteen riskialueet alusöljyvahingon näkökulmasta*”. Työn ohjaamiseksi ja aineistojen keräämiseksi järjestettiin kaksi asiantuntijatyöpajaa, joissa päätettiin riskikartoitukseen koottavista aineistoista ja kartoituksen tarpeista.

Vaarallisten aineiden onnettomuudet

Vaarallisten aineiden onnettomuuksia tilastoidaan eri viranomaisten toimesta. Pelastustoimen PRONTO-rekisteriin kirjataan mm. pelastustoimen pelastus- ja avunantotehtävät. Vaarallisten aineiden onnettomuudet ja öljyvahingot voidaan erotella aineistosta onnettomuustyyppin mukaan. PRONTO-rekisteriä onkin hyödynnetty useissa selvityksissä, kuten esimerkiksi Liikennevakuutuskeskuk- sen VAK-onnettomuusselvityksessä (Räty & Länsivuoren 2015) ja Suomen ympäristökeskuksen ympäristövahinkoselvityksessä (Tuomainen ym. 2013). Muita selvityksissä käytettyjä tietolähteitä ovat olleet mm. liikenneonnettomuuksien tutkijalautakuntien tutkintaselostukset. Lisäksi Tukes ylläpitää Vaurio- ja onnettomuusrekisteriä (VARO) oman toimialansa onnettomuus- ja vaaratilanteista.

Suomessa tapahtuu vuosittain noin 2600–2900 öljyvahinkoa ja noin 300 muuta vaarallisten aineiden päästöä. Vakavuusluokaltaan merkittäviä ympäristöva- hinkoja, joiden jälkihoito vaatii laajempaa yhteistyötä ja osaamista, tapahtuu vuositasolla noin 150 kpl. Ympäristövahinkojen aiheutumisen todennäköisyys on suurinta kuljetuksissa, liikenteessä ja yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla. Eniten vahinkotapauksia aiheuttavat öljytuotteet ja erilaiset muut teollisuuden käyttämät kemikaalit. Yleensä suurimmat ympäristöön päätyneet kemikaali- päästöt ovat olleet rekan kuljettaman öljy- tai kemikaalilastin kokoluokkaa. Vai- kutukset ovat yleensä lähinnä paikallisia ja tilapäisiä. (Tuomainen ym. 2013.)

Tukesin VARO-rekisterin mukaan kemikaalionnettomuuksia on sattunut Vuosina 2011–2014 vuosittain 29-37, joista vakavia onnettomuuksia on ollut vuosittain 10–15. Onnettomuudeksi on määritelty vaarallisten kemikaalien käytössä ja varastoinnissa tapahtuneet onnettomuudet, joista on aiheutunut henkilövahinkoja, aineellisia vahinkoja yli 50 000 euron edestä (ennen vuotta 2015 30 000 euron edestä) tai haittaa ympäristölle. Vuonna 2015 onnettomuusmäärä oli 108, mutta kemikaalien vaaraluokituksen muuttumisen (CLP) sekä onnettomuuden raja-arvojen päivittämisen vuoksi vuoden 2015 lukumäärätiedot eivät ole vertailukelpoisia aiempiin vuosiin. (Tukes 2016.)

Vuonna 2015 Tukesin valvontakohteissa sattuneista onnettomuuksista (9 kpl) lähes kaikki olivat sattuneet turvallisuusselvityslaitoksessa. Eniten onnettomuuksia sattui puunjalostusteollisuudessa sekä kemikaalien valmistuksessa. Vuoto on vuosittain kemikaalionnettomuuksien yleisin onnettomuustyyppi. Onnettomuudet sattuivat yleisimmin normaalin käytön/tuotantoprosessin aikana ja suurin osa onnettomuuksista liittyi putkistoon. Yleisin tekninen syy oli laitevaurio. Muita syitä olivat ihmisen toiminta ja organisatoriset syyt (esim. koulutus, ohjeistus, perehdytys). (Tukes 2016.)

VAK-onnettomuuksia Suomen maanteillä sattuu noin 80–100 vuodessa. Selvästi eniten onnettomuuksia sattuu palaville nesteille, joita myös kuljetetaan eniten. Seuraavaksi eniten onnettomuuksia sattuu syövyttävillä aineilla ja kaasuille. Vuosien 2004-2013 tarkastelussa kuorma purkautui osittain tai kokonaan ajoneuvon kyydistä 44 %:ssa onnettomuuksista. VAK-onnettomuuksissa ainevuotoja on tapahtunut kuitenkin vain vähän vesistöjen välittömässä läheisyydessä. (Räty & Länsivuori 2015.)

Yleisiä onnettomuuksiin vaikuttaneita tekijöitä ovat vastapuolen ajautuminen vaarallisia aineita kuljettaneen ajoneuvon kaistalle tai eri syistä tapahtuneet tieltä suistumiset. Vaikeat talviolosuhteet ja korkea tilannenopeus esiintyivät usein taustatekijöinä. Eniten tieliikenteen VAK-onnettomuuksiin liittyviä hälytystehäviä on tullut pelastuslaitoksille myöhäisen syksyn ja talvikuukausien aikana. Vaarallisten aineiden kuljettajista osalla on havaittu merkkejä toistuvasta riskinotosta ja esimerkiksi joka neljännen on todettu ajaneen onnettomuushetkellä ylinopeutta. (Räty & Länsi-vuori 2015.) Muita VAK-onnettomuuksien riskinä mainittuja tekijöitä ovat mm. kuljettajien vireystila. Vastapuolen ajoneuvon tahallisen tai tahattoman ajautumisen VAK-kuljetuksen käyttämälle kaistalle on myös katsottu olevan selkeä vaaratekijä VAK-kuljetuksille. (Räty & Länsivuori 2015, Kallio & Mäkelä 2012.)

Timo Leppälä teki ÄLYKÖ-hankkeeseen liittyen opinnäytetyön ”Säiliökuljetusten onnettomuusriskit tieluokittain, selvitys Suomessa sattuneista säiliöautokuljetusonnettomuuksista” (Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, Logistiikka, Joulukuu 2016). Aineisto kattoi 125 säiliöajoneuvokuljetuksille sattunutta onnettomuutta vuosilta 2000–2016 ja lähteenä olivat uutismediat sekä Tilannehuone.fi-palvelu.

Opinnäytetyön mukaan valtateillä sattuu selkeästi eniten kuolemaan johtaneita ja suuria vuotoja aiheuttaneita onnettomuuksia sekä myös määrällisesti eniten onnettomuuksia. Yhdysteillä tapahtuu paljon tieltä suistumisia, mutta suuria vuotoja ja henkilövahinkoja ei kuitenkaan kuljetusmääriin nähden satu kovin usein. Valtateillä onnettomuuksia tapahtuu melko tasaisesti kuukaudesta riippumatta, mutta seututeillä sekä yhdys- ja paikallisteillä onnettomuusjakaumassa näkyy selkeästi onnettomuusmäärien painottuminen talvikuukausille. (Leppälä 2016.) Valtateiden suuri osuus onnettomuuksissa todettiin myös Kallio & Mäkelän (2012) selvityksessä.

Tieltä suistumisten osuus oli Leppälän (2016) tarkastelussa lähes 80 prosenttia. Seuraavaksi yleisimpiä olivat kohtaamisonnettomuudet, kolaroinnit toisen ajoneuvon kanssa sekä kuljetuskalustoon liittyvä tekninen vika.

Rautatiekuljetuksissa onnettomuudet ovat harvinaisia. Valtaosa Suomessa tapahtuvista junaliikenteen merkittävistä onnettomuuksista on tavaristeysonnettomuuksia ja allejäätionnettomuuksia (Trafi 2017). Onnettomuustutkintakeskuksen tutkimia onnettomuuksia ja vaaratilanteita raideliikenteessä on sattunut Suomessa vuosina 2010–2016 keskimäärin neljä vuodessa (Onnettomuustutkintakeskus 2017). Onnettomuuden sattuessa vuotomäärät voivat olla suurempia ja seuraukset vakavampia. Esimerkiksi Vainikkalan ratapihalla vuonna 1999 sattuneessa onnettomuudessa suistui kiskoilta 9 vaunua. Vaunuissa ollut raakaöljy syttyi palamaan. Onnettomuusvaunuissa olleesta 600 m³:n raakaöljymäärästä paloi säiliöiden ulkopuolella 200 m³. Palaneista seitsemästä vaunusta saatiin sammutuksen jälkeen öljyä talteen 260 m³ ja maastosta poistettiin öljyä 40 m³. Ratapihalle ja maastoon joutui öljyä arviolta 100 m³. Onnettomuudesta aiheutuneet kokonaiskustannukset olivat yli 7 Mmk. Syynä onnettomuuteen oli vaihteen ulkokaarten puoleisen kielen kiinteän osan (= välikiskon) kiinnityksen pettäminen. (Onnettomuustutkintakeskus 1999.)

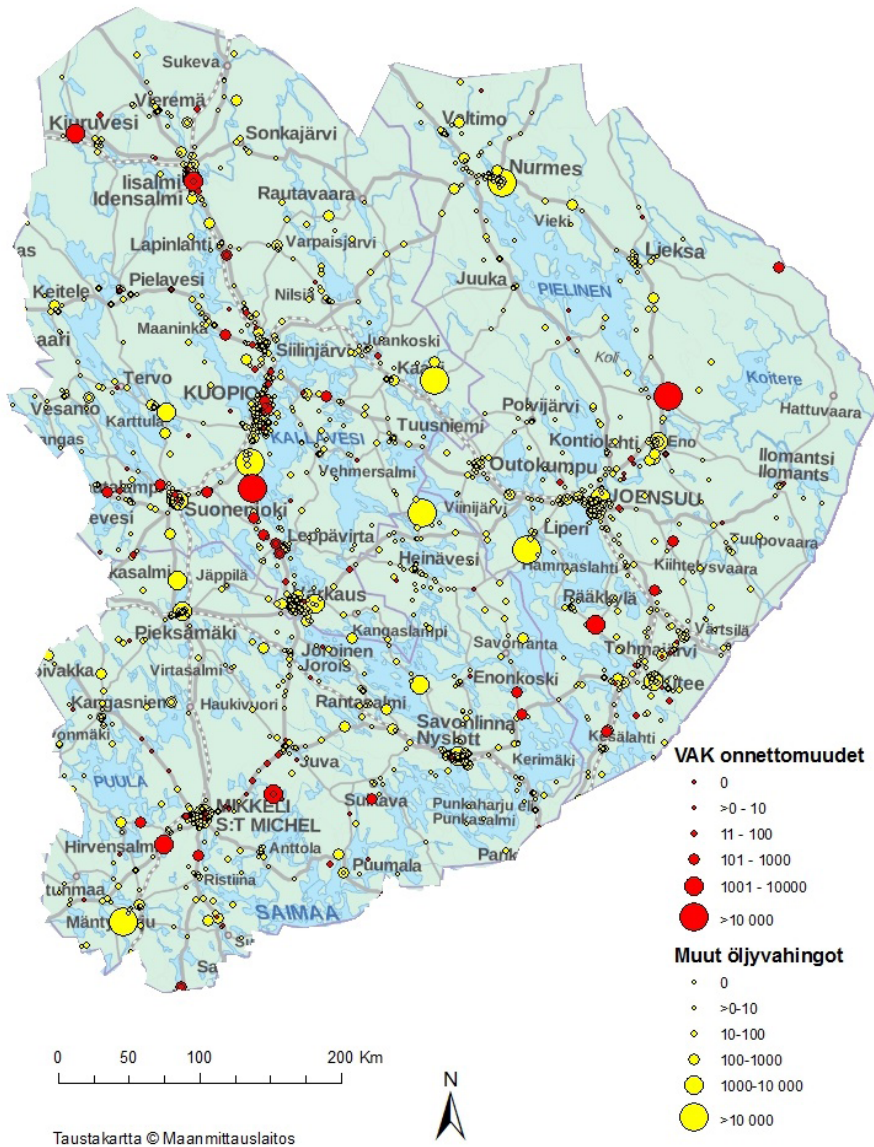
Itä-Suomen alueella sattuneet öljyvahingot ja onnettomuudet

Pelastusopistolta saatiin hankkeen käyttöön kesäkuussa 2015 Pronto-järjestelmään öljyvahingoksi tai vaarallisten aineiden onnettomuudeksi kirjatut tapahtumat, joihin pelastuslaitos on hälytetty. Tällaisia vahinkoja on sattunut Itä-Suomessa ajanjaksolla 2010–2014 keskimäärin 198 kpl vuodessa (Pohjois-Savossa 90, Etelä-Savossa 58 ja Pohjois-Karjalassa 50). Kuitenkin yli 100 litran vuotoja tapahtuu keskimäärin vain 4,1 vuodessa ja yli 1000 litran vuotoja keskimäärin 1,7 vuodessa. Suuri osa vuodoista on siis varsin pieniä.

Suurin osa vahingoista on tapahtunut kadulla/muulla vastaavalla taajama-alueella (46 %) tai maantiellä (40 %). Sisävesialueella on sattunut vain 9 % ja sisävesialueen satamissa 6 % vahingoista.

VAK-kuljetuksiin liittyvien onnettomuuksien osuus vahingoista on 6 %. Keskimäärin näitä oletettavasti vaarallisten aineiden kuljetuksiin liittyviä vahinkoja on sattunut koko Itä-Suomen alueella 12 vuodessa. VAK-onnettomuudet eroteltiin aineistosta valitsemalla onnettomuustyyppiä (onnettomuustyyppi 1 tai 2) liikenneonnettomuus (Soininen 2015). Eniten VAK-onnettomuuksia on sattunut 5-tiellä (kuva 1). VAK-onnettomuuksista yhteensä neljä on sattunut 50 metrin etäisyydellä pinta-alaltaan yli 5 km² suuruudesta järvestä tai yli 1 km² suuruudesta jokialueesta (näitä vesistö-määrittelyjä on käytetty myöhemmin vesistö-riskikohteiden pisteytyksessä). Muista vahingoista keskimäärin 27 vuosittain on sattunut 200 metrin etäisyydellä vastaavasta vesistöstä.

Onnettomuustutkintakeskuksen tutkimia onnettomuuksia ja vaaratilanteita rai-deliiikenteessä on Itä-Suomen alueella sattunut vuosina 2010–2016 yhteensä viisi. Ainoa tässä aineistossa mainittu Itä-Suomen alueella sattunut VAK-onnettomuus ajanjakson 2000–2010 aikana on tyyppihappokuormassa olleen säiliövaunun kaatuminen Siilinjärvellä vuonna 2007. (Onnettomuustutkintakeskus 2017.)



KUVA 1. Itä-Suomen alueella ajanjaksolla 2000-6/2015 sattuneet öljyvahingot tai vaarallisten aineiden onnettomuudet. VAK-onnettomuudet eriteltynä. Pisteiden suuruus kuvaa vuotomäärää litroina.

Vesistö- ja pohjavesiriskikohteiden kartoitus

Vaarallisten aineiden varastointi ja kuljetukset Itä-Suomen alueella kartoitettiin keräämällä aineistot eri viranomaisilta. Aineistonkeruuvaiheessa huomattiin selvästi, että tiedot esimerkiksi vaarallisia aineita käsittelevistä ja varastoivista laitoksista ovat hajallaan eivätkä aina ajan tasalla. Kerätyt tiedot ovat luottamuksellisia ja tarkoitettu vain viranomaiskäyttöön. Siksi tässä artikkelissa ei esitetä yksityiskohtaista tietoa vaarallisia aineita käsittelevistä ja varastoivista laitoksista ja varastointimääristä. Hankkeessa koostetut tarkemmat paikkatietoaineistot jaetaan viranomaiskäyttöön. Myös vaarallisten aineiden maantiekuljetusmääriä tilastoidaan Suomessa vain viiden vuoden välein kyselytutkimukseen perustuen, ja kuljetusreititiedot perustuvat mallinnukseen.

Riskianalyyssissä ympäristön kannalta merkittävimmiksi riskikohteiksi katsottiin rannan läheisyydessä tai pohjavesialueella sijaitsevat kohteet. Aineistojen pohjalta tehtiin paikkatietoanalyysjä, joiden perusteella määritettiin ja priorisoitiin vesistö- ja pohjavesiriskikohteet. Aineistojen käsittelyssä ja analysoinnissa käytettiin ArcGis-paikkatieto-ohjelmistoa (ArcMap 10.3.1).

Vaarallisia aineita käsittelevät ja varastoivat laitokset

Vaarallisia aineita käsittelevien ja varastoivien laitosten tiedot saatiin pelastus- ja ympäristöviranomaisilta sekä Turvallisuus- ja kemikaalivirastolta (Tukes). Vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta annetun lain (390/2005) mukaan teollinen käsittely ja varastointi yrityksessä voi olla vaarallisen kemikaalien määrän ja vaarallisuuden perusteella joko laajamittaista tai vähäistä. Tukes myöntää laajamittaista toimintaa harjoittaville yrityksille luvat kemikaalin käsittelylle ja varastoinnille sekä valvoo yritysten toimintaa. Vähäistä kemikaalien teollista käsittelyä ja varastointia harjoittavia yrityksiä valvovat pelastusviranomaiset. (Tukes 2015.)

Tiedot saatiin Pohjois-Karjalan ja Etelä-Savon pelastuslaitoksilta Merlot-tietojärjestelmästä kesällä 2015 sekä Tukesilta Kemu-rekisteristä marraskuussa 2015. Pohjois-Savon pelastuslaitokselta saatiin alueen kemikaalipäätökset pdf-muodossa huhtikuussa 2016. Lisäksi Pohjois-Savon ELY-keskukselta saatiin VAHTI-järjestelmästä lista Pohjois-Savon alueen satamista ja varastoista heinäkuussa 2015. Etelä-Savon ELY-keskuksessa toimivat laitosten valvojat keräsivät VAH-

TI-järjestelmän perusteella hankkeelle listan Etelä-Savon alueen tärkeimmistä kohteista heinäkuussa 2015. Tukesin valvomien kohteiden osalta Kemu-rekisteristä saatuja tietoja pidettiin ensisijaisena tietolähteenä.

Aineistossa huomioitiin myös Saimaan syväväylän alueen alusöljy- ja aluskemikaalivahinkojen torjunnan yhteistoimintasuunnitelman (Toivola 2015) liitteessä 12 mainitut tiedot varastoalueista, joilla säiliötilavuus on yli 100 000 litraa. Lisäksi aineistossa ovat mukana Etelä-Savon ja Pohjois-Savon pelastuslaitosten öljyntorjuntasuunnitelmissa ja kuntaliitteissä mainitut riskikohteet. Pohjois-Karjalassa vastaavia kuntaliitteitä ei suunnitelmassa ole. Yksittäisissä tapauksissa laitosten kemikaalimäärätietoja tarkistettiin ympäristöluvista.

Eri tietolähteistä saaduista tiedoista koottiin Excel-taulukko ja paikkatietoaineisto. Sijaintitiedot perustuivat pääosin osoitteisiin eli suurimmassa osassa aineistosta säiliöiden tarkka sijainti ei ole tiedossa. Aineistossa oli yhteensä 841 kohdetta.

Aineistosta analysoitiin pohjavesialueella ja enintään 200 tai 500 metrin etäisyydellä rannasta (järvi yli 5 km² tai > 5 m leveä joki, jonka pinta-ala >1 km²) sijaitsevat kohteet. Ranta-aineistona käytettiin Suomen Ympäristökeskuksen Ranta10-aineistoa, joka saatiin SYKE:ltä hankkeen käyttöön. Aineisto perustuu Maanmittauslaitoksen maastotietokannan vuosien 2000–2008 rantaviiva-aineistoon ja siinä ovat mukana järvet, lammet, yli 2 metriä leveät joet sekä uomaverkosto. Riskianalyyssissä rantoina huomioitiin järvet sekä yli 5 metriä leveät joet, jotka on tallennettu paikkatietoaineistoon alueina. Pienet vesistöt (järvet alle 5 km² ja joet alle 1 km²) jätettiin tarkastelun ulkopuolelle. Pienissä vesistöissä öljyvuoto voi aiheuttaa paikallista vahinkoa, mutta suuremmis- sa vesistöissä ympäristövaikutukset voivat ulottua laajalle ja myös torjunta on haastavampaa. Pohjavesialueiden paikkatietoaineisto kuuluu Suomen ympäristökeskuksen avoimiin aineistoihin.

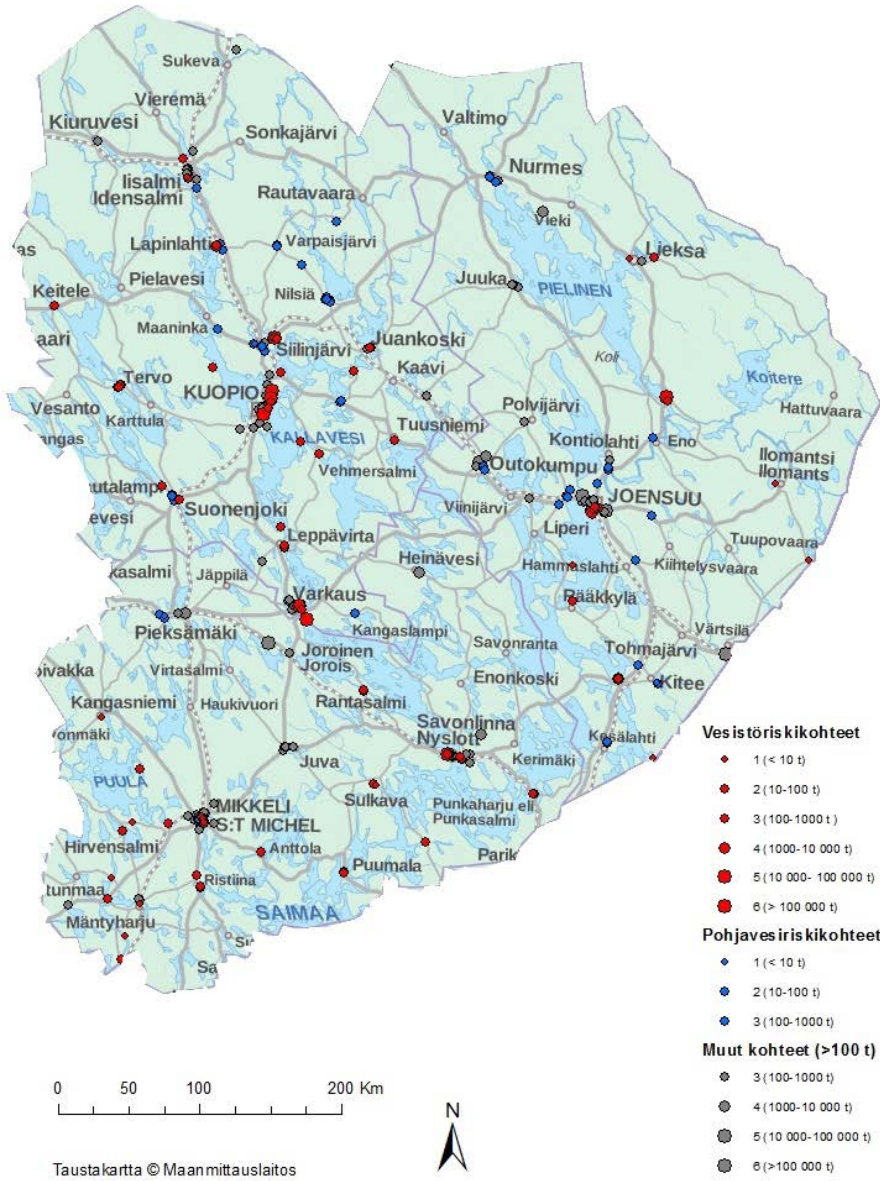
Etäisyydeksi rannasta päätettiin suhteellisen pitkä 200 metriä, koska säiliöiden tarkat sijainnit tonteilla eivät olleet suurimmassa osassa aineistosta tiedossa. Suurimpien laitosten (varastointimäärä >100 t) kohdalla tarkasteluun päätettiin ottaa mukaan myös enintään 500 metrin etäisyydellä rannasta sijaitsevat muut kohteet kuin jakeluasemat, koska isoilla laitosalueilla säiliöt saattavat sijaita kaukana osoitteen mukaan määritellystä sijainnista. Paikkatietoanalyysin jälkeen kohteet tarkistettiin ja lopulliset kohteet valittiin pelastuslaitosten avulla.

Laitokset pisteytettiin varastointikapasiteetin mukaan (taulukko 1). Koska riskianalyysi tehtiin vesistö- ja pohjavesiriskin näkökulmasta, pisteytyksessä painotettiin nestemäisiä vaarallisia aineita, jotka varastoidaan säiliöissä. Näin ollen esimerkiksi pelkästään kaasuja tai räjähteitä käsittelevät ja varastoivat laitokset sekä vähittäistavara-kaupat ja pienet huoltamot, joissa varastoidaan vaarallisia aineita oletettavasti kappaletavarana, saivat pisteytyksessä 0 pistettä.

TAULUKKO 1. Vaarallisia aineita käsittelevien ja varastoivien laitosten pisteytys varastointikapasiteetin mukaan.

Varastointikapasiteetti	Pisteytys
>1 tonnia (myös laitokset, joissa varastoitavat vaaralliset aineet eivät ole nesteitä tai varastointi tapahtuu kappaletavarana)	0
<10 tonnia (myös laitokset, joiden varastointimäärä ei tiedossa)	1
10-<100 tonnia (myös jakeluasemat, energiantuotantolaitokset ja polttoainevarastot, joiden varastointimäärä ei tiedossa)	2
100-<1000 tonnia	3
1000-<10 000 tonnia	4
10 000-<100 000 tonnia	5
≥100 000 tonnia	6

Eniten suuria öljyvarastoja Itä-Suomessa sijaitsee Pohjois-Savossa erityisesti Kuopion ja Varkauden alueella (kuva 2). Suurimpien varastojen kapasiteetti on jopa satoja tuhansia tonneja. Eniten Pohjois-Savossa varastoidaan kevyttä polttoöljyä. Pohjois-Karjalassa merkittävimpien laitosten toimialaan kuuluu puunjalostusta, liimojen valmistusta sekä paperi- ja kartonkituotteiden valmistusta, joten öljytuotteiden ohella runsaasti käytettäviä ympäristölle vaarallisia aineita ovat mm. lipeät, hapot, hartsit ja natriumhydroksidi. Suurimmat öljyvarastot vesistön rannoilla ovat raskaan polttoöljyn varastoja. Etelä-Savossa ei sijaitse yhtä suuria öljyn tai muiden vaarallisten aineiden varastoja kuin Pohjois-Savossa tai Pohjois-Karjalassa. Merkittävä osa sekä vesistö- että pohjavesiriskikohteista kaikkien maakuntien alueella on jakeluasemia.



KUVA 2. Vaarallisia aineita käsittelevät ja varastoivat laitokset Itä-Suomen alueella.

Vaarallisten aineiden maantiekuljetukset

Trafi tekee viiden vuoden välein selvityksen vaarallisten aineiden kuljetuksista Suomessa. Aikaisemmin selvityksestä vastasi Liikenne- ja viestintäministeriö. Viimeisin viisivuotisselvitys (Kumpulainen ym. 2013) perustuu vuoden 2012 kuljetustietoihin. Selvityksen mukaan Vuonna 2012 vaarallisten aineiden kuljetusmäärät Suomessa olivat tiellä 12,0 miljoonaa tonnia, rautatiellä 5,1 miljoonaa tonnia, aluskuljetuksina 39,7 miljoonaa tonnia ja ilmakuljetuksina 3 700 tonnia. Eniten kuljetettiin palavia nesteitä kuten polttoaineita. Muita paljon kuljetettuja aineryhmiä olivat syövyttävät aineet ja kaasut.

Trafin selvityksessä vaarallisten aineiden maantiekuljetustiedot on kerätty sähköisellä kyselyllä, joka on suunnattu vaarallisia aineita käsitteleville, varastoiville ja kuljettaville toimijoille. Selvityksen kuljetusreitit ja paikkatieto perustuvat lähtö- ja määräpaikkojen perusteella tehtyyn mallinnukseen. Sijoittelussa on hyödynnetty Liikennevirastossa laadittuja valtakunnallisia liikenneverkkojen kuvauksia (EMME) ja liikenteen sijoittelu on tehty nopeimmille reiteille. (Kumpulainen ym. 2013.)

Myös Tilastokeskus tilastoi vaarallisten aineiden kokonaiskuljetusmääriä kotimaan liikenteessä osana tieliikenteen tavarankuljetustilastoa. Tilaston mukaan Suomen maanteillä kuljetettiin vuonna 2015 13,7 miljoonaa tonnia vaarallisia aineita (SVT 2015), kun vuonna 2014 vastaava luku oli noin 8,6 miljoonaa tonnia (SVT 2014). Vuosien välillä on tilastossa huomattava vaihtelu. VAK-kuljetukset ovat vain pieni osa otostutkimusta, joten tieto ei ole kovin tarkalla tasolla (Lahtinen 2016).

Vaarallisten aineiden maantiekuljetustiedot vuonna 2012 saatiin Trafin toteuttamasta viisivuotisselvityksestä (Kumpulainen ym. 2013). Mallinnuksen perusteella luotu paikkatietoaineisto saatiin Trafin luvalla käyttöön Strafica Oy:ltä

Koska kuljetusreitit perustuvat mallinnukseen, tiedot ovat summittaisia eivätkä anna tarkkaa ja luotettavaa kuvaa alueellisesti. Tarkempien alueellisten tietojen saamiseksi pitäisi tehdä kysely alueella toimiville kuljetusyrittäjille (Häkkinen 2015). Pohjois-Savon ELY-keskus onkin teettänyt tarkemman selvityksen 5-tien käytöstä vaarallisten aineiden kuljetusten reittinä (Rönkkö & Salanne). Tarkemmassa selvityksessä vaarallisten aineiden kuljetusmäärät 5-tiellä olivat suuremmat kuin Trafin mallinnukseen perustuvassa selvityksessä. Tarkemman selvityksen tiedot huomioitiin ja korjattiin Strafica Oy:ltä saatuun paikkatietoaineistoon.

Vaarallisten aineiden maantiekuljetusten vesistöriskikohteet analysoitiin valitsemalla kuljetusmäärä- ja reittiaineistosta paikkatietoanalyysillä 50 metrin etäisyydellä rannasta sijaitsevat tieosuudet. Koska kohteita oli paljon (yli 1200), kohteista karsittiin pois alle 5 km² järvien tai alle 1km² jokien rannalla olevat tieosuudet, jolloin jäljelle jäi edelleen 246 kohdetta. Tämän jälkeen laskettiin raskaan liikenteen onnettomuusmäärät 100 metrin etäisyydellä riskikohteista. Liikenneviraston liikenneonnettomuuksia koskevat onnettomuustilastot vuosilta 2010–2014 saatiin Pohjois-Savon ELY-keskuksen Liikenne-vastualueelta kesäkuussa 2015. Tiedot perustuvat poliisin kirjaamiin onnettomuustietoihin, joita täydennetään Liikenteen turvallisuusviraston sekä Tilastokeskuksen tiedoilla (Liikennevirasto 2016). Tilastosta ovat erotettavissa raskaan liikenteen onnettomuudet. Hankkeen käytössä oli myös Pronto-aineisto Itä-Suomessa satuneista öljyvahingoksi tai vaarallisten aineiden onnettomuudeksi kirjatusta tapatumista. Vaarallisten aineiden maantiekuljetusten riskipaikkojen arvioinnin kannalta raskaan liikenteen onnettomuuksien aineisto on kuitenkin laajempi ja sen katsottiin tässä tapauksessa ilmentävän Pronto-aineistoa paremmin säiliöautojen kannalta riskialttiimpia tieosuuksia. VAK-onnettomuuksien riskien on todettu olevan hyvin samanlaisia muiden raskaan liikenteen onnettomuuksien kanssa (Vehmas ym. 2009, Länsivuori & Rätty 2015 mukaan).

Vesistöriskikohteet pisteytettiin kuljetusmäärän, onnettomuusmäärän sekä vesistön koon ja tieosuuden pituuden mukaan (taulukko 2). Pohjavesiriskikohteet analysoitiin valitsemalla kuljetusmäärä- ja reittiaineistosta pohjavesialueella sijaitsevat tieosuudet.

TAULUKKO 2. Vaarallisten aineiden maantie- ja rautatiekuljetusten vesistöriskien pisteytys.

Kuljetusmäärä (1000 t/vuosi)	Pisteytys
<50	1
50-300	3
≥300	5
Onnettomuusmäärä (raskaan liikenteen onnettomuudet, vain tiekuljetukset)	
1 kpl	1
2-3 kpl	3
>3 kpl	5
Vesistön koko ja tieosuuden pituus	
>50 km ² järvi tai >1km ² joki, tie-/rataosuuden pituus >500 m	3

Eniten vaarallisten aineiden maantiekuljetuksia Itä-Suomessa on 5-tiellä Mikkelin ja Siilinjärven välillä (lähes 400 tuhatta tonnia/vuosi) sekä Ristiinan ja Mikkelin välillä (tie 13, yli 300 tuhatta tonnia/vuosi). Myös 5-tiellä Heinola-Mikkeli-välillä, tiellä 15 Kouvola-Mäntyharjun kautta Mikkelin suuntaan ja 6-tiellä Kiteeltä Imatran suuntaan kuljetetaan vaarallisia aineita yli 200 tuhatta tonnia/vuosi (kuva 2).

Valtakunnallisesti eniten kuljetetaan luokan 3 palavia nesteitä mutta kuljetusluokkakohtaisessa jakautumisessa on paikallisia ja tiekohtaisia eroja. Esimerkiksi Pohjois-Savossa luokan 5.1 sytyttävästi vaikuttavia (hapettavia) aineita kuljetetaan yhtä paljon tai enemmän kuin luokan 3 palavia nesteitä lähes kaikilla merkittävimmillä tieosuuksilla. Myös luokan 8 syövyttäviä aineita kuljetetaan paljon. Etelä-Savossa Lappeenranta-Ristiina -välillä sekä Mikkelin-Kangasniemi -välillä valtaosa kuljetuksista on luokan 8 syövyttäviä aineita. Pohjois-Karjalassa 6-tiellä Imatralta Joensuuhun palavien nesteiden ohella kuljetetaan erityisesti luokan 8 syövyttäviä aineita. Kiteen eteläpuolella kuljetetaan myös luokan 6.1 myrkyllisiä aineita. Joensuusta Ylämyllyn suuntaan kuljetetaan lisäksi kaasuja. Joensuusta Nurmekseen ja Kajaanin suuntaan kuljetukset jakautuvat palavien nesteiden, luokan 5.1 hapettavien aineiden, luokan 2 kaasujen sekä luokan 9 muiden vaarallisten aineiden kesken.

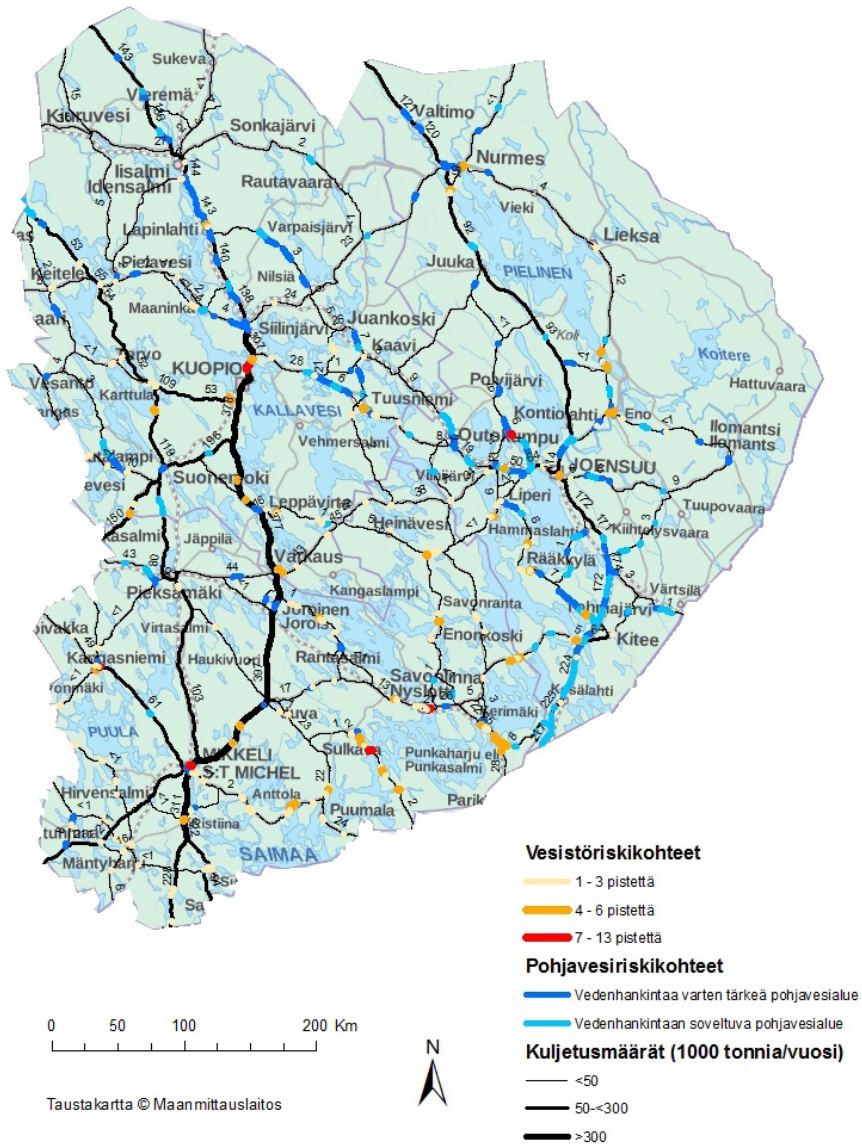
Myös kuljetusluokkakohtaisen tarkastelun epävarmuutena on, että aineisto perustuu mallinnukseen ja on jo suhteellisen vanha (vuodelta 2012). Lisäksi Trafian aineisto (Kumpulainen ym. 2013) aliarvioi 5-tien kuljetusmääriä, mutta 5-tietä koskevassa tarkemmassa selvityksessä (Rönkkö & Salanne) kuljetusluokkakohtaisia määriä ei ole annettu.

Eniten vesistöriskikohteita on Etelä-Savossa (139 kpl). Pohjois-Savossa riskianalyysin perusteella valikoituja kohteita oli 62 kpl ja Pohjois-Karjalassa 46 kpl. Pisteytyksen perusteella selvästi merkittävimäksi riskikohteeksi erottui Kallansillat Kuopiossa (13 pistettä). Muita merkittäviä riskikohteita olivat mm. Savilahden silta Mikkelissä (8 pistettä) sekä Kyrönsalmen silta Savonlinnassa, Vekaransalmen lossi Sulkavalla, Syvälahden silta Kangasniemellä ja Pitkäsenlahden sivuava tieosuus Joensuun ja Polvijärven välisellä tiellä (7 pistettä) (kuva 3).

Tämä pisteytyks on yksi arvio vesistön kannalta merkittävistä riskikohteista. Paikatietoanalyysiin perustuvassa pisteytyksessä ei pystytty arvottamaan esimerkiksi vesistön muotoa tai virtausten suuntaa ja voimakkuutta. Ympäristöriskin kannalta merkittävämpiä ovat ne kohteet, joissa on voimakas virtaus ja jotka eivät

sijaitse esimerkiksi kapeassa lahdessa, jossa öljyn puomittaminen ja kulkeutumisen rajoittaminen on helpompaa.

Pohjavesiriskikohteita on erityisesti Pohjois-Karjalassa, jossa Valtatie 6 kulkee Joensuun eteläpuolella pääosin pohjavesialueen päällä sekä Pohjois-Savossa, jossa Valtatie 5 kulkee Siilinjärven ja Iisalmen välissä lähes koko matkan pohjavesialueen päällä (kuva 2). Etelä-Savossa pohjavesiriskikohteita on suhteellisen vähän ja pohjavesialueen ylittävät tieosuudet ovat melko lyhyitä.



KUVA 3. Vaarallisten aineiden maantiekuljetusten kuljetusmäärät sekä vesistö- ja pohjavesiriskikohteet Itä-Suomen alueella.

Vaarallisten aineiden rautatiekuljetukset

Liikennevirasto tilastoi vaarallisten aineiden rautatiekuljetusmäärät vuosittain. Tarkempia kuljetusluokkakohtaisia tarkasteluja ei kuitenkaan tehdä joka vuosi.

Vaarallisten aineiden rautatiekuljetustiedot saatiin joulukuussa 2015 Liikennevirastosta. Kuljetustiedot vuodelta 2014 saatiin pdf-karttoina. Kuljetusreitti-kohtaiset tiedot koskivat vain kuljetusten yhteismääriä. Kuljetusluokkakohtaiset kartat olivat vuodelta 2011. Kuljetusmäärät vietiin pdf-kartoista Liikenneviraston avoimeen rataverkko-paikkatietoaineistoon.

Kuljetusmäärien lähtöaineistoon liittyy epätarkkuuksia. Esimerkiksi liikennepaikkoja ei ole tarkasti ilmoitettu eikä tehtaille/laitoksille meneviä raiteita ole merkitty kuljetusmäärien lähtöaineistoon.

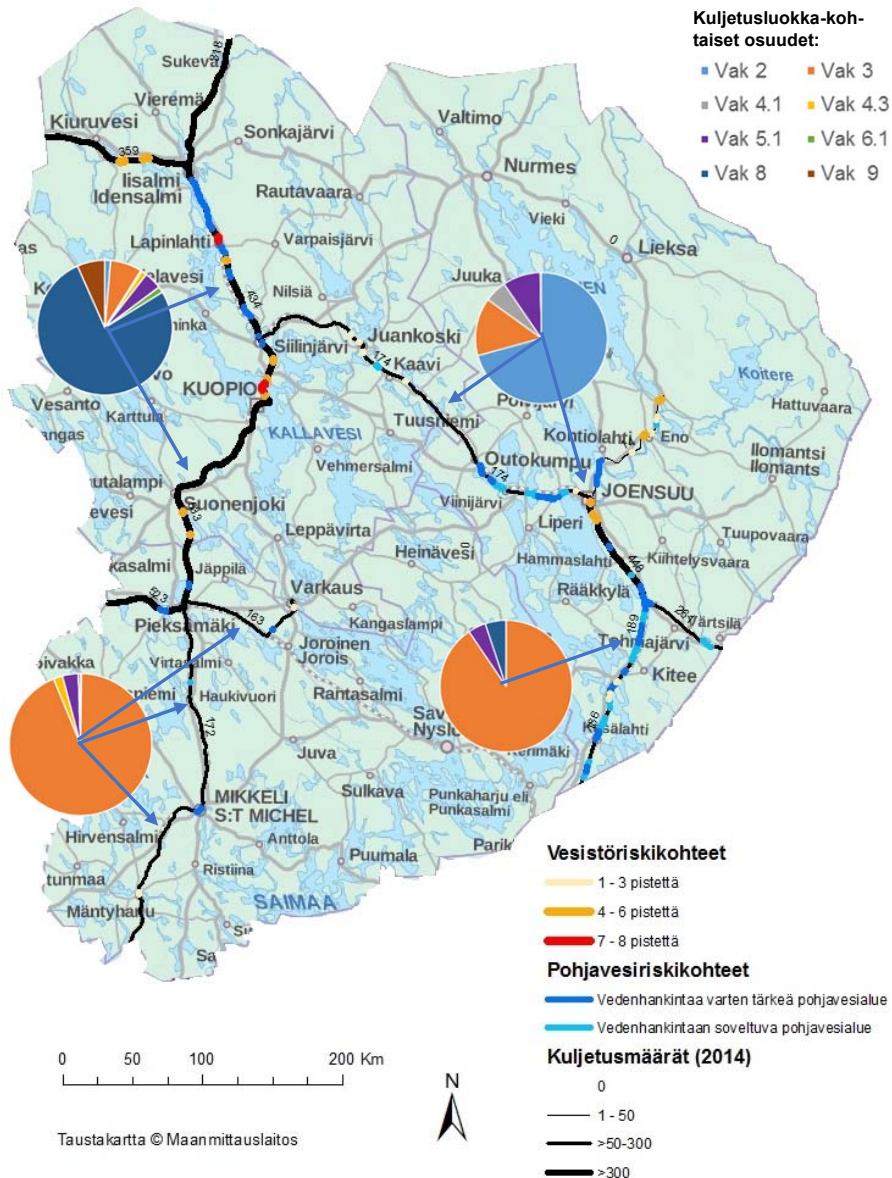
Vaarallisten aineiden rautatiekuljetusten kuljetusmääräaineistosta analysoitiin vesistö- ja pohjavesiriskikohteet samalla tavalla kuin maantiekuljetusten osalta (taulukko 2). Onnettomuudet ovat rautateillä harvinaisia ja yksittäisiä, joten onnettomuusmääriä ei huomioitu pisteytyksessä.

Eniten vaarallisten aineiden rautatiekuljetuksia on Pohjois-Savossa rataosuudella Pieksämäki-Kuopio-Siilinjärvi (yli 500 tuhatta tonnia/vuosi). Myös Siilinjärvi-Iisalmi ja Joensuu-Tikkala -väleillä kuljetetaan vaarallisia aineita yli 400 tuhatta tonnia/vuosi.

Etelä-Savossa yli 90 % kuljetuksista Kouvolasta Pieksämäelle ja Varkauteen on palavia nesteitä. Sen sijaan Jyväskylä-Kuopio-Iisalmi-Kajaani/Ylivieska -radoilla, joilla kokonaiskuljetusmäärä on Itä-Suomen suurin, valtaosa kuljetuksista on luokan 8 syövyttäviä aineita ja palavien nesteiden osuus on alle 10 %. Pohjois-Karjalassa Niiralan rajalta Siilinjärvelle kuljetetaan enimmäkseen luokan 2 kaasuja ja Joensuusta Uimaharjuun luokan 5.1 sytyttävästi vaikuttavia (hapatavia) aineita. Tikkalasta Imatran suuntaan kuljetetaan eniten palavia nesteitä. Kuljetusluokkakohtaiset tiedot perustuvat vuoden 2011 kuljetusmääriin, eli määrissä ja osuuksissa on voinut tapahtua muutoksia. Esimerkiksi Pohjois-Karjalassa Tikkalasta Imatran suuntaan kokonaiskuljetusmäärät ovat kasvaneet selvästi vuosien 2011 ja 2014 välillä.

Vesistöriskikohteita on Itä-Suomen rataosuuksilla suhteellisen vähän (39 kpl) verrattuna maanteiden vesistöriskikohteiden määrään. Rautatiekuljetusten

merkittävimmäksi riskikohteeksi erottui Kallansillat Kuopiossa, kuten maantiekuljetuksissakin. Muita merkittäviä riskikohteita on mm. Lapinlahdella, Siilinjärvellä, Joensuussa Pielisjoen ylittävällä sillalla sekä Joensuun eteläpuolella, jossa rata kulkee aivan Pyhäselän rannassa. Uimaharjun/Enon alueella on myös pitkiä rataosuuksia vesistön välittömässä läheisyydessä, vaikka kuljetusmäärät ovat pieniä (kuva 4).



KUVA 4. Vaarallisten aineiden rautatiekuljetusmäärät Itä-Suomessa vuonna 2014 sekä vesistö- ja pohjavesiriskikohteet.

Pohjavesiriskikohteita on samoilla alueilla kuin maantiekuljetustenkin osalta. Pohjois-Karjalassa rautatie kulkee pohjavesialueella erityisesti Tikkalan eteläpuolella, Joensuun ja Outokummun välillä sekä Joensuun ja Kontiolahden välillä. Pohjois-Savossa rautatie kulkee pohjavesialueen päällä Siilinjärven ja Iisalmen välissä.

Johtopäätökset

Maa-alueella sattuva öljyvahinko tai muu vaarallisen aineen vahinko on todennäköisempi kuin alusliikenteessä sattuva vahinko. Öljyvahinkoja sattuu vuosittain runsaasti, mutta yli 1000 litran vuotoja sattuu Itä-Suomessa keskimäärin vain 1–2 vuodessa. Pienikin vuoto voi kuitenkin aiheuttaa huomattavia vahinkoja ja kustannuksia. Kuopion alue ja Kallansillat nousivat vesistöriskitarkastelussa merkittävimpänä kohteena esiin sekä vaarallisten aineiden varastoinnin että maantie- ja rautatiekuljetusten osalta, mutta erityisesti maantiekuljetuksissa vesistöriskikohteita on lukemattomia. Riskianalyysi voidaan toteuttaa monella tavalla. Tehty riskitarkastelu auttaa toivottavasti myös jatkokehittämään analyysimenetelmiä.

Aineiston keräämisessä törmättiin haasteisiin, sillä sekä vaarallisten aineiden varastointiin että kuljetuksiin liittyvät aineistot ovat hajallaan eivätkä aina ajan tasalla. Tietojärjestelmien ja tiedon digitalisoinnin kehittäminen palvelisivat myös riskianalyysien tekoa ja onnettomuuksiin varautumista.

LÄHTEET

Häkkinen, A. 2015. Henkilökohtainen tiedonanto 22.6.2015. Johtava asiantuntija. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi.

Kallio, R. & Mäkelä, O. 2012. Vaarallisten aineiden kuljetukset tienpidossa ja toiminta onnettomuustilanteissa. Raportteja 40/2012. Pohjois-Savon Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.

Kumpulainen, A., Rynänen, E., Oja, L., Sorasahi, H., Raivio, T ja Gilbert, Y. 2013: Vaarallisten aineiden kuljetukset 2012. Trafín julkaisuja 20/2013. ISSN 1799-0157.

Leppälä, T. 2016. Säiliökuljetusten onnettomuusriskit tieluokittain. Selvitys Suomessa sattuneista säiliökuljetusonnettomuuksista. Opinnäytetyö. Logistiikka. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Joulukuu 2016.

Liikennevirasto 2016. Saatavissa:

http://www.liikennevirasto.fi/tilastot/tietilastot/liikenneonnettomuudet-maanteilla#.V_s7W-fmLSUk

Onnettomuustutkintakeskus 1999. C6/1999R Säiliövaunujen suistuminen kiskoilta ja palo Vainikkalassa 7.4.1999. Tutkintaselostus.

Onnettomuustutkintakeskus 2017. Raideliikenneonnettomuuksien tutkinta, Tutkintaselostukset vuosittain. Saatavissa: <http://www.turvallisuustutkinta.fi/fi/index/tutkintaselostukset/raideliikenneonnettomuuksientutkinta/tutkintaselostuksetvuosittain.html>. Viitattu 1.2.2017.

Räty, E. & Länsivuori, R. 2015. VAK-onnettomuudet 2004-2013. Liikenneonnettomuuksien tutkijalautakuntien tutkimat vaarallisten aineiden tiekuljetusonnettomuudet. Liikennevakuutuskeskus. Vakuutusyhtiöiden liikenneturvallisuustoimikunta VALT.

Rönkkö, S. & Salanne, I. (ei vuosilukua). Vaarallisten aineiden tiekuljetusreitit välillä Heino-la-Kuopio. Sito Oy. Pohjois-Savon ELY-keskuksen teettämä selvitys (ei julkinen).

Suomen virallinen tilasto (SVT): Tieliikenteen tavarankuljetukset (verkkojulkaisu). ISSN=1798-2995. 2015. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/kt-tav/2015/kttav_2015_2016-05-18_tie_001_fi.html. Viitattu: 17.1.2017.

Toivola, V. 2015. Saimaan syväväylän alueen alusöljy- ja aluskemikaalivahinkojen torjunnan yhteistoimintasuunnitelma. Raportteja 39/2015. Etelä-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.

Trafi 2017. Rautateiden turvallisuustavoitteiden seuranta, Q4/2016. Saatavissa: <http://katsaukset.trafi.fi/etusivu/rautatiet/rautateiden-turvallisuustavoitteiden-seuranta-q42016.html>. Viitattu 1.2.2017.

Tukes 2016. Yhteenvedot vuoden 2015 onnettomuustiedoista. Osa 5a Vaaralliset kemikaalit. Saatavissa: http://www.tukes.fi/Tiedostot/varoasiat/kalvosarjat%202015/VALMIS_2015_osa_%205_a_vaaralliset_kemikaalit2_notes.pdf

Tuomainen, J., Retkin, R., Knuutila, J., Pennanen, J., Mäenpää, M. & Särkkä, E. 2013. Ympäristövahingot Suomessa vuosina 2006-2012. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 35/2013.

ÖLJYVAHINKOSKENAARIOIDEN MALLINNUS SAIMAAN VESISTÖSSÄ

Jouni-Juhani Häkkinen

Tämä tutkimusartikkeli on tehty osana Mikkelin ja Kymenlaakson ammattikorkeakoulujen ÄLYKÖ-hanketta (Itä-Suomen maa-alueiden ja Saimaan vesistöalueen öljyn- ja vaarallisten aineiden varastoinnin ja kuljetusten ympäristöriskien älykäs minimointi ja torjunta), jossa tutkittiin ympäristöriskejä Saimaan vesistöalueella. Saimaan vesistöalueen ympäristövahinkojen ennakoimista varten kerättiin tietoja Saimaan syväväylän laivaonnettomuusriskeistä sekä maa-alueiden riskikohteista. Riskianalyyssissä havaituista kohonneen onnettomuusriskin alueista valittiin kuusi onnettomuuspaikkaa, joista viidessä tehtiin leviämismallinnus öljyn leviämisestä veteen. Mallinnettavien paikkojen valinnassa käytettiin apuna sekä alueen ympäristönsuojelussa toimivia viranomaisia että muita asiantuntijoita. Kuudes mallinnettava onnettomuuspaikka on maaöljyvahinko, josta on saatavana erillinen raportti. Tässä artikkelissa käsitellään vain vesistöalueelle tehtyjä alusöljyvahinkojen leviämismallinnuksia.

Suomen vesistöalueilla on tehty öljyn leviämismalleja mm. Suomen ympäristökeskuksen toimesta. Suomenlahden leviämismallinnuksista on saatavana julkinen raportti (Gästgifvars 2004). Tämän lisäksi öljyntorjuntaan kytkeytyneiden viranomaisten käytössä olevaan BORIS-järjestelmään on tuotettu leviämismalleja, joita ei ole julkisesti saatavilla. Saimaan alueen leviämismalleja BORIS-järjestelmässä on toistaiseksi vain vähän. Nämä mallit ovat Syken tuottamia, ja niissä on käytetty SpillMod- ja Seatrack Web-sovelluksia (Suomen ympäristökeskus). SpillMod on Sergei Ovsienkon kehittämä MapInfoon linkitetty sovellus (Fashchuk) ja Seatrack Web on Ruotsin ilmatieteen laitoksen SMHI:n kehittämä www-sovellus (SMHI). Seatrack Web on myös HELCOMin käyttämä malli (Jolma 2011).

ÄLYKÖ-hankkeen käyttöön valittiin USA:n liittovaltion meri- ja ilmakehän ympäristönsuojeluvirasto NOAA:n käyttämä GNOME-mallinnusohjelma. Ohjelman valinnan perusteena on sen maksuttomuus sekä mahdollisuus käyttää sitä tavalliselta toimistotyöasemalta.

GNOME-mallinnusohjelman toimintaperiaatteena on muodostaa annettujen lähtötietojen perusteella öljyn leviämismalli, joka esitetään pistepilvenä. Pistepilven pisteet kuvaavat annettujen parametrien mukaista öljymäärää. Yksi piste voi edustaa vaihtelevaa öljymassaa, esimerkiksi yhtä kiloa. Pisteiden kulkeutuminen tapahtuu ohjelmaan syötetyn karttapohjan, virtaustietojen sekä muiden parametrien mukaisesti laskettuna. Kaksiulotteisessa ympäristössä tapahtuvaa kulkeumaa mallinnetaan annettujen rajatietojen määrittämällä alueella, joten mikä tahansa rantaviivan rajoittama vesialue voidaan mallintaa. Ohjelma käyttää leviämislaskentaan Euler-Lagrange-tyyppistä laskentamallia (Langarian dispersion models) ja eroaa tältä osin esimerkiksi SpillModin käyttämästä hydrodynaamisesta mallinnustavasta (Hou & Hodges 2013). Hydrodynaamisella mallinnuksella käsitellään moniulotteisia veden virtaukseen liittyviä parametreja matemaattisina yhtälöryhminä. Hydrodynaamisen mallin avulla voidaan saada kulkeumapistelaskentaa tarkempia lopputuloksia, jos käytössä on suuri määrä tarkkoja virtaus- ja muita ympäristötietoja.

Mallinnuksen tavoite

Öljyn leviämismallinnusta voidaan käyttää joko öljyntorjuntaoperaation aikana suunnittelun ja johtamisen apuvälineenä tai ennalta valmisteluina simulaatiomalleina. Simulaatiomalleissa voidaan luoda useita erilaisia skenaarioita, joissa on mahdollista vaihdella ympäristön aiheuttamia kulkeumaan liittyviä parametreja (Drozdowski et al.). Tässä tutkimusartikkelissa esitetyt leviämismallit eivät suoraan ole sovellettavissa operaatiotilanteeseen, vaan ne ovat tarkoitettu öljypäästön aiheuttamien riskien arviointiin ennalta valituissa tilanteissa. Operatiiviset päätökset ovat aina kytköksissä kyseiseen tilanteeseen, käytössä oleviin resursseihin ja vallitseviin olosuhteisiin, joten ennalta määritettyjen mallien käyttö voi parhaimmillaankin toimia vain tilanteessa tehdyn kokonaisharkinnan tukena.

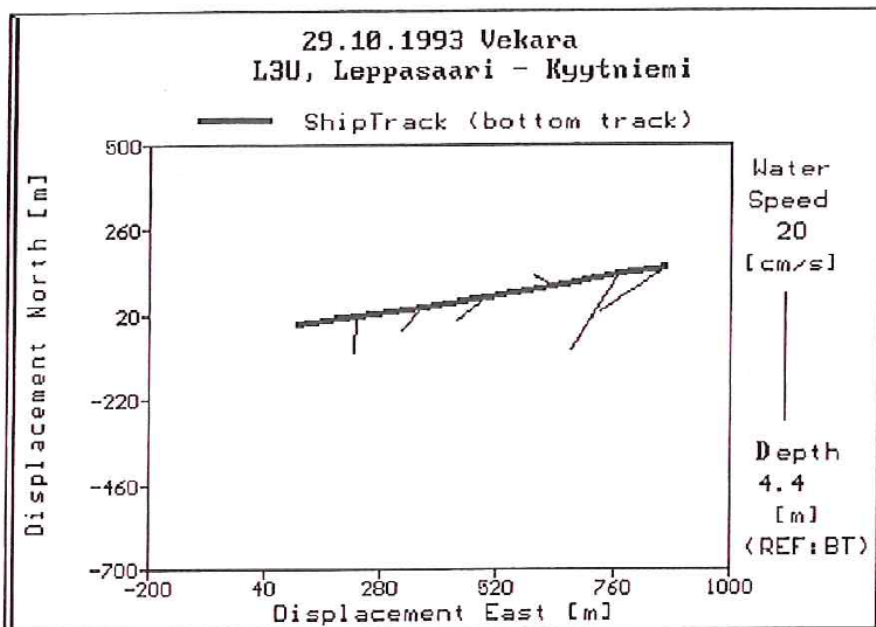
ÄLYKÖ-hankkeessa tehtyjen mallinnuksien toimintatapa oli luoda riskipaikalle sijoittuva kuvitteellinen ympäristöonnettomuusskenaario ja tutkia sen johdosta ympäristöön päässeen öljyn leviämistä. Öljyn leviäminen pyrittiin arvioimaan matemaattisen leviämismallinnusohjelmiston avulla. Leviämismallinnuksella pyrittiin

selvittämään öljyn kulkeutumisreittejä ja kulkeutumisnopeuksia. Mallinnuksessa pyrittiin myös selvittämään kulkeutumisetäisyyksiä sekä rannoille ajautuneen öljyn määriä. Tärkeitä tutkimuskysymyksiä olivat myös öljyn kulkeutumisen etäisin piste sekä erilaisten ympäristöolosuhteiden vaikutus kulkeutumiseen.

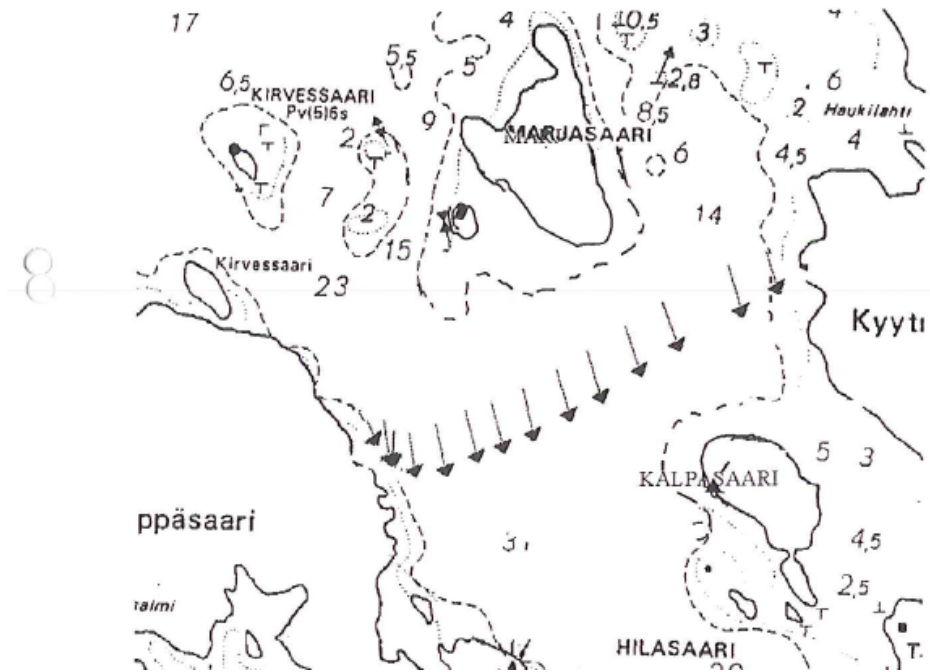
Mallinnuksessa käytetty lähdeaineisto

Pintavirtaukset ja virtausmäärät

Mallinnuksen tekemiseen oli käytettävissä Saimaan alueella tehtyjen pinta-virtausmittauksien raportteja 1990-luvulta. Mittaustiedot saatiin Etelä-Savon ELY-keskukselta paperimuodossa. Mittausraporttien tietolähteenä oli käytetty 1993, 1996 ja 1997 RV Muikun tekemiä pintavirtausmittauksista saatuja tuloksia, jotka oli jälkikäteen muutettu pintavirtausta kuvaaviksi vektorikuvauksiksi. Liitteessä 1 on esitetty saatavilla olleiden pintavirtausmittausten sijainnit kartalla. Näistä tiedoista käytettiin soveltuvat mittaustulokset. Kuvissa 1 ja 2 on esitetty alkuperäisestä paperimuotoisesta tulosteesta skannatut esimerkit edellä mainitusta mittaustiedosta.



KUVA 1. Esimerkki virtausmittauksen piirturikäyrästä 29.10.1993 (lähde Etelä-Savon ELY-keskus).



KUVA 2. Esimerkki mittausten perusteella tehdystä vektorikuvaajasta. Leppäsaari-Kyytniemi 29.10.1993 (lähde Etelä-Savon ELY-keskus).

Suomen ympäristökeskus ylläpitää www-palvelua, josta on saatavana Suomen järviolueiden virtaamatietoja. Virtaamatietoja on saatavana sekä reaaliaikaisesti että tilastomuodossa (Vesistöennusteet). Järviolueiden virtauksia on raportoitu myös Hydrologisissa vuosikirjoissa (Hydrologiset vuosikirjat). Virtaamat ovat tilavuusvirtauksia, jotka eivät suoranaisesti kuvaa pintavirtauksen suuntaa tai nopeutta. Paikallisten virtausmäärien yhdistäminen virtausalueen syvyystietoihin tuottaa virtausnopeuden likiarvon koko virtaaman poikkileikkauksen alueelta, mutta tämä ei anna tarkkaa tietoa pintavirtauksien ominaisuuksista. Virtaamatietoja on käytetty sovellettuna tietolähteenä tilanteissa, joissa muuta tietoa ei ole ollut saatavissa.

Edellä mainittujen lisäksi leviämismalleissa on hyödynnetty Savonlinnan Kyronsalmen pysyvää virtausmittausjärjestelmää (Luodedata), Suurjärviseminaarin aineistoa (Simola 2010), Pielisjoen koskikartoitusta (Rouvinen 2012), Vesirakennushallituksen julkaisua vuodelta 1976 sekä asiantuntijoilta saatuja lausuntoja ja aineistoja (Hietala 2015). Edellä mainituista tietolähteistä on käytetty virtausmäärä- ja virtausnopeustietoja mallinnuksessa käyttökelpoisilta ja muuten soveltuvilta osiltaan.

Tuulitiedot

Saimaan alueen tuulisuustiedot on saatu Suomen tuuliatlaksesta (Tuuliatlas) sekä Ilmatieteen laitoksen toimittamista sääasemien havainnoista (Siiskonen 2013). Tuulisuusarvoina on pääsääntöisesti käytetty mallinnettavan öljypäästön sijainnin läpi vuoden vallitsevaa tuulen nopeutta ja suuntaa. Tämä ei kaikilta osin vastaa todellista tilannetta, sillä tuuli on nopeasti muuttuva luonnonilmiö toisin kuin huomattavasti pysyvämpi veden virtaus (Hietala 2015). Joissakin mallinnettavissa sijainneissa tehty useita malleja erilaisilla tuulen arvoilla. Yksittäisessä mallinnuksessa on kuitenkin käytetty samaa tuulen suuntaa ja nopeutta koko mallin keston ajan.

Öljyn muuntautuminen vedessä eli säistyminen

Öljyn päästyä veteen se leviää ja kulkeutuu (ITOPFa; Fingas 2015). Tämän lisäksi öljy osittain haihtuu ja jäljelle jäänyt osuus muodostaa vedessä seoksen, jonka ominaisuudet poikkeavat alkuperäisen öljyn ominaisuuksista. Öljyn muuntumisen ilmiöitä on useita ja niitä kutsutaan yleisnimellä säistyminen. Öljyn säistymisen mekanismit ovat joki- ja järvivedessä erilaiset kuin merivedessä (Fingas). Osittain tämä johtuu veden suola- ja humuspitoisuudesta ja osittain meri- ja järvi-alueiden erilaisista ympäristöominaisuuksista, kuten tuulet, aaltoilu ja veden sekoittumistilanteet (Kulander 2004). Järvi- ja jokivesistöissä tapahtuvia säistymisen mekanismeja on tutkittu vain vähän (Vandermeulen & Hrudney 1984; EPA 1999) ja varsinkin kevyen polttoöljyn osalta tutkimustietoa tarvitaan vielä lisää.

Leviämismalleissa säistymisilmiöistä tärkein on haihtuminen. Haihtumisen arvioinnissa on käytetty pääasiassa GNOME-mallinnusohjelman omia laskelmia. Vertailutietoina on joissakin tapauksissa käytetty ADIOS2-ohjelman tietokannan avulla laskettuja haihtumiskäyriä (ADIOS).

Menetelmä ja mallinnuksessa käytetyt parametrit

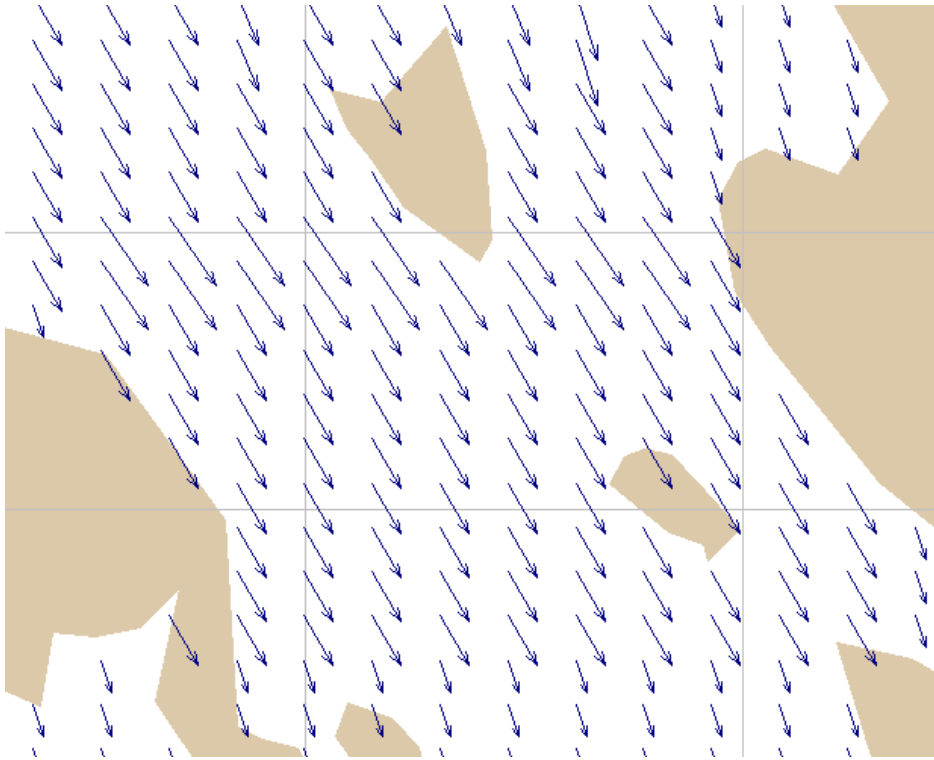
Mallinnusohjelma laskee öljypäästön kulkeuman mallissa asetettujen parametrien perusteella. Mallinnusohjelman keskeiset parametrit ja niiden syöttötapa on lueteltu alla.

Virtaustiedot

Leviämismallin tärkein parametri on veden virtaus. Veden pinnalla kelluvan öljyn tapauksessa kyseessä ovat pintavirtaukset (Evans 2002). Taustatietona on käytetty pintavirtausmittauksia 1990-luvulta sekä muita saatavissa olevia virtaustietoja edellä luetellun mukaisesti. Eri tietolähteistä kerätyistä tiedoista on johdettu todennäköisiä virtausmalleja, joiden on katsottu parhaiten kuvaavan varsinaisia luonnonolosuhteita. Olemassa olevat tiedot on pyritty kokoamaan mahdollisimman paljon alkuperäistä tietolähdettä noudattavaksi malliksi. Joissakin tapauksissa on kuitenkin jouduttu tekemään harkinnanvaraista tietojen sovittamista alkuperäistiedoissa olevien puutteiden ja ristiriitaisuuksien takia. Esimerkki ristiriitaisesta virtaustiedosta on liitteessä 2, jossa havaitaan pintavirtaustietojen suunnan lähes päinvastainen mittaustieto muutaman kuukauden välein suoritetuissa mittauksissa.

Virtaustieto voi olla joko ajan suhteen muuttuvaa (dynaamista) tai pysyvää (stationaarista). Tehdyissä mallinuksissa käsitellään vain ajan suhteen pysyvää virtausmallia eli stationaarista virtausta. Dynaamisen virtausmallin tekeminen on mahdollista, mutta sellaisen luominen vaatii usean peräkkäisen virtaustiedon liittämisen karttapohjaan. Dynaamiseen tai muutoin vaihtuvaa ympäristöä kuvaavaan verraten mutkikkaaseen malliin riittäviä mittaustietoja tai muita riittävän tarkkoja virtaustietoja ei kuitenkaan ole saatavilla. Dynaamisia virtausmalleja ei tässä selvityksessä ole tehty, mutta mikäli tulevaisuudessa saadaan tarkkoja pintavirtausmittaustietoja, voidaan ajan myötä muuttuvia ympäristöolosuhteita simuloimalla saada tarkempia leviämisenusteita.

Veden pintavirtaustieto käsittää sekä suunnan että voimakkuuden eli on luonteeltaan vektorisuure. Useita samassa tasossa olevia virtaustietoja yhdistämällä muodostuu suuntakenttä, joka sisältää virtausten vektorit. GNOME-mallinussohjelmassa virtaukset käsitellään kaksiulotteisina suuntakenttinä. Tällainen suuntakenttä on tässä yhteydessä pintavirtausten kuvaus. Pintavirtauskentän vektorit jaetaan tasaisin välein, jolloin tietoja käsitellään tasavälisenä suuntakenttähilana. Suuntakenttähilan esitys tapahtuu GNOME-mallinussohjelman omaan tiedostomuotoon. Tämä johtaa siihen, että tiedostoja ei voida luoda automaattisesti, vaan ne on editoitava itse. Kuvassa 3 on esitetty esimerkki virtauskenttien graafisesta esitysmuodosta GNOME-mallinussohjelmassa.



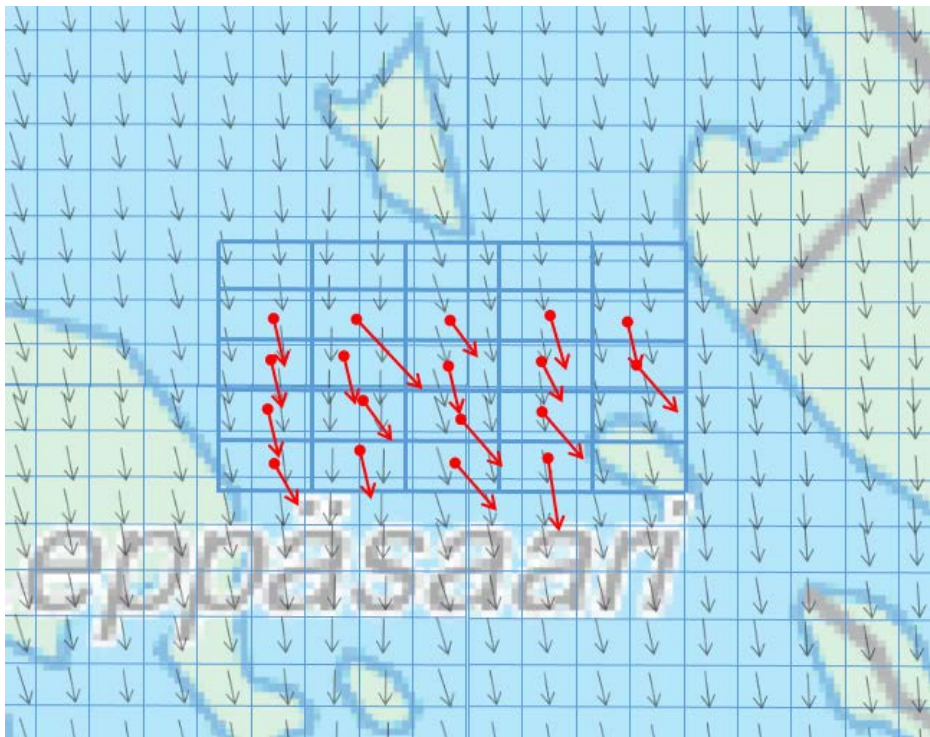
KUVA 3. Kuvissa 1 ja 2 esitetyn Vekaransalmen alapuolisen Leppäsaaren ja Kyytniemen välisen salmen virtausten muunnos GNOME-mallinnusohjelman käyttämään vektorimuotoon.

Jokaisesta mallinnettavasta alueesta tehtiin oma perusvirtaustiedosto. Joihinkin mallinnuskohteisiin tehtiin maantieteellisiä muotoja mukailevia virtauksia jo perusvirtaustiedostoihin, ja toisissa käytettiin erillisiä paikallisvirtaustiedostoja. Tämä johtui siitä, että joissakin mallinnuskohteissa voitiin luoda useamman virtausnopeuden käsittelymahdollisuus pelkästään perusvirtauksien kerrannaisilla. Toisissa mallinuksissa taas kerrannaisten käyttö johti tiettyjen salmien ja kapeikkojen kohdalla virheellisiin virtauksen suuntiin ja nopeuksiin.

Yhdessä perusvirtaustiedostossa Saimaan kohteissa on 120 x 130 kokoinen vektorihila, eli 15600 vektoritietoa (pintavirtaustietoalkiota). Näin suuren resoluution hila on jossakin määrin liian tarkka muiden parametrien epätarkkuuden takia. Valittujen dimensioiden avulla on kuitenkin joustavaa monistaa toimivaksi havaittua tiedostomuotoa, koska mallinnettavat kohdealueet olivat pääpiirteissään saman kokoisia. Mallinnuksen laskennassa pintavirtausalkioita käytössä on vain osa, sillä nelikulmainen vektorimatriisi kattaa koko kartta-alueen jolloin kartan alueella olevan maa-alueen tai ulkopuolisen vesialueen

vektorialkiot ovat luonnollisestikin turhia. Kovin suuren maantieteellisen alueen kattavan neliön muotoisen alkion käyttö vektorihiloissa vääristää suurten alkoiden nurkkiin sijoittuvia virtauksia, joten myös tämän takia oli perusteltua käyttää pieniä alkioita.

Perusvirtaustiedostojen lisäksi tehtiin jokaisella mallinnettavalle kohteelle useita tarkentavia virtaushiloja. Lopullinen virtaustieto on perusvirtaustiedoston ja tarkentavan virtaushilan yksinkertainen vektoryhteenlasku. Tarkentavissa virtaustietohiloissa on perusvirtaustiedoista poiketen tarkoituksenmukaista käyttää useita resoluutioita riippuen virtaustiedosta ja salmien, kapeikkojen yms. sijainnista. Kuvassa 4 on havainnollistettu päällekkäisiä vektorihiloja sekä niiden erilaisia resoluutioita. Kuvassa on Vekaransalmen mallin Leppäsaaren-Kyytsalon virtaustilanne kuten kuvissa 1, 2, ja 3 on esitetty. Kuvassa olevat perusvirtaushilassa maalle sijoittuvat vektoritiedot eivät ole mallin laskennan kannalta merkittäviä, mutta ne on esitetty kuvassa vektorihilan havainnollistamisen takia. Virtaustiedot syötetään GNOME-mallinnohjelmaa erillisinä tiedostoina.



KUVA 4. Teoreettinen havainnollistus perusvirtaushilan ja tarkentavan virtaushilan käytöstä. Peruvirtaus (mustat vektorit) ovat tarkemmalla resoluutiolla kuin paikallisvirtaushilat (punaiset vektorit).

Tuulisuustiedot

GNOME-mallinnusohjelmalle voidaan asettaa parametriksi tuulen suunta ja nopeus. Mallissa voidaan myös vaihdella tuulen ominaisuuksia mallinnuksen kestoajan kuluessa. Tässä tehdyissä mallinuksissa käytettiin kuitenkin koko mallin ajan kestäviä muuttumattomia tuuliominaisuuksia.

Mallinnuksien aikana havaittiin, että GNOME-mallinnusohjelma pyrkii jossakin määrin liioittelemaan tuulen vaikutusta öljyn kulkeutumaan eikä se myöskään ota huomioon rantojen muodostamaa katvetta. Tämä johtunee siitä, että ohjelma on alun perin luotu suuremmille vesialueille, joissa tuulen pyyhkäisy-matkat ovat tyypillisesti pidempiä. Saimaan olosuhteissa on paljon kapeita alueita, joissa tuuli ei pääse vaikuttamaan yhtä paljon kuin meri- ja rannikkoalueella. Metsien ja vaihtelevan rantaviivan takia tuuli on Saimaalla luoteeltaan myös jonkin verran enemmän turbulenttia. Tästä syystä mallinuksessa ei esitetä tuulen vaikutukselle yksiselitteistä numeerista arvoa, vaan kuvaavia malleja on pyritty löytämään tuulen suunnan ja suhteellisten voimakkuuksien avulla. Lopputuloksissa vain tuulen suunta on ilmoitettu vaihtelevana parametrina.

Tuuli aiheuttaa suurilla järviolueilla myös niin sanotun seiche- eli ominaisheilahteluilmion. Tämä tarkoittaa sitä, että pitkäkestoinen yhdensuuntainen tuuli puskee vettä järven toiseen laitaan, josta se tuulen suunnan muututtua tai tuulen lakattua pyrkii palautumaan takaisin tasapainotilaan. Saimaalla ilmiön vaikutus voi olla jopa 10–15 senttimetriä ja heilahtelu voi jatkua muutamia päiviä (Korhonen 2007; Järviwiki). Mallinuksessa ei ole huomioitu tätä ilmiötä, sillä ominaisheilahteluiden vaikutus kulkeutumiseen on todettu merkityksettömäksi. Heilahteluista johtuva liike on luonteeltaan edestakaista, vaikutukseltaan sekoitettavaa ja siten pysyvän siirtymisen, kuten vuorokautisen kulkeutumisen kannalta merkityksetöntä. (Seppälä 1986.)

Tuulitiedot syötetään GNOME-mallinnusohjelmalle valittavana parametrina ohjelman oman valintapaneelin kautta.

Öljypäästön määrä ja laatu

Öljypäästön laatu voidaan valita suppeasta joukosta vaihtoehtoja. Kaikki neljä alusöljyvahinkomallinnusta tehtiin käyttämällä laatuvalintana dieselöljyä ja yksi

maaöljyvahinko käyttämällä yleistä (generic) öljylaatua. GNOME-ohjelmassa mallinnettavien öljylaatujen vaihtoehdoissa ei ole raskasta polttoöljyä. Oletettavasti syynä tähän on se, että raskaan polttoöljyn vesiseoksessa polttoöljy painuu vettä lähellä olevan tiheydensä (Neste Oy 1987) ja suuren viskositeettinsa takia pinnan alapuolelle, eikä muodosta vastaavaa kelluvaa öljylauttaa kuin muut öljyalaadut.

Öljylle voidaan valita myös sen säästymisen vaihe (eli ”ikä”) vesistöön joutumisen hetkellä. Tätä mahdollisuutta on käytetty yhdessä maaöljyvahinkomallinnuksessa. Muissa malleissa öljy joutuu vesistöön suoraan säiliöstä eikä ole näin ollen päästöhetkellä säästynyttä.

Öljypäästötiedot syötetään GNOME-mallinnusohjelmalle valittavana parametrina. Öljypäästön laatu valitaan kiinteistä vaihtoehdoista ja määrä on vapaasti valittavissa. Määrän esitykseen on käytössä useita eri yksikkövaihtoehtoja. Tässä tehdyissä mallinuksissa öljypäästön määrä ilmoitettiin tonneina.

Diffuusiokerroin

Öljy leviää veden liikkeen vaikutuksesta myös muuhun kuin veden virtauksen pääsuuntaan. Pääasiassa tämä tapahtuu aaltoilun, Langmuir-virtausten (Tuomi 2014; McWilliams & Sullivan 2001) ja pintaveden lämpötilojen alueellisten vaihteluiden (Kuusisto 1978) aiheuttaman turbulenssin vaikutuksesta. Myös edellä kuvatun seiche-ilmion aiheuttama veden lämpötilakerrostumien sekoittuminen aiheuttaa veden kulkeutumista satunnaiseen suuntaan (Korhonen 2002). Näiden ilmiöiden vaikutusta öljyn leviämiseen kuvataan diffuusiokertoimeksi nimetyllä parametrilla*. Diffuusiokerroin on aaltoilun kautta voimakkaasti kytköksissä tuulen voimakkuuteen. Koska GNOME-mallinnusohjelman laskentatapa tuulen vaikutukselle on jossakin määrin järviolueelle sopimaton, saattaa myös diffuusiokertoimen yksinkertainen kytkentä pelkkään aaltoilun vaikutukseen johtaa vääristyneisiin lopputuloksiin. Tämän takia diffuusiokertoimen arvoille käytettiin tapauskohtaisesti sovitettuja arvoja sen sijaan että ne olisi johdettu suoraan tuulen ominaisuuksista. Diffuusiokertoimen arvot valittiin yleisesti ottaen verrattain korkeiksi, koska Saimaalla yleisen rikkonaisen rannanmuodon ja suurien syvyysvaihteluiden arveltiin tuottavan verrattain voimakasta turbulenssia.

* ”Diffuusiokerroin”- termillä on useita käyttötarkoituksia, mm. kuvaamaan öljyn ominaisuuksia. Termiä käytetään tässä yhteydessä yksinomaan kuvaamaan GNOME-mallinnusohjelman parametria.

Diffuusiokerroin syötetään GNOME-mallinnusohjelmalle valittavana parametrina. Arvo on kokonaisluku, jonka laskennallinen yksikkö on pinta-ala aikayksikköä kohden.

Uudelleenhuuhtoutumisaika

Öljypäästöä mallinnettaessa öljy ajautuu jossakin vaiheessa rantaan, josta se voi myös lähteä uudelleen liikkeelle. GNOME-mallinnusohjelmassa on tätä ilmiötä kuvaava parametri ilmoitettu aikana, jonka kuluessa puolet öljystä lähtee uudelleen liikkeelle. Uudelleenhuuhtoutumisajan yksikkönä käytetään tuntia. Tämä parametri on sama koko mallin kuvaamalle alueelle. Kuitenkin mallien maantieteellinen alue on laaja ja pitää sisällään useita eri rantatyyppisiä, joiden kyky sitoa öljyä on erilainen. Voidaan olettaa, että tyypillisessä Saimaan rannassa ei esiinny tilannetta, jossa aivan kaikki öljy huuhtoutuu pois vain tuntien kuluessa. Yksittäisissä kallio- tai muuten sileissä rantamuodostelmissa näinkin voi tietysti tapahtua.

Rannoilla on yleensä kasvillisuutta, hiekkaa ja humusta, joka sitoo öljyä. Tästä syystä malleissa on käytetty uudelleenhuuhtoutumisajalle verrattain suuria arvoja, tyypillisesti 48 tuntia tai enemmän. Perusteena pitkän uudelleenhuuhtoutumisajan käytölle on myös se, että mallinnettavassa tilanteessa todellisuudessa rantoihin ajautuneen öljyn puhdistus on todennäköisesti jo mallin kestoajan puitteissa aloitettu.

Uudelleenhuuhtoutumisaika syötetään GNOME-mallinnusohjelmalle valittavana parametrina, jonka muoto on kokonaislukuna esitetty tunti.

Öljypäästön alku- ja loppuajankohta

Öljypäästön alkuajankohta on sama kuin mallin alkuajankohta. Öljypäästön kesto-aika vaihtelee mallista riippuen ja on 2–10 tuntia. Ajankohtatiedot syötetään GNOME-mallinnusohjelmalle valittavana parametrina. Parametrin muoto on päivämäärä ja kellonaika.

Öljypäästön sijainti

GNOME-mallinnusohjelmalle voidaan antaa parametrina joko paikallaan pysyvä pistemäinen tai ajan myötä liikkuva viivamainen öljypäästön lähde. Jälkimmäisen avulla voidaan kuvata liikkuvasta laivasta vuotava öljyä. Tässä esitetyissä malleissa on käytetty paikallaan pysyvää öljypäästön lähdettä. Öljypäästötiedot syötetään paikallaan pysyvän öljypäästön tapauksessa GNOME-mallinnusohjelmalle koordinaattiparina.

Mallin kesto aika ja aika-askel

Mallin kesto aika syötetään valittavana parametrina, jonka yksikkö on tunti. Tässä esitettävien mallien kesto aika on 48 tuntia ja esitettävien mallien eteneminen lasketaan yhden tunnin tarkkuudella.

Mallin öljypisteiden määrä.

Mallin laskentatarkkuus riippuu erillisten laskentapisteiden määrästä. Maksimimäärä GNOME-mallinnusohjelmassa on 10 000 laskentapistettä. Kaikissa tässä esitettävissä malleissa maksimimääränä käytetään tätä pisteiden maksimimäärää.

Mallinnuksessa käytetyt pohjakartat

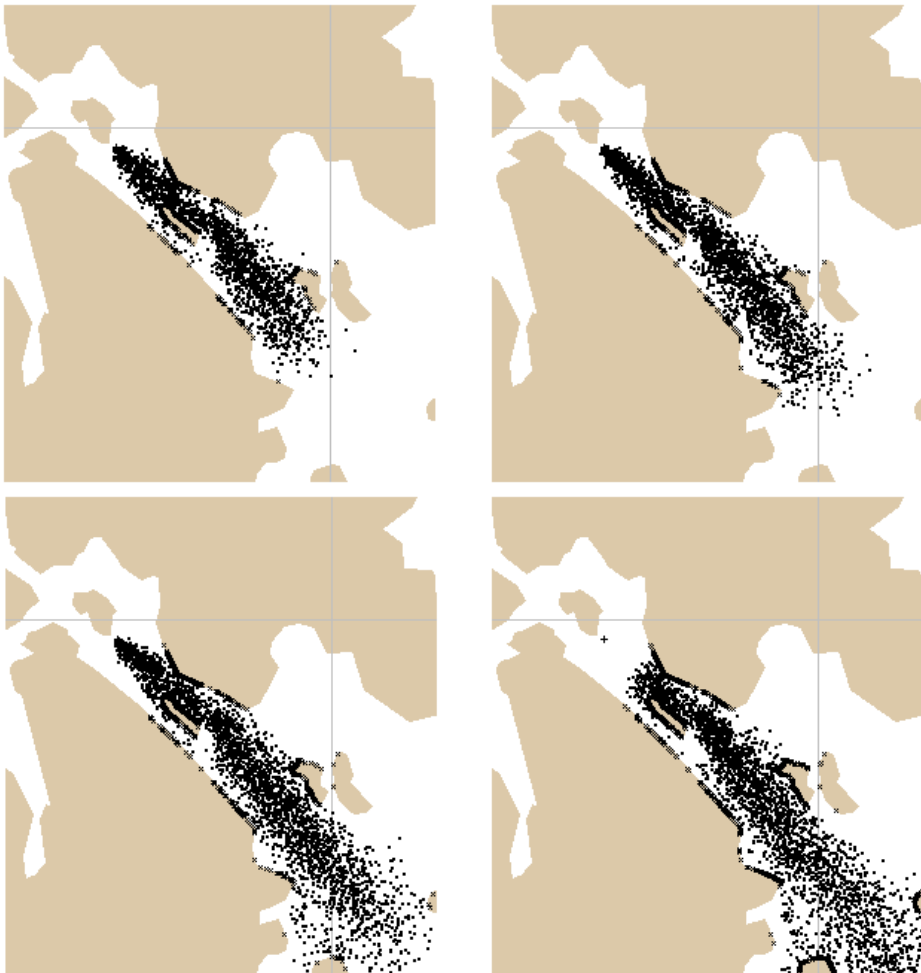
GNOME-mallinnusohjelmassa voidaan käyttää maailman rannikoista saatavana olevia karttapohjia GOODS-palvelun kautta (GNOME). Valitettavasti palvelussa ei ole käyttökelpoisia Suomen sisävesien karttoja. Tästä syystä mallinnettävien alueiden maa- ja vesirajat tuotettiin erikseen QGIS-ohjelmaa käyttäen ja tallennettiin GNOME-ohjelman käyttämään Atlas BNA -formaattiin (NOAA 2012). Formaatti on verraten yksinkertainen, mutta käytössä ollut QGIS-ohjelmisto ei pystynyt tekemään suoraa konversiota julkisesti saatavilla olevista kartta-aineistoista. Tämän takia kartat oli suurelta osin piirrettävä itse. Karttapohjien koordinaattijärjestelmänä on WGS 84.

Pohjakartta erottelee vain kaksi komponenttia. Nämä ovat vesi ja maa-alue. Öljypäästö leviää vedessä virtausten ja muiden parametrien määräämään suuntaan, kunnes se kohtaa maa-alueen ja rantautuu.

Pohjakartta syötetään GNOME-mallinnusohjelmalle erillisenä tiedostona. Jokaisella mallilla on kerrallaan yksi karttapohja.

Mallinnuksessa saatavien tulosten käsittely

Mallinnusohjelma tuottaa öljyn kulkeumasta jo laskennan aikana havainnollisen animaation, josta voidaan arvioida öljyn kulkeutumisen pääpiirteet. Tämä animaatio on tallennettavissa myös Quicktime-muotoisena tiedostona. Kuvassa 5 esitetään ruutukaappauksia animaation etenemistä. Varsinaiseen öljykulkeuman analyysiin tämä tieto on kuitenkin liian karkealla tasolla.



KUVA 5. GNOME-mallinnusohjelman esittämä öljyn leviäminen.

Leviämismallin tietojen tiedostomuoto

GNOME-mallinnusohjelma antaa mahdollisuuden tallettaa öljykulkeuman paikkatiedot erillisinä tiedostoina, jotka edustavat leviämistilannetta valitun aikasarjan kullakin ajanhetkellä. Tiedostojen tallennusmuoto on GNOME-mallinnusohjelman oma eikä se ole suoraan avattavissa muilla ohjelmilla. Paikkatiedot voidaan kuitenkin poimia ja muuntaa yleisempään malliin käyttämällä yksinkertaista suodatusta. Tämän voi tehdä esimerkiksi Microsoft Excel-taulukkolaskentaohjelmalla.

Tässä esitetyissä malleissa leviämismalli muodostuu GNOME-mallinnusohjelman tuottamista tiedostosta, joista ensimmäinen sisältää päästöpaikan koordinaatit ja muissa on varsinainen tietosisältö. Paikkatiedostoja muodostuu valitun aika-askleen ja mallin kestoajan mukaisesti; tässä käytetyssä 48 tunnin mallin kestoajassa tiedostojen lukumäärä on siis 49 kappaletta. Yhdistämällä tuntikohtaiset yksittäiset paikkatietotiedostot voidaan koostaa yksi taulukkomuotoinen tiedosto. Yksittäisessä tuntikohtaisessa paikkatietotiedostossa on enimmillään kymmenen tuhatta aikaleimalla varustettua pistettä ja koostetiedostossa tämän mukaisesti maksimissaan 480 000 pistettä. Koostetiedosto on yksittäinen tiedosto, joka on suuresta koostaan ja tietosisällöstään huolimatta rakenteeltaan yksinkertainen ja helposti käsiteltävissä. Koostetiedosto on sijoitettavissa karttänäkymään millä tahansa paikkatieto-ohjelmalla. Taulukkomuotoista koostetiedostoa voi käsitellä myös tietokanta- tai taulukkolaskentaohjelmilla.

Paikkatietojen tiedostot koko mallin ajalta muodostavat valitun aika-askleen (yksi tunti) mukaisesti kuvatun pistejoukon, jossa jokaisella öljyn sijaintipisteellä on X ja Y-koordinaatit sekä aikaleima. Alla olevassa taulukossa 1 on esitetty paikkatietotiedoston rakenne. Tällainen esitysmuoto mahdollistaa suuren joukon erilaisia paikkatietoon perustuvia analyysyjä. Tässä artikkelissa on esitetty esimerkkejä paikkatietoanalyyseistä mallinnustulosten yhteydessä.

TAULUKKO 1. Esimerkki leviämismallin rakenteesta.

XX	YY	Tuntia	Aika
27.72467	62.92267	0	2015-05-25 00:00
27.72423	62.92249	1	2015-05-25 01:00
27.72418	62.92106	1	2015-05-25 01:00
27.72398	62.92234	1	2015-05-25 01:00
27.72371	62.92223	1	2015-05-25 01:00
27.72619	62.92049	1	2015-05-25 01:00
27.72676	62.92189	1	2015-05-25 01:00
27.72483	62.92009	1	2015-05-25 01:00
...
...
27.72898	62.90091	48	2015-05-27 00:00
27.72854	62.892091	48	00:00

Leviämismallinnuksen käsittely paikkatieto-ohjelmistolla

Leviämismallin paikkatietotiedostot voidaan avata käyttämällä paikkatieto-ohjelmistoa. Yleisesti käytössä olevia paikkatieto-ohjelmistoja ovat ArcGis, MapInfo ja Quantum Gis (eli Qgis). Tässä työssä käytettiin maksutonta Qgis-ohjelmistoa.

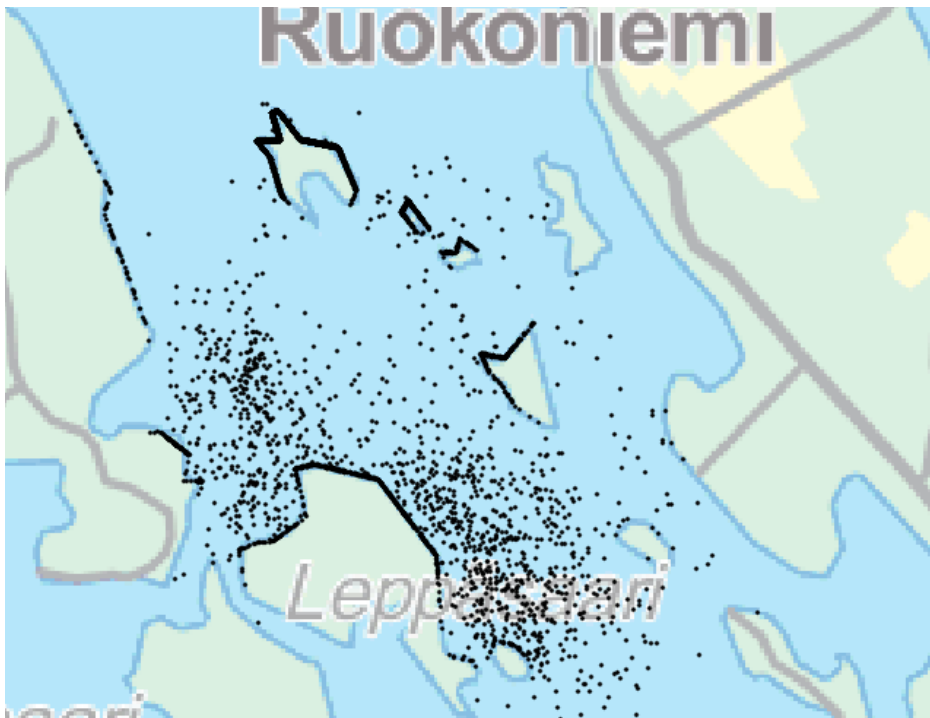
Qgis-ohjelmaan ladattiin Maanmittauslaitoksen avoimien aineiston karttapalvelusta saatavia karttapohjia ja ilmakuvia (Avoimien aineistojen tiedostopalvelu), Liikenneviraston väyläkarttoja ja muita aineistoja (Liikenneviraston katselu- ja latauspalvelu) sekä Saimaan alueen vesistö- ja maa-alueiden karttoja ja muita paikkatietoja, jotka oli ladattu Tieteen tietotekniikan keskuksen ylläpitämästä Paltuli spatial data – palvelusta (PalTuli).

GNOME-mallinnusohjelmalla tuotetut, Excel-ohjelmalla käsitellyt ja CSV-tiedostomuotoon tallennetut paikkatietotiedostot avattiin Qgis-ohjelmalla ja sijoitettiin kyseisen maantieteellisen alueen karttapohjalle. Nämä muunnetut paikkatietotiedostot ovat varsin suurikokoisia tiedostoja, joten niiden käsittelyssä ilmeni hitautta. Yhdessä 48 tunnin mallisarjan tiedostossa oli tyypillisesti

satojen tuhansien yksittäisen pisteen tiedot, ja satunnaiset käsittelyvirheet saattoivat estää tiedoston lataamisen Qgis-ohjelmaan. Muilla paikkatieto-ohjelmilla aineiston käsittely voi olla sujuvampaa.

Kuvassa 6 on esitetty kuvakaappaus Qgis-karttaohjelman avulla tuotetusta leviämismallin kuvauksesta. Leviämismallit voidaan sijoittaa myös esimerkiksi ilma-kuvaan tai muuhun paikkatietoa hyödyntävään ohjelmistoon.

Qgis-karttaohjelmalla on mahdollisuus tuottaa kuvasarjoja tai animaatiojaksuja aikaindeksoiduista karttatasotiedostoista. Tähän on käytössä erillinen liitännäisohjelma Timemanager (QGIS Python Plugins Repository). Tässä artikkelissa esitetyt Qgis-ohjelman kuvakaappaukset ovat pääosin peräisin animaatioliitännäisen tuottamista kuvasarjoista. Kuvakaappauksissa olevat öljyn mallinnuspisteet ovat havainnollisuuden takia voimakkaasti liioiteltuja.



KUVA 6. Esimerkki Qgis-karttaohjelmaan syötetystä leviämismallista.

Mallinnuskohteet

ÄLYKÖ-hanke kohdistuu kolmeen eri maakuntaan, jotka ovat Pohjois-Savo, Etelä-Savo sekä Pohjois-Karjala. Saimaan syväväylä kulkee näiden lisäksi myös Etelä-Karjalan maakunnassa, jossa sijaitsee myös Saimaan kanava. Hanke sisällytti Etelä-Karjalan maakunnassa kulkevan syväväylän osuuden hankkeessa tehtyihin riskianalyysiin, mutta skenaariomallinnuksia Etelä-Karjalan maakuntaan ei tehty.

Hankkeessa pääosa mallinuksista kuvasi alusjonnettomuuden seurauksena vesistöön päässeen öljyn leviämistä. Alusöljyvahinkomallinnuksia tehtiin kolme. Tämän lisäksi mallinnettiin yhden teollisuuskohteen sekä yhden öljyvaraston kuvitteellisessa onnettomuustapauksessa veteen päässeen öljyn kulkeutumista. Mallinnettavat kohteet valittiin hankkeen järjestämässä asiantuntijatyöpajassa, johon hankkeen ohjausryhmä lisäsi vielä joitakin mallinnuskohteita. Kuten edellä on mainittu, on hankkeessa tehty myös maalle sijoittuva kuudes mallinnus, jota tässä artikkelissa ei käsitellä. Myös teollisuuslaitosten mallinnustulokset jäävät tämän artikkelin ulkopuolelle.

Alusöljyvahinkojen mallinnuskohteista kaksi sijoittuu Saimaan syväväylän tunnetuille riskialueille (Soininen et al. 2015). Riskialue on tyypillisesti salmi tai kapeikko, jossa on voimakas virtaus. Kolmas mallinnettava paikka eroaa muista siinä, että se ei ole tällä hetkellä syväväylän laivaliikenteen käyttämä reitti. Tämä mallinnettava paikka sijoittuu lähitulevaisuudessa kauppamerenkululle avattavan uuden Laitaatsalmen syväväylän linjauksen varrelle. Tavoitteena on tässä tapauksessa tehdä ennakoiva mallinnus. Tämän hetken tietojen perusteella väylä avataan liikenteelle vuonna 2019 (Sanomalehti Itä-Savo 2016).

Alla on esitetty keskeiset skenaariokohtaiset lähtötiedot. Osa lähtötiedoista on valittu skenaarion tavoitteen perusteella ja osa lähtötiedoista on johdettu ympäristöä mahdollisimman hyvin kuvaavista parametreista. Liitteessä 3 on koostettu laivaonnettomuusskenaarioiden lähtötietoja.

Vekaransalmi, Sulkava - Öljypäästö alusjonnettomuuden seurauksena.

Skenaariossa pohjoisesta Vekaransalmeen tullut rahtialus menettää ohjailukykyä, jolloin Vekaransalmen jälkeinen käänös menee pitkäksi ja alus ajautuu

väylältä. Alus ajautuu kylki edellä kivikkoon ja saa palle- ja pohjavaurioita. Laivalla ei tapahdu henkilövahinkoja eikä se ole uppoamisvaarassa, mutta aluksen havaitaan vuotavan öljyä. Tapahtumapaikka on Vekaransalmelta noin 500 metriä länsilounaaseen kuvan 7 mukaisesti.

Skenaario on sijoitettu riskianalyysin perusteella valittuun todennäköiseen onnettomuusajankohtaan ja -paikkaan. Saimaan syväväylä kulkee Vekaransalmessa Sulkavalla kapeassa ja voimakkaasti virtaavassa salmessa. Vekaransalmessa on raportoitu suhteellisen paljon laivaonnettomuuksia. Salmen yli kulkee lossi. Mallinnuksessa on käytetty välittömästi Vekaransalmen eteläpuolisen vesialueen virtaustietona enimmillään 35 cm/s pintavirtausta. Säviönvirran suulla on käytetty pintavirtausnopeuden arvona enimmillään 23 cm/s.

Marraskuun loppupuoli on onnettomuustilastoissa jossakin määrin korostunut ajankohta, kuten on myös yöaika kello yhden tienoilla. Mallinnuksen alkamisajankohdaksi on tällä perusteella valittu 25.11. klo 01.00.

Skenaariossa öljyvuoto alkaa välittömästi onnettomuuden tapahduttua ja se jatkuu yhteensä kahdeksan tunnin ajan. Vuoto tapahtuu aluksen polttoainetankeista. Vuotava öljy on kevyttä polttoöljyä eli dieselöljyä. Vuodon aikana öljyä pääsee vesistöön 10 tonnia.



KUVA 7. Vekaransalmen skenaarion alkutilanne.

Konnuksen kanava, Leppävirta - Öljypäästö alusonnettomuuden seurauksena.

Skenaariossa tapahtuu öljyvuoto tilanteessa, jossa etelään matkalla oleva alus saa ohjausvirheen vuoksi vakavan kosketuksen Ukkoon eli uittopaaluun Konnuksen kanavan jälkeen, noin 200 metriä kanavan suulta länteen kuvan 8 mukaisesti. Alus pysähtyy ja jää väylälle. Voimakas virtaus painaa alusta edelleen, kylki repeytyy ja kyljen polttoainesäiliöistä alkaa vuotaa voimakkaasti öljyä. Laivalla ei tapahdu henkilövahinkoja eikä se ole uppoamisvaarassa.

Tapahtuman ajankohta on 1.5. klo 05.00. Paikka ja ajankohta on valittu voimakkaiden virtausten perusteella, kevätvirtausten ollessa voimakkaimmillaan. Onnettomuuspaikan virtaus on mallinnettu enimmillään arvolla 45 cm/s ja pienimmillään arvolla 23 cm/s.

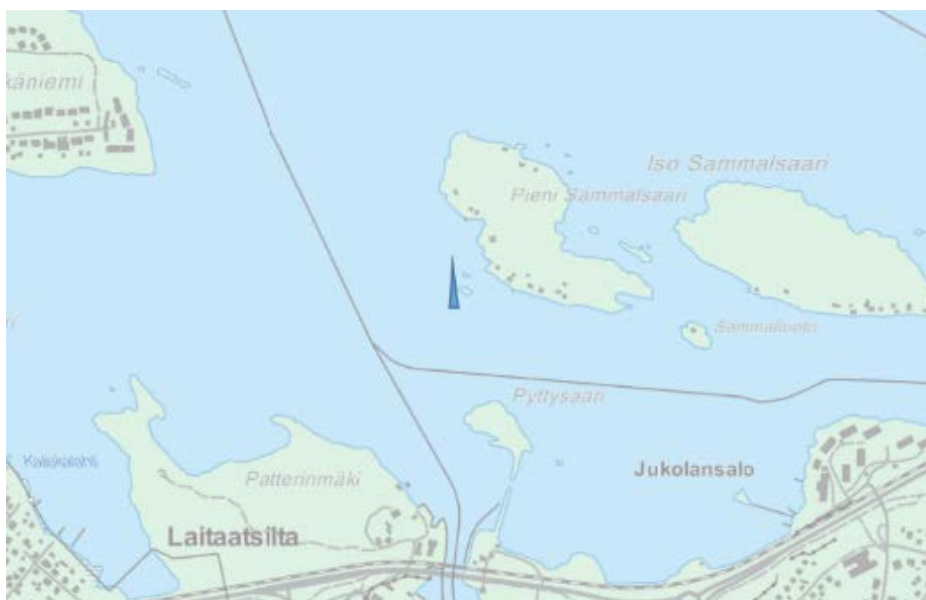
Skenariossa öljyvuoto alkaa välittömästi onnettomuuden tapahduttua ja se jatkuu yhteensä kuuden tunnin ajan. Vuoto tapahtuu laivan polttoainetankeista ja vuotava öljy on kevyttä polttoöljyä. Vuodon aikana öljyä pääsee vesistöön 10 tonnia.



KUVA 8. Konnuksen kanavan skenaarion alkutilanne.

Laitaatsalmen syväväylä, Savonlinna - Öljypäästö alusonnettomuuden seurauksena.

Skenaariossa Savonlinnan uuden syväväylän linjausta (Liikennevirasto) kulkeva rahtialus saa öljyvuodon karilleajon seurauksena. Pohjoiseen päin matkalla alus oleva kulkee Laitaatsalmen sillan jälkeen väylän mutkaan, ajautuu ohjausvirheen seurauksena matalikolle ja pysähtyy. Tapahtumapaikka on Laitaatsalmen sillasta noin 600 metriä pohjoiseen Pienen Sammalsaaren edustalla (katso kuva 9). Aluksen pohja ja kylki saavat repeämän kiviin. Laivalla ei tapahdu henkilövahinkoja eikä se ole uppoamisvaarassa. Öljyvuoto on voimakasta.



KUVA 9. Savonlinnan Laitaatsalmen skenaarion alkutilanne.

Skenaarion ajankohta on valittu melko voimakkaiden virtausten sekä kesällä runsaan laivaliikenteen tilanteeseen. Laitaatsalmen pintavirtauksen maksiminopeutena mallinnuksessa on käytetty arvoa 25 cm/s.

Tapahtuman ajankohta on 23.7. noin klo 01.00. Skenaarissa öljyvuoto alkaa välittömästi onnettomuuden tapahtuttua ja se jatkuu yhteensä kahdeksan tunnin ajan. Vuoto tapahtuu laivan polttoainetankeista. Vuotava öljy on kevyttä polttoöljyä. Vuodon aikana öljyä pääsee vesistöön 10 tonnia.

Mallinnuksen tuloksia

Jokaisesta mallinnuskohteesta tehtiin mallinnettavan tilanteen mukainen perusmalli. Perusmallien lisäksi, muutamia keskeisiä parametreja vaihtelemalla tehtiin tarkentavia malleja, joiden avulla pyrittiin hahmottamaan mm. virtausnopeuden ja tuulen vaikutusta. Mallinnuksen tuloksina saatiin yhteensä 20 erilaista kulkeumamallia. Saman alueen eri mallien välillä pyrittiin löytämään merkitseviä eroja ja mallikohtaisesti vaihdeltiin eri parametreja. Esimerkiksi Konnuksen kanavan tapauksessa virtausnopeus vaikuttaa leviämiseen, mutta tuuli vain vähän.

Mallinnuksien kartta-alueilla virtausnopeudet vaihtelevat 4-50 cm/s ja yksittäisessä mallissa on useita virtausnopeusvyöhykkeitä. Alla olevassa luettelossa ei tästä syystä esitetä virtausten tarkkoja numeroarvoja. Tuulen absoluuttisen voimakkuuden lukuarvot on myös jätetty pois luvussa ”Tuulisuustiedot” esitetyillä perusteilla.

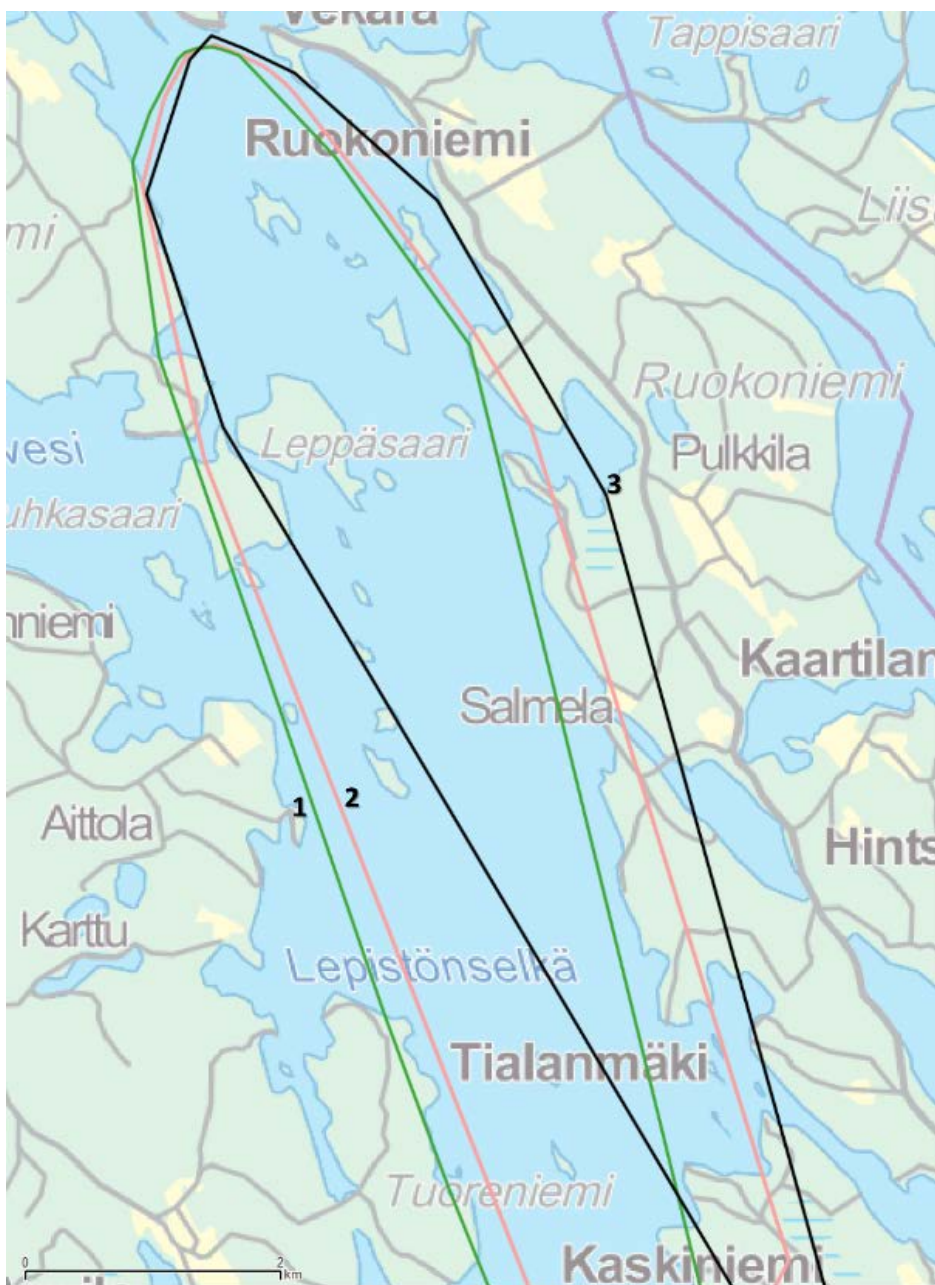
Alla on lueteltu otsikkotason kuvaus malleista.

- a) Vekaransalmi, Sulkava
 - 1. Perustilanne, ei tuulta
 - 2. Itätuuli
 - 3. Länsituuli
- b) Konnuksen kanava, Leppävirta
 - 1. Perustilanne, voimakas virtaus
 - 2. Heikko virtaus
 - 3. Heikko virtaus ja länsituuli
- c) Laitaatsalmi, Savonlinna
 - 1. Perustilanne, ei tuulta
 - 2. Länsituuli
 - 3. Itätuuli
 - 4. Etelätuuli

Mallinnuksen tuloksena saadut tiedot on toimitettu Suomen ympäristökeskukseen, jonka toimesta mallit liitetään BORIS-järjestelmään. Tässä kappaleessa esitetään kuvakaappauksia yksinkertaistetuista leviämismalleista. Tässä artikkelissa esitetyillä kuvauksilla ei pyritä esittämään mallinnuksen täydellisiä lopputuloksia, vaan tämän esitystavan on tarkoitus havainnollistaa mallinnuksen ja analyysin mahdollisuuksia. Tästä syystä leviämistiedot on esitetty eri skenaarioissa erityyppisinä kuvauksina. Jokaisesta skenaarioista voidaan muodostaa kaikilla tässä esitetyillä mallinnus- ja analyysitavoilla esitetyjä kuvauksia. Tässä esitetyt leviämismallien esimerkit on pääosin muodostettu alkuperäisen leviämismallin pistepilvestä konveksianalyysin, paikkatietoanalyysin tai yksinkertaisen kuvakaappauksen avulla. Esimerkeissä on myös käytetty erilaisia karttapohjia ja ilmakuvia.

Vekaransalmi, Sulkava

Mallinnuksen tuloksena saatiin yhteensä kolme leviämismallia. Perustilanteen lisäksi havaittiin, että itä-länsi-suuntainen tuuli kuljettaa öljykulkeumaa niin, että sen rantautumispaikka voi vastaavasti vaihdella joka itä- tai länsipuolisiin rantoihin. Alla olevassa kuvassa 10 on kuvattu kolmen eri leviämismallin konveksipeitteen ääriviivat mallin lopussa eli 48 tunnin leviämistilanteessa. Kuvassa ääriviiva 1: itätuuli, ääriviiva 2: ei tuulta, ääriviiva 3: länsituuli.



KUVA 10. Vekaransalmen leviämismallin lopputilanne kolmessa eri mallinnustilanteessa. Ääriiviiva 1: itätuuli, ääriiviiva 2: ei tuulta, ääriiviiva 3: länsituuli.

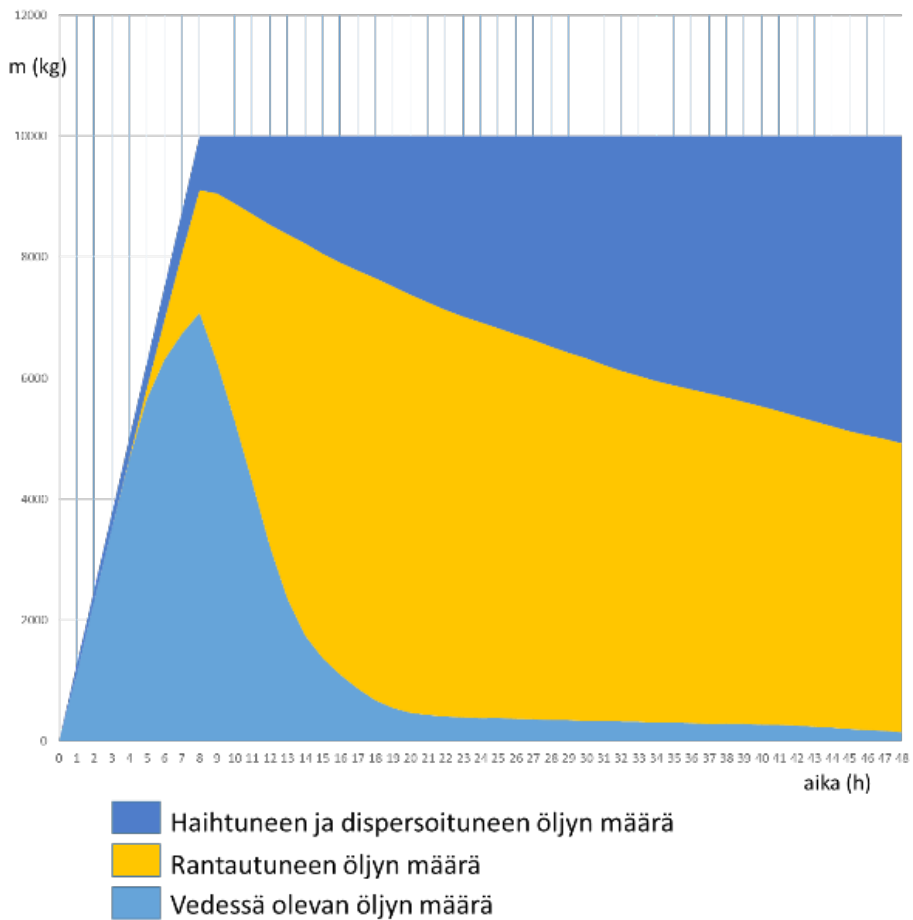
Leviämismallien tuloksia voidaan yhdistää myös muuhun paikkatietoon. Kuvassa 11 on yhdistetty Vekaransalmen leviämismallin tietoja samalta alueelta otettuun ilmapokuvaan, johon lisätty alueen tiet leveystietoineen. Rannan läheisyydessä (alle 50 metriä) olevat tie on korostettu punaisella. Tämän tyyppisiä karttahavainnollistuksia voidaan käyttää öljyntorjunnan suunnittelussa.



KUVA 11. Vekaransalmen alueelta muodostettu yhdistelmäkuva, jossa öljyn leviämispisteet valkoisella, Saimaan syväväylä keltaisena viivana sekä alueen tiestön tietoja punaisella.

Öljypäästöä mallinnettaessa voidaan öljyn tila jakaa neljään luokkaan: rantautunut, vedessä oleva, haihtunut tai dispersoitunut öljy. Kuvassa 12 on esitetty Vekaransalmen leviämismallin laskentatuloksista tehty kuvaaja, johon on kuvattu öljyn massabalanssi 48 tunnin mallinnsjakson kuluessa. Rantautunut ja kelluva öljy on esitetty kuvassa erikseen, ja haihtuneen ja dispersoituneen öljyn määrät on laskettu yhteen. Tämä jaottelu perustuu GNOME-mallinnsohjelman tuloksiin, jossa laskenta määrittelee vain rantautuneen ja kelluvan öljyn, eikä erittele muita säästymisen muotoja toisistaan. Muihin laskentatapoihin (ko-

keellisiin tuloksiin perustuva Adios 2 -tietokanta, liite 7 ja teoreettinen kaava, liite 8) verrattuna haihtuneen öljyn määrä vaikuttaa hieman liian suurelta, joten kuvaajan haihtumiskäyrään voidaan etenkin yli 24 tunnin osuudella suhtautua jonkin verran varauksella. Kuvaaja huomioi öljyn haihtumisen lisäksi öljyn runsaan dispersoitumisen virtaavaan ja aaltoilevaan veteen. Öljyvuoto kestää mallin alussa kahdeksan tuntia, jonka jälkeen kaikki skenaarion öljy on jossakin edellä mainituista tiloista. Kuvaajasta voidaan päätellä, että noin 17–18 tunnin kuluessa öljypäästön alusta suurin osa öljypäästön öljystä on rantautuneena.



KUVA 12. Öljypäästön massataseen muutos ajan kuluessa.

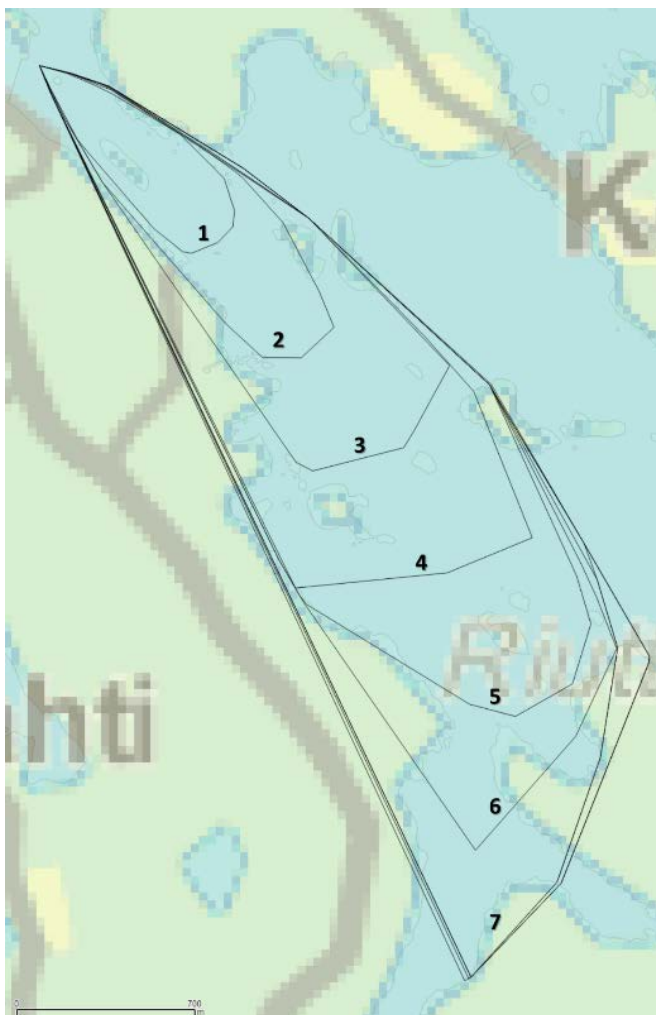
Öljypäästön leviämisen etäisyydet voidaan hahmottaa leviämisyöhykkeinä. Leviämisyöhyke tarkoittaa tässä tapauksessa etäisimmän öljykulkeuman sijaintia. Kuvassa 13 on esitetty Vekaransalmen skenaarion 1 leviämisyöhykkeet karkealla aika-aottelulla. Kuvassa yöhykkeet numeroitu tunteina öljypäästön alusta.



KUVA 13. Vekaransalmen skenaarion 1 öljyn leviämisyöhykkeet. Vyöhykkeet numeroitu tunteina öljypäästön alusta.

Konnuksen kanava, Leppävirta

Mallinnuksen tuloksena saatiin yhteensä kolme leviämismallia. Perustilanteena käytettiin voimakkaan virtauksen olosuhteita. Vaihtoehtoinen malli saatiin virtausnopeutta vaimentamalla. Mallien perusteella havaittiin, että virtausnopeuden vaihtelusta huolimatta öljyn rantautuminen tapahtuu nopeasti, muutaman tunnin kuluessa. Kuvassa 14 on esitetty öljyn leviämisen tuntikohtainen eteneminen voimakkaan virtauksen olosuhteissa. Mallinnuksen pohjalta voidaan todeta, että kuvatus kaltaisessa tilanteessa öljypäästö kulkeutuu hyvin nopeasti ja ajautuu läheisiin rantoihin noin 7–8 tunnin aikana. Kuvassa numerointi kuvaa leviämisalueen etäisimpiä reunoja numeroinnin osoittaman tuntimäärän kuluttua.



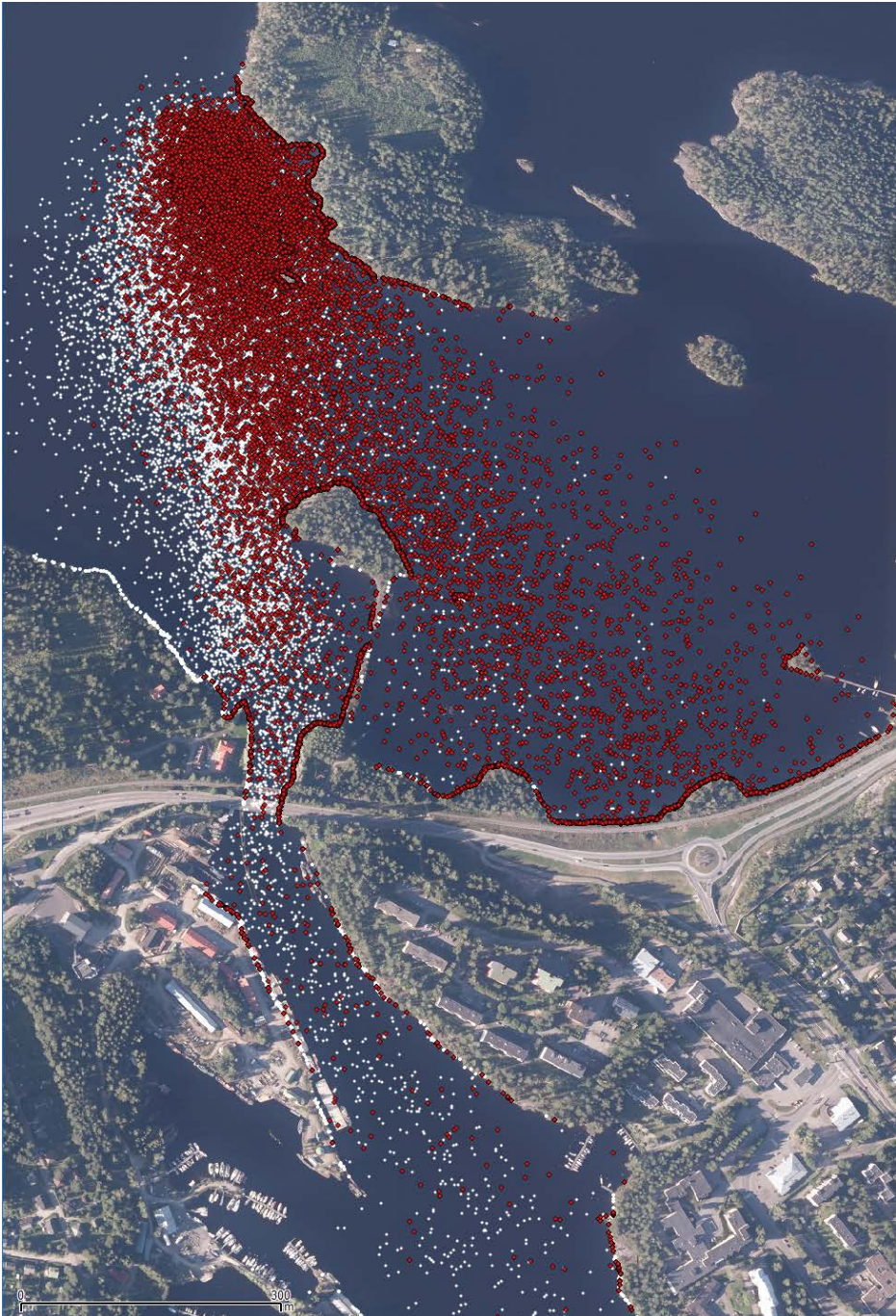
KUVA 14. Konnuksen kanavan leviämismallin perusteella laadittu öljypäästön vaikutusalueen tuntikohtainen kuvaus. Numerointi kuvaa leviämisalueen etäisimpiä reunoja numeroinnin osoittaman tuntimäärän kuluttua.

Laitaatsalmi, Savonlinna

Mallinnuksen tuloksena saatiin yhteensä neljä leviämismallia. Perustilanteena käytettiin tuulettomia olosuhteita. Kuvassa 15 on esitetty Laitaatsalmen Skenaario 1:n leviämisyöhykkeitä (perusmalli). Kuvassa numerot edustavat tunteja päästön alusta. Tuulettomien olosuhteiden lisäksi mallinnettiin öljyn leviämistä eri tuuliolosuhteilla. Tuulen vaikutusta havainnollistetaan kuvassa 16. Valkoiset pisteet esittävät perustilannetta ja punaiset pisteet kuvaavat länsituulen vaikutusta. Voidaan havaita, että erilaiset tuulensuunnat vaikuttavat öljypäästön ranta-alueisiin melko voimakkaasti.



KUVA 15. Laitaatsalmen skenaarion 1 (perusmalli) öljyn leviämisyöhykkeet. Numerot edustavat tunteja päästön alusta.



KUVA 16. Laitaatsalmen leviämismalli projisoituna alueen ilmakehuun. Tuulen vaikutus on havaittavissa valkoisten ja punaisten pisteiden toisistaan selvästi erottuvana jakaumana.

Yhteenveto ja päätelmiä

ÄLYKÖ-hankkeessa tutkittiin Saimaan alueella tapahtuvan ympäristöonnettomuuden seurauksena luontoon leviävän öljyn kulkeutumista. Tässä tutkimusartikkelissa käsiteltiin leviämismallinnuksia vedessä, mallinnuksessa käytettyjä menetelmiä ja lähtötietoja sekä leviämismallinnuksen tuloksia. Leviämismallinnuksen varsinaiset tulokset ovat luonteeltaan paikkatietoaineistoa, jonka esitystapana kirjallinen raportti ei ole paras mahdollinen. Leviämismallit tullaan lisäämään Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämään BORIS-järjestelmään, jossa ne ovat öljyntorjuntaan osallistuvien viranomaisten käytössä. Tässä artikkelissa esiteltiin myös esimerkkejä paikkatieto-ohjelmistolla toteutettaviin leviämismallien analyysihin.

Vedessä leviävän öljyn kulkeutumisen ennustamiseen ja mallinnukseen liittyy paljon epävarmuuksia. Luonnonilmiöiden mallinnus yleensäkin on vaativaa ja virheille altista työtä. Täsmällisen ennustamisen hankaluudet voidaan arkielämässä havaita esimerkiksi sääennusteissa. Sääennusteita laaditaan super-tietokonelaskennalla pitkälle koulutettujen henkilöiden ja suurilla budjeteilla operoivien laitosta toimesta. ÄLYKÖ-hankkeessa resurssit olivat vaatimattomampia. Tässä esitettyjä mallinnusten tuloksia pyydetään siis tarkastelemaan kriittisesti. Tehtyjen mallinnusten perusteella voidaan esittää vain suuntaa antava käsitys siitä, kuinka öljy voi esitetyissä tapauksissa kulkeutua. Kulkeutuminen voi suurella todennäköisyydellä tapahtua toisinkin. Kulkeumaennusteet ovat tässä laajuudessa Saimaan alueen ensimmäisiä ja näin ollen tarkentamisen mahdollisuuksia ja jatkotutkimusaiheita jää vielä runsaasti.

LÄHTEET

ADIOS. Saatavana: <http://response.restoration.noaa.gov/adios>. [Viitattu 29.3.2016]
Avoimien aineistojen tiedostopalvelu. Saatavana: <http://www.maanmittauslaitos.fi/aineistot-palvelut/latauspalvelut/avoimien-aineistojen-tiedostopalvelu>. [Viitattu 4.4.2016]

Drozdowski, A. et al. Review of Oil Spill Trajectory Modelling in the Presence of Ice. Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences 274. ISSN 0711-6764.

EPA 1999. United States Environmental Protection Agency. Understanding Oil Spills And Oil Spill Response. PB2000-963401. Saatavana: <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?-Dockey=10001XNZ.TXT>. [Viitattu 31.2.2016]

Evans, D. L. 2002. Trajectory Analysis Handbook. U.S. Department of Commerce. National Oceanic and Atmospheric Administration. Saatavana: <http://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/oil-spills/resources/trajectory-analysis-handbook.html>. [Viitattu 25.3.2016]

Fashchuk, D. (ei vuotta) Marine Ecological Geography. Theory and Experience. ISBN. 978-3-642-17444-5. Ote saatavana: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-17444-5_2. [Viitattu 31.3.2016]

Fingas, M. (ei vuotta) Oil Behaviour in Freshwater Environments: Weathering and Incorporation into Models. US EPA archived documents. Saatavana: https://archive.epa.gov/emergencies/content/fss/web/pdf/fingas_04.pdf. [Viitattu 31.3.2016]

Fingas, M. 2015. Handbook of oil spill science and technology. ISBN: 978-0-470-45551-7. Wiley. Hoboken, New Jersey.

Fingas, M. 2015. Handbook of oil spill science and technology. ISBN: 978-0-470-45551-7. Wiley. Hoboken, New Jersey. 2015.

GNOME. GOODS GNOME, Online Oceanographic Data Server. Saatavana: <https://GNOME.orr.noaa.gov/goods>. [Viitattu 29.3.2016]

Gästgifvars, M. 2014. Ajelehtimiskokeet ja kulkeutumisenusteet Suomenlahdella. Suomen ympäristökeskus. Helsinki 2004. ISBN 952-11-1808-3 (PDF).

Hietala, M. 2015. Virtavedet ja järviolueet (Boris työpaja 20-21.5.2015). Saatavana: <https://syke.etapahtuma.fi/Default.aspx?tabid=329&id=1729>. [Viitattu 25.3.2016]

Hou, X. & Hodges, B. R. 2013. Hydrodynamic uncertainty in oil spill modeling. The University of Texas at Austin. Center for Research in Water Resource. Saatavana: <https://www.crwr.utexas.edu/reports/pdf/2013/rpt13-05.pdf>. [Viitattu 27.4.2016]

Hydrologiset vuosikirjat. Saatavana: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Hydrologiset_havainnot/Hydrologiset_vuosikirjat. [Viitattu 29.3.2016]

ITOPFa. Weathering. Saatavana: <http://www.itopf.com/knowledge-resources/documents-guides/fate-of-oil-spills/weathering/>. [Viitattu 29.3.2016]

ITOPFb. The international tanker owners pollution federation limited. Fate of marine oil spills. ITOF technical information paper 2. Saatavana: <http://www.itopf.com/fileadmin/data/Documents/TIPS%20TAPS/TIP2FateofMarineOilSpills.pdf>. [Viitattu 26.4.2016]

- Jolma, A. 2011. Geoinformatiikka öljyonnettomuuksien ekologisten riskien hallinnassa. Aalto-yliopisto, Lounaispaikan paikkatietopäivä Turku, 2.12.2011. Saatavana: http://www.merikotka.fi/julkaisut/Paikkatietopaiva_Jolma.pdf. [Viitattu 29.3.2016]
- Järviwiki. Saimaa. Saatavana: [http://www.jarviwiki.fi/wiki/Saimaa_\(04.112.1.001\)](http://www.jarviwiki.fi/wiki/Saimaa_(04.112.1.001)). [Viitattu 4.4.2016]
- Korhonen, J. 2002. Suomen vesistöjen lämpötilaolot 1900-luvulla. Suomen ympäristökeskus. Helsinki 2002.
- Korhonen, J. 2007. Suomen vesistöjen virtaaman ja vedenkorkeuden vaihtelut. Suomen ympäristökeskus. Helsinki 2007.
- Kulander, K-E. 2004. Oljeskadeskyddet utmed de svenska kusterna och i de stora insjöarna inför 2010. Karlstad. Räddningsverket 2004. Saatavana: <https://www.msb.se/RibData/Filer/pdf/20028.pdf>. [Viitattu 31.3.2016]
- Kuusisto, E. 1978. Suur-Saimaan vesitase ja tulovirtaaman ennustaminen. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja. Vesihallitus.
- Lagrangian dispersion models. Saatavana: <http://personal.us.es/rperianez/lesson7.pdf>. [Viitattu 30.3.2016]
- Liikennevirasto. Vt 14 Laitaatsalmen kohta, Savonlinna. Saatavana: <http://www.liikennevirasto.fi/laitaatsalmi>. [Viitattu 5.4.2016]
- Liikenneviraston katselu- ja latauspalvelu. Saatavana: <https://extranet.liikennevirasto.fi/extranet/web/public/latauspalvelu>. [Viitattu 4.4.2016]
- Luodedata. Saatavana: <http://www.luodedata.fi/savonlinna/>. [Viitattu 31.3.2016.]
- McWilliams, J. C & Sullivan, P. P. 2001. Vertical mixing by Langmuir circulations. *Spill Sceince & Technology bulletin* vol 6, No 3/4. Elsevier Science 2001.
- Neste Oil 2015. Käyttöturvallisuustiedote. Marine diesel oil DMB-laatu (MGODMA); Mari-ne Gas oil (MGODMA,MGO). Päiväys 14.7.2015. Tuloste, Kyamkin hallussa.
- Neste Oy 1987. Raskaan polttoöljyn käyttöopas. Espoo.
- NOAA 2012. Technical Memorandum NOS OR&R 40.General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME) Technical Documentation. Seattle, USA. 2012.

OVA-ohjeet. Raskas polttoöljy. Saatavana: <https://www.ttl.fi/ova/rapoltto.html>. [Viitattu 27.4.2016]

PaITuli spatial data service. Saatavana: <https://research.csc.fi/paituli>. [Viitattu 4.4.2016]

QGIS Python Plugins Repository. Plugin: TimeManager. Saatavana: <https://plugins.qgis.org/plugins/timanager/>. [Viitattu 4.4.2016]

Rouvinen, J. 2012. Kuopion Teho-Louhinta Oy. Pielisjoen koski- ja virtapaikkojen yleiskartoitus.

Sanomalehti Itä-Savo. 2016. Projektipääliikkö: Laitaatsilta mahdollisimman nopeasti liikkeelle. Artikkelit 19.4.2016. Saatavana: <http://www.ita-savo.fi/uutiset/lahella/projektipaallikko-laitaatsilta-mahdollisimman-nopeasti-liikkeelle-340263>. [Viitattu 21.4.2016]

Seppälä, J. 1986. Itäisen Pien-Saimaan veirtaus- ja vedenlaatumallisovertutus. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu.

Siiskonen, V. 2013. Henkilökohtainen viestintä Häkkinen / Ville Siiskonen (Ilmatieteen laitos) 4.2.2013. Aineisto Kyamkin hallussa.

Simola, H. (toim.). 2010. Suurjärviseminaari 2010. Publications of the University of Eastern Finland, Reports and Studies in Forestry and Natural Sciences 4. Joensuu. ISBN 978-952-61-0242-9.

SMHI. Prognossystem ger bra koll vid oljeutsläpp i hela Östersjöregionen. Saatavana: <http://www.smhi.se/nyhetsarkiv/prognossystem-ger-bra-koll-vid-oljeutslapp-i-hela-ostersjoregionen-1.12137>. [Viitattu 29.3.2016]

Soininen, H; Dufva, K; Kontinen, K. 2015. Materiaalit ja ympäristöturvallisuus : Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä. Vuosijulkaisu 2015. Saatavana: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-588-533-3>. [Viitattu 4.4.2016]

Suomen ympäristökeskus. Tilannekuvajärjestelmä BORIS. Saatavana: <http://www.ymparisto.fi/boris>. [Viitattu 7.4.2016]

Tuomi, L. 2014. On modelling surface waves and vertical mixing in the Baltic sea. Academic dissertation. Finnish Meteorological Institute. Helsinki.

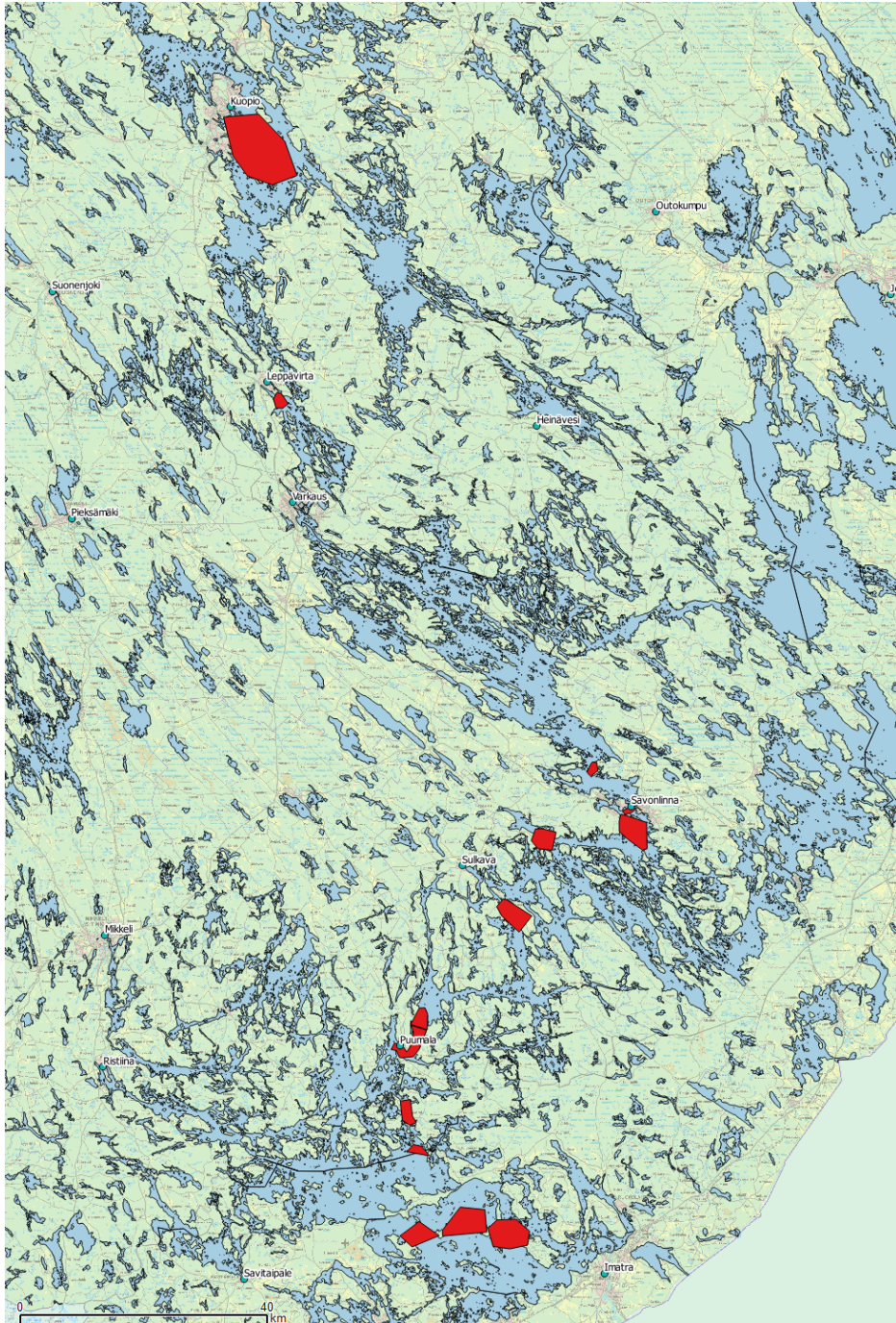
Tuuliatlas - tuulitiedot Suomen kartalla. Saatavana: <http://www.tuuliatlas.fi/fi/index.html>. [Viitattu 29.3.2016]

Vandermeulen, J. H. & Hrudey S. E. 1984. Oil in freshwater: chemistry, biology, counter-measure technology : proceedings of the symposium in freshwater, Edmonton, Alberta, Canada, 15-19 October 1984. Pergamon, 1987. New York.

Vesihallitus 1976. Helsinki 1976. Pohjois-Karjalan vesien käytön kokonaissuunnitelma 1 osa, Suunnittelualue ja vesivarat. ISBN 951-46-1965-X.

Vesistöennusteet: Vuoksen vesistöalue. Saatavana: <http://wwwi2.ymparisto.fi/i2/04/index.html>. [Viitattu 29.3.2016]

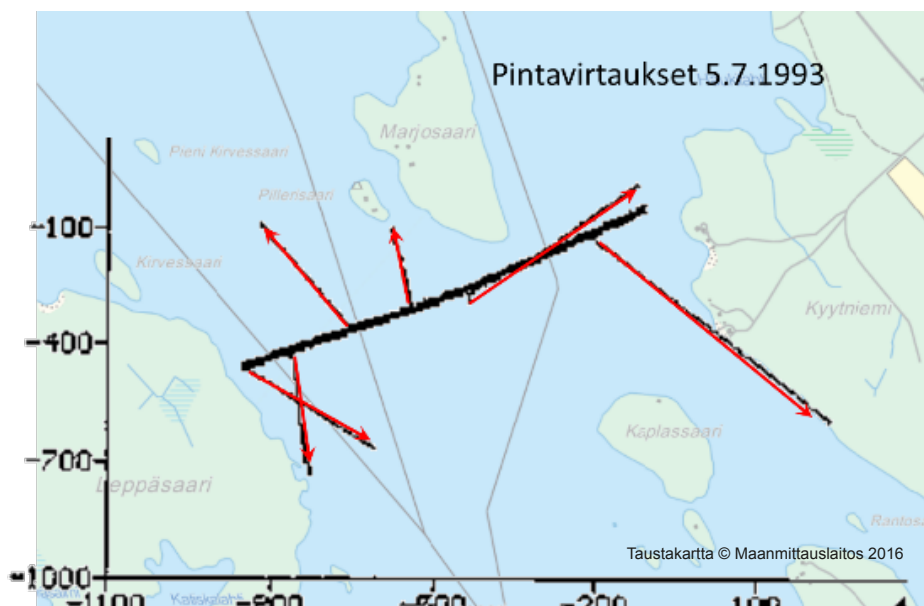
LIITE 1. RV Muikun pintavirtausmittausten alueet



RV Muikun vuosina 1993, 1996 ja 1997 tekemiä pintavirtausmittauksia. Sijainnit kartalla.

LIITE 2. Pintavirtausten vaihtelu

Alla oleva kuvapari havainnollistaa pintavirtausmittausten tuloksissa olevaa ajallista vaihtelua. Samalla paikalla ja samalla kalustolla muutaman kuukauden välein saadut mittaustulokset ovat lähes päinvastaisia.



LIITE 3. Laivaonnettomuusskenaarioiden lähtötilanteet

Poikkeamatilanteen ensitiedot.

Tieto saatu Kapteenilta

Tieto saatu 1.5. klo 05.00.

Alus osallisena LAIVA1

Kutsumerkki XXXX

Lippuvaltio Hollanti

Tapahtuma

Konnuksen kanavan jälkeen pohjoisesta tullessa laivalla tapahtui ohjausvirhe ja se sai kovan kylkikosketuksen Ukkoon. Voimakas virtaus painoi alusta vielä edelleen ja kylkeen tuli pitkä repeämä. Alus pysähtyi ja jäi väylälle. Voimakas öljyvuoto kyljen tankeista.

Tapahtumapaikka

Konnuksen kanavalta noin 200 metriä itään.

Koordinaatit

28.49166, 61.73753

Tapahtuma-aika

1.5. Noin klo 05.00

Aluksen lähtösatama

Kuopio

Aluksen määräsatama

Rostock

Aluksen lasti

Puujalosteita

Säätila

Tuuli 215 astetta, 6 m/s [etelälounas]

Näkyvyys

hämärä/valoisa, selkeä

Säätiieto saatu laivalta.

Lämpötila ilma 10 astetta, vesi 7 astetta

Aallokko alle 50 cm

Olosuhdetiedot ilmatieteen laitokselta

Poikkeamatilanteen ensitiedot.

Tieto saatu Luotsilta

Tieto saatu 25.11. klo 01.00.

Alus osallisena LAIVA2

Kutsumerkki XXXX

Lippuvaltio Venäjä

Tapahtuma

Pohjoisesta tullessa laiva menetti ohjauskykynsä ja Vekaransalmen jälkeen alusta ei voinut tiukassa mutkassa kääntää vaan se ajautui väylältä. Alus ajautui kylki edellä kivikkoon ja sai pahan pohjakosketuksen.

Tapahtumapaikka

Vekaransalmelta noin 500 metriä länsilounaaseen.

Koordinaatit

28.49166, 61.73753

Tapahtuma-aika

25.11. Noin klo 01.00

Aluksen lähtösatama

Siilinjärvi

Aluksen määräsatama

Viipuri

Aluksen lasti

Puutavaraa

Säätila

Tuuli 345 astetta, 4 m/s [noin pohjoinen]

Näkyvyys

pimeä, selkeä

Säätiieto saatu laivalta.

Lämpötila ilma 2 astetta, vesi 4 astetta

Aallokko alle 30 cm

Olosuhdetiedot ilmatieteen laitokselta

Poikkeamatilanteen ensitiedot.

Tieto saatu Luotsilta

Tieto saatu 23.7. klo 02.00.

Alus osallisena LAIVA3

Kutsumerkki XXXX

Lippuvaltio Venäjä

Tapahtuma

Pohjoiseen päin matkalla ollut Venäläinen rahtialus LAIVASAV ajoi Laitaatsalmen sillan jälkeen väylän mutkasta kääntymättä matalikolla Pienen Sammalsaaren edustalla ja pysähtyi siihen. Kytki painui pahasti kiville. Öljyvuoto runsasta.

Tapahtumapaikka

Laitaatsalmen sillasta 600 metriä pohjoiseen.

Koordinaatit

28.83954,61.88383

Tapahtuma-aika

23.7. Noin klo 01.30.

Aluksen lähtösatama

Ust-Luga

Aluksen määräsatama

Varkaus

Aluksen lasti

Ei tietoa

Säätila

Tuuli 270 astetta, 3 m/s [länsi]

Näkyvyys

hämärä/valoisa, selkeä

Sää tieto saatu laivalta.

Lämpötila ilma 20 astetta, vesi 19 astetta

Aallokko alle 30 cm

Olosuhdetiedot ilmatieteen laitokselta

LIITE 4. Virtausolettama. Konnuksen kanava, Leppävirta



Kuvaan on merkitty skenaariomallinnuksessa käytetyt virtaussuunnat pintavirtausvektoreina. Vektorien pituudet ovat suuntaa-antavia eivätkä ole tarkassa mittakaavassa. Virtaustietojen lähteet on esitetty kappaleessa "Mallinnuksessa käytettyjä tietolähteitä".

LIITE 5. Virtausolettama. Laitaatsalmi, Savonlinna



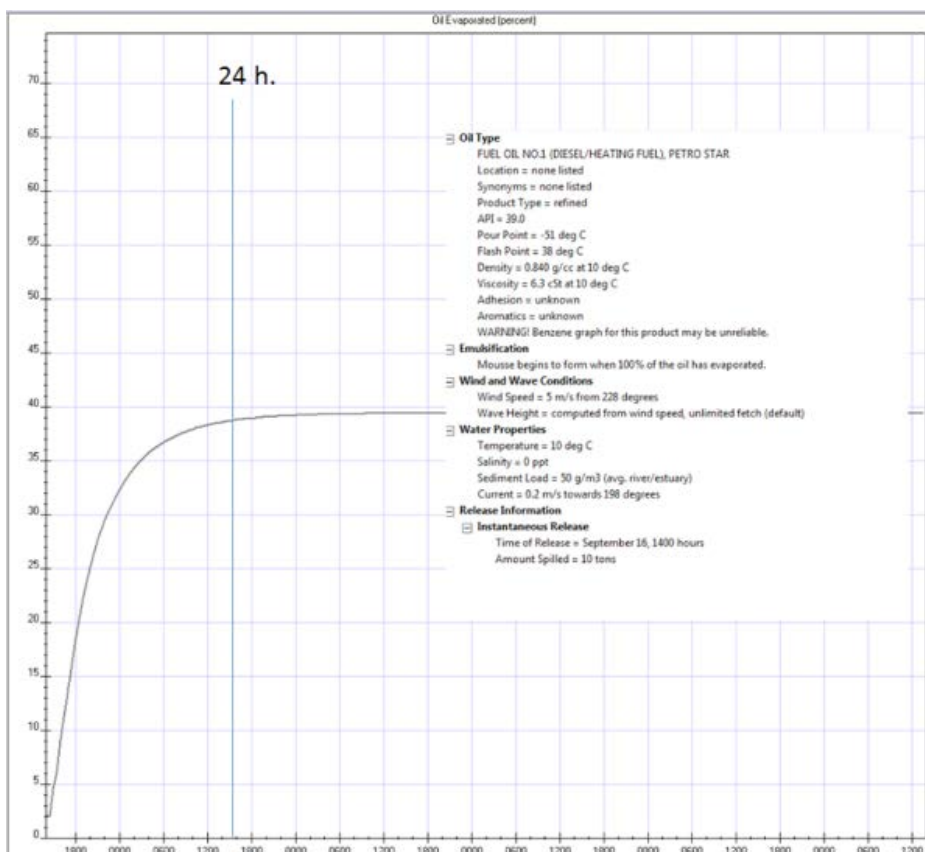
Kuvaan on merkitty skenaariomallinnuksessa käytetyt virtaussuunnat pintavirtausvektoreina. Vektorien pituudet ovat suuntaa-antavia eivätkä ole tarkassa mittakaavassa. Virtaustietojen lähteet on esitetty kappaleessa "Mallinnuksessa käytettyjä tietolähteitä".

LIITE 6. Virtausolettama. Vekaransalmi, Sulkava



Kuvaan on merkitty skenaariomallinnuksessa käytetyt virtaussuunnat pintavirtausvektoreina. Vektorien pituudet ovat suuntaa-antavia eivätkä ole tarkassa mittakaavassa. Virtaustietojen lähteet on esitetty kappaleessa "Mallinnuksessa käytettyjä tietolähteitä".

LIITE 7. Kevyen öljyn haihtuminen Adios 2 -tietokannan mukaisesti



Adios 2 -öljytietokannan laskentatuloksia. Kuvaajasta havaitaan, että kevyt polttoöljy / dieselöljy haihtuu voimakkaasti ensimmäisten 12 tunnin aikana. Haihtuminen lakkaa lähes kokonaan noin 20-28 tunnin jälkeen. Kuvaaja esittää vain yhtä dieselöljylaatua, mutta on suuntaa antava myös dieselöljylle yleisemmin.

Kuvaajan parametreja:

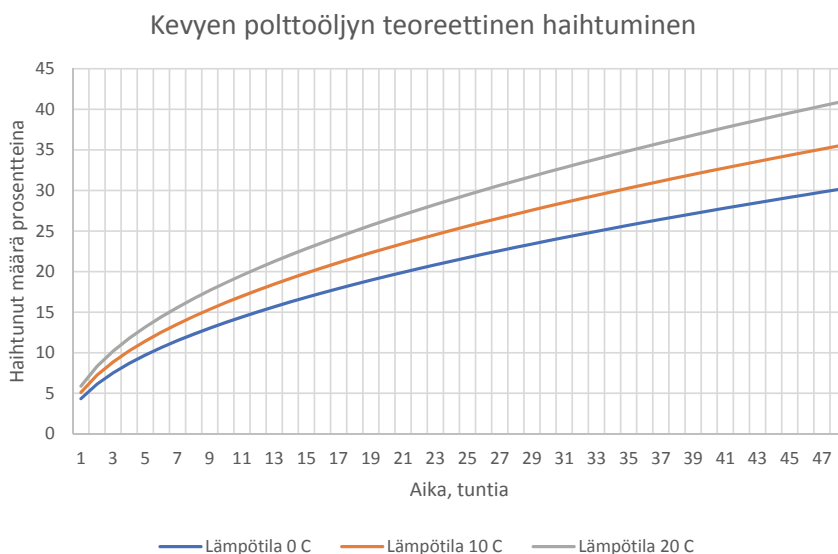
- makea vesi
- lämpötila 10 °C
- sedimenttipitoisuus 50 g/m³.
- tuuli 5 m/s
- aallokkoa

LIITE 8. Laskelmia kevyen polttoöljyn haihtumisesta

Öljyn haihtumisnopeus ympäristöonnettomuustilanteessa on voimakkaasti riippuvainen vallitsevista olosuhteista sekä öljyalaadusta. Saimaalla liikennöivät laivat käyttävät tyypillisesti kevyttä polttoöljyä, joka luontoon joutuessaan haihtuu verraten nopeasti. Myös kevyen polttoöljyn eri valmistajien ja kaupanimikkeiden välillä on eroja.

Fingas esittää teoksessaan *Handbook of Oil Spill Science and Technology* yksinkertaistetun kaavan (ns. square root equation) kevyen polttoöljyn haihtumisen laskentaan. Kaava perustuu öljyn tislautumisasteeseen 180 °C lämpötilassa. (Fingas 2015) Tyypillinen tislautumisaste kevyelle polttoöljylle tässä lämpötilassa on 20–50 % välillä (ITOPFb). Tällaista tietoa ei yleensä ole suoraan saatavilla öljyn valmistajalta. Esimerkiksi Neste Oyj:n käyttöturvallisuustiedote antaa tuotteelle vain kiehumispisteen ja kiehumisalueen rajat 150–410 °C (Neste Oil 2015).

Seuraava kevyen polttoöljyn haihtumisen kuvaaja on laskettu käyttämällä Fingas esittämää kaavaa (1) kolmella erilaisella lämpötilan arvolla. Kuvaajasta 1 voidaan havaita, että lämpötilan vaikutus on 48 tunnin kohdalla noin 10 prosenttiyksikköä. Lämpötila vaikuttaa siis merkittävästi haihtumiseen.



KUVA 1. Kevyen polttoöljyn teoreettinen haihtuminen ajan myötä kaavan 1 mukaisesti.⁵⁰

Tämä laskentatapa ei huomio muita muuttuvia olosuhteita ja se perustuu vain yhteen teoriaan. Tulokset ovat kuitenkin verraten lähelle liitteessä 7 esitettyä kokeellisesti määritettyä erään diesellaadun haihtumista. Erilaisten öljylaatujen keskinäiset eroavaisuudet ovat luonnollisesti merkittäviä tekijöitä. Lämpötilan lisäksi öljyn haihtumiseen voimakkaasti vaikuttavia olosuhteita ovat veden virtaus, aaltoilu, öljykerroksen paksuus sekä kulkeutuminen rantaan. Rannan huokoisessa maaperässä kevyt polttoöljy imeytyy nopeasti ja haihtuminen hidastuu. Kuvaajassa on käytetty Fingas-in kaavaa (kaava 10.12, sivu 289) sekä edellä mainittujen lähteiden perusteella arvioitua tislautumisastetta 28 %.

Haihtumiskaava:

$$\text{Haihtumisaste} = [0.0254 (\%D) + 0.01 (T-15)]\sqrt{t} \quad (1)$$

jossa: %D = tislautumisaste 180 °C lämpötilassa, tässä 28 %

T = lämpötila

t = aika minuutteina

HAVERIALUKSEN MIEHISTÖN ENSITOIMENPITEET ALUSÖLJYVAHINGOSSA

Henri Heino & Denis Voroshilin & Hannu Heikkilä & Justiina Halonen & Jouni-Juhani Häkkinen

Tavoite ja työmenetelmä

Tämä artikkeli liittyy ÄLYKÖ-hankkeen toimenpiteeseen, jonka tavoite on kehittää ympäristövahinkojen ennaltaehkäisyä ympäristöturvallisuuden lisäämiseksi. Artikkeliki keskittyy alusöljyvahingon vaikutusten minimoimiseen sekä ensitoimenpiteiden kehittämiseen vesiliikenteen näkökulmasta. Työn liikelle-panevana voimana on ollut Öljyvahinkojen torjuntalain ja merenkulun ympäristönsuojelulain vaatimus haverialuksen miehistölle ”ryhtyä (alusöljyva-hingossa) sellaisiin välittömiin torjuntatoimiin, joita heiltä voidaan kohtuudella vaatia”. On nähty tarpeellisiksi konkretisoida, mitä nämä toimenpiteet voisivat olla. Lähtökohtana on ollut tukea miehistön toimintaa. Selvitystyön tuloksena koottua ohjeistusta on mahdollista jakaa Saimaan alueella liikennöiville aluksille alusliikennepalvelun ja varustamojen kautta.

Selvitystyöhön on hankehenkilöstön lisäksi osallistunut kolme merenkulun insinööriopiskelijaa opinnäytetyön tekijöinä. Aihetta on työstyetty eteenpäin myös työpajatyöskentelyllä merenkulun asiantuntijoiden kanssa. Työvaiheeseen liit-tyi kaksi verkostotapaamista. Suomen vesitietäyhdistyksen kanssa järjestettiin 2.3.2016 yhteistyöneuvottelu, jossa kartoitettiin hankkeen mahdollisia yhteis-työkumppaneita Suomen vesitietäyhdistyksen jäsenistä. Suomen Vesitietäyhdistys on Saimaalla kaupallista toimintaa harjoittavien vesikuljetusyritysten ja mui-den alan toimijoiden etujärjestö, jonka jäsen myös Kymenlaakson ammattikor-

keakoulu on. Merenkulun asiantuntijatyöpajaan 13.4.2016 osallistui Saimaan vesiliikennettä valvovia viranomaisia, kuten Liikennevirasto ja Saimaa VTS, Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi, Finnpilot Pilotage Oy sekä Etelä-Savon pelastuslaitos.

Työvaiheeseen liittyvä taustatyö ja työn rajaus

Tämä alusöljyvahingon ensitoimenpiteisiin tähtäävä kehitystyö pohjautuu Saimaan alusliikenteen riskialueista tehtyyn taustaselvitykseen sekä öljyvahingon leviämismallinnuksiin. Taustaselvityksessä kartoitettiin Saimaalla liikennöivien alusten liikenne- ja polttoainemäärät sekä analysoitiin tiedossa olevat onnettomuustapaukset vuosien 1978 ja 2014 välillä. Taustaselvityksessä perehdyttiin myös Saimaan alusliikenteen onnettomuustihentymäalueisiin.

Alusliikenteen onnettomuustapausten ja liikennemäärien analyysi osoitti suuren alusöljyvahingon todennäköisyyden Saimaalla melko pieneksi. Saimaalla tapahtuu vuosittain keskimäärin viisi alusonnettomuutta, joista yksi johtaa aluksen saamiin vakaviin vaurioihin. Onnettomuuksia, joissa vauriot voivat johtaa öljyvahingon syntyyn, tapahtuu noin 1,5 vuoden välein. Riski ei kuitenkaan ole realisoitunut, eikä öljyä ole vuotanut vesistöön muutamia pienempiä päästöjä lukuun ottamatta. Alusliikenteen aiheuttaman potentiaalisen öljyvahingon suuruudeksi arvioidaan noin 20–30 kuutiota, yhteensä noin 50–100 kuution aluskohtaisesta polttoainevarannosta. Todennäköisempiä ovat pienten alusten ja veneiden havereista aiheutuvat pienet öljypäästöt, jotka ovat kokoluokaltaan muutamista litroista pariin kuutioon,. Saimaan ainutlaatuinen luontoympäristö on kuitenkin erittäin herkkä, ja pienenkin öljypäästön vaikutukset voivat olla ympäristölle haitallisia ja pitkäkestoisia. (Halonen et al. 2016, 37 ja 42.) Onnettomuustihentymäalueiden sijoittuminen virtapaikkoihin on öljyvuodon vaikutusalueen kannalta huomionarvoista. Osaan alueista tehdyt öljyvahingon leviämismallinnukset tukivat käsitystä öljylautan nopeasta leviämisestä. (Halonen et al. 2016, 37; Häkkinen Jouni-Juhani 2016.) Edellä mainitut tutkimustulokset on raportoitu Kyamkin julkaisusarjassa 2016 nimikkeillä Saimaan vesistön öljyvahinkoskenaarioiden mallintaminen (Kyamk Sarja B. Tutkimuksia ja raportteja nro 158) sekä Alusliikenteen riskialueet Saimaan Syväväylällä alusöljyvahingon näkökulmasta (Kyamk Sarja B. Tutkimuksia ja raportteja nro 160).

Taustaselvitys osoitti Saimaan erityisolosuhteissa keskeisimmän onnettomuustilanteen kehittämiskohteen olevan mahdollisimman nopeat ja tarkoituksenmu-

kaiset toimenpiteet sekä haveristilla että pelastustoiminnassa. Teknisin keinoin voidaan kehittää laivan miehistön toimesta tapahtuvaa öljyvuodon havaitsemista ja öljyn leviämisen estämistä. Tämän lisäksi voidaan kehittää miehistön osaamista ja kommunikointivalmiuksia öljyvuototilanteessa sekä syventää pelastustoimen ymmärrystä alueella liikennöivien alusten omista toimintavalmiuksista ja niiden rajoitteista. Näihin kehittämistavoitteisiin pääsemiseksi selvitystyölle asetettiin seuraavat osatavoitteet:

- tutkia ja kehittää menetelmiä öljyvuodon nopean havainnoinnin ja paikallistamisen avuksi,
- luoda konkreettisia ja helppokäyttöisiä ohjeita laivan teknisen tiedon käyttöön onnettomuustilanteissa ja
- luoda aluksen miehistölle selkeä toimintaohje öljyvahinkotilanteessa toimimiseen venäjän, englannin ja suomen kielillä.

Aluksen miehistön velvollisuudet alusöljyvahingossa

Öljyvahinkojen torjuntalain (2009/1673) mukaan aluksen päällikön velvollisuudesta ilmoittaa alusöljy- ja aluskemikaalivahingosta sekä ryhtyä sellaisiin välittömiin torjuntatoimiin, joita häneltä voidaan kohtuudella vaatia, säädetään Merenkulun ympäristönsuojelulain (2009/1672) 11. luvussa.

Kyseisen 11. luvun 1. pykälän mukaan ”*Jos öljyä on päässyt aluksesta veteen tai öljyvuodon vaara aluksen karilleajon tai konevian, yhteentörmäyksen taikka muun merivahingon takia on uhkaamassa, aluksen päällikön on ilmoitettava öljyvahingosta tai sen vaarasta välittömästi asianomaiselle meripelastuskeskukselle, meripelastuslohkokeskukselle, hätäkeskukselle tai VTS-viranomaiselle. [...] Aluksen päällikön on lisäksi ryhdyttävä sellaisiin välittömiin torjuntatoimiin, joita häneltä kohtuudella voidaan vaatia.*” Lisäksi säädetään, ”*jos aluksen miehistöön tai päällystöön kuuluva tekee vastaavan havainnon, hän on velvollinen ilmoittamaan asiasta aluksen päällikölle. Aluksen päällikön ei kuitenkaan tarvitse tehdä [...] ilmoitusta, jos on ilmeistä, että [...] viranomaiset ovat jo saaneet tapauksesta tiedon.*”

Aluksen päälliköille suunnattu ohje VTS-alueella toimimisesta (Saimaa VTS Master’s Guide) velvoittaa päällikön ilmoittamaan kaikista aluksen turvallisuuteen tai muun merenkulun turvallisuuteen vaikuttavista vaaratilanteista tai onnettomuuksista VTS-keskukselle aina kun alus liikkuu VTS-alueella tai sen läheisyydessä (Liikennevirasto 2015). Heti onnettomuuden sattuessa on otet-

tava yhteyttä Saimaan VTS-keskukseen VHF-radiopuhelimella kanavalla 9. Ilmoituksen yhteydessä voi käyttää DSC-kutsua varmistamaan sanoman perille pääsy. Jos jostain syystä alus ei voi ottaa yhteyttä VHF/DSC-laitteella, on soitettava puhelimella hätänumeroon 112. (Jämsen 2015.) Myös tilanteet, jotka saattavat aiheuttaa vesien tai rannikon pilaantumista, tulee ilmoittaa VTS-keskukselle. Saimaa VTS -alue kattaa Saimaan alueen syväväylät mutta ei Saimaan kanavaa. Saimaa VTS on toiminnassa vain Saimaan kanavan liikennekauden aikana. (Liikennevirasto 2015.)

VTS tarkoittaa alusliikennepalvelua (Vessel Traffic Service) eli alusliikenteen valvontaa ja ohjausta, jolla on valmiudet toimia vuorovaikutuksessa liikenteen kanssa ja reagoida muuttuviin liikennetilanteisiin (alusliikennepalvelulaki 2005/623, 2§). VTS-viranomaisena toimii Liikennevirasto. VTS-keskuksessa ylläpidetään reaaliaikaista liikennekuva-alueen alusliikenteestä alusten automaattisen tunnistusjärjestelmän AIS:n (Automatic Identification System) sekä VHF-radiolla annettujen liikenneilmoitusten avulla (Liikennevirasto 2016a). Alueelliset VTS-keskukset, kuten Saimaa VTS, seuraavat alusten kulkua ja tiedottavat mahdollisista vaaratilanteista (Liikennevirasto 2016b).

Miehistön varautumisesta öljyvahinkoon säädetään kansainvälisillä sopimuksilla. Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO määrittelee MARPOL-yleissopimuksessa⁵ aluksista aiheutuvien ympäristövahinkojen ehkäisemiseksi vaatimuksia alusten rakenteesta, turvallisuudesta ja toiminnasta poikkeamatilanteissa. MARPOL-yleissopimuksen I liitteen 37. säädös määrittelee lisäksi aluksella olevien öljyntorjuntasuunnitelmien eli SOPEP-suunnitelmien⁶ sisällön.

SOPEP vaaditaan öljysäiliöalukselta, jonka bruttovetoisuus on vähintään 150 tonnia sekä kaikilta muilta yli 400 tonnin aluksilta (MARPOL Regulation 37). Suomalaisten alusten SOPEP-valmiussuunnitelmat hyväksyy Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. Suomalaisilla Saimaalla liikennöivillä kauppa-alusluetteloon merkityillä aluksilla on SOPEP-öljyntorjuntasuunnitelmat. Alusrekisteriin on ilmoitettava alukset, joiden pituus on vähintään 15 metriä. Saimaan liikenteessä ulkomaan lipun alla purjehtivat alukset ovat pääsääntöisesti niin suuria, että niiltä vaaditaan öljyntorjuntasuunnitelma. (Intovuori 2016.) Esimerkki Saimaalla liikkuvan aluksen SOPEP-suunnitelmasta on luettavissa Hannu Heikkilän ÄLYKÖ-hankkeelle tekemästä opinnäytetyöstä

5 International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)

6 Shipboard Oil Pollution Emergency Plan (SOPEP)

Laivan teknisen kaavion käyttö onnettomuustilanteessa Saimaalla (Kymenlaakson ammattikorkeakoulu 2016).

SOPEP-suunnitelmaan tulee kuvata päällikön ja muun miehistön tehtävät sekä toimintaohjeet öljypäästön varalle. Tehtävät on kuvattu työtehtäväkohtaisesti aluksen hälytysluettelossa. Lisäksi suunnitelmassa tulee olla kirjattuna yhteystietoineen ne viranomaiset, joihin öljyvahingon sattuessa tulee olla yhteydessä (MARPOL Regulation 37). Suunnitelmat ovat kuitenkin melko yleisluontoisia. Lisäksi niissä havaitaan usein puutteita erityisesti paikallisten viranomaisten yhteystietojen osalta (Salminen 2016). Aluskohtaisesti laadittu ja konkreettisia toimintaohjeita sisältävä SOPEP-suunnitelma, jota on myös harjoiteltu, on ratkaisevassa roolissa öljyvahingon rajaamisessa ja vahingon seurausten ja siten myös kustannusten minimoinnissa.

Tiedonvälityksen tehostaminen

Saimaan vesialueella vastuut merenkulun hätäradioliikenteen hoitamisesta poikkeavat merialueista. Meripelastuslain (1145/2001) 29 §:n mukaan Liikennevirasto vastaa Saimaan alueen hätäradioliikenteestä, kun rannikolla se on johtavan meripelastusviranomaisen eli Rajavartiolaitoksen vastuulla. Liikenneviraston ylläpitämä Saimaa VTS ottaa vastaan alusten GMDSS-järjestelmän⁷ mukaiset DSC-hätähälytykset⁸ sekä VHF-radiopuhelimella ja puhelimella tehdyt hätäilmoitukset. Kun Saimaa VTS saa ilmoituksen onnettomuudesta Saimaan vesialueella, se ottaa yhteyden Kuopion hätäkeskukseen. Lisäksi VTS ilmoittaa merenkulun turvallisuusradio Turku Radioon. Saimaa VTS-keskuksen välittämien tietojen pohjalta hätäkeskus tekee tapahtuneesta riskiarvion ja hälyttää tarvittavat viranomaiset omien ohjeidensa mukaisesti. Ilmoitus hätäkeskukseen saattaa tulla myös yleisen hätänumeron 112 kautta. (Häkkinen Jarmo 2017; Jämsen 2015.) Hätäkeskuksen tehtyä tarvittavat hälytykset pelastustoimi vastaa tämän jälkeen tilanteen hoitamisesta (Sisäasiainministeriö 2006, 3-4).

Saimaa VTS Master's Guiden mukaan aluksen tulee viipymättä ilmoittaa VTS-keskukselle kaikki merenkulun turvallisuuteen liittyvät poikkeamatilanteet. Kuitenkin ”*onnettomuustilanteessa tai sen uhatessa*” aluksen tulee ohjeen mukaan ”*ottaa ensin yhteys Meripelastuskeskukseen*”. Myös englanninkielisessä

7 Merenkulun hätä- ja turvallisuusjärjestelmä, Global Maritime Distress and Safety System (GMDSS)

8 Digitaaliselektiivikutsu, Digital Selective Calling (DSC)

ohjeessa neuvotaan samoin: ”*In case of accidents or risks of accidents, vessels should first contact the MRCC.*” (Liikennevirasto 2015, 2.) Tämä havaittiin virheelliseksi tiedoksi, ja Saimaa VTS Master’s Guide tullaan päivittämään välittömästi. Saimaa VTS hoitaa hätä- ja turvallisuusliikenteen Saimaan syväväylästä alueella, ei Meripelastuskeskus. Onnettomuustilanteessa tai sen uhatessa aluksen tulee ottaa yhteyttä Saimaa VTS:ään VHF-kanavalla 9 tai suoraan 112:een. (Jämsen 2017.) Hälytysketju voi toisinaan⁹ sisältää useita vaiheita ennen alueen pelastusviranomaisen saavuttamista. Tiedonvaihdossa on tärkeää, että tiedot välittyvät oikein ja kaikkien toimijoiden ymmärtämässä muodossa. Aikaisemmissa onnettomuustapauksissa terminologian ja teknisen sanaston ymmärtämisessä sekä erilaisten toimintamallien yhteensovittamisessa on havaittu ongelmia. Eräässä onnettomuustapauksessa toiminta viivästy merkittävästi, kun Hätäkeskus ei ymmärtänyt WGS84-koordinaatteja, sillä he käyttävät normaalisti eri koordinaattijärjestelmää. Tilanne on kuitenkin jo parantunut. (Jämsen 2016.) DSC-laitteella lähetetyssä hätähälytyksessä koordinaatit tulevat automaattisesti oikein. Hätäkutsu annetaan kuitenkin yleisemmin VHF-radiolla puheella, jolloin sijainnin voi tarkistaa aluksen AIS-tiedoista (Jämsen 2016).

Oleellista on osata kysyä kohdealukselta niitä tietoja, joita eri toimijat tarvitsevat toimintansa tarkoituksenmukaiseen käynnistämiseen. Alkuvaiheessa lähtötiedot (Vuotaako se? Mitä vuotaa? Vuotaako sisään vai ulos?) ovat pelastustoimelle ensiarvoisen tärkeitä (Hämäläinen 2016a). Tiedonkulun tehostamiseksi jokainen torjuntaoperaatioon osallistuva voisi listata etukäteen tiedot, joita se tarvitsee oman toimintansa tehokkaaseen käynnistämiseen. Esimerkiksi eräiden öljysatamien toimintaperiaatteena on lähettää kysymyslista jo etukäteen tiedoksi alueelle saapuvalla alukselle, jolloin miehistöllä voi olettaa olevan valmiit vastaukset, jos jotain tapahtuu.

Hankkeen työpajassa on esitetty myös, että hälytystiedon tulisi olla Hätäkeskuksen vasteessa, jotta voidaan varmistaa Suomen ympäristökeskukselle kulkeva tieto tapahtuneesta öljyvahingosta tai sen vaarasta, Suomen ympäristökeskukselle voisi laittaa tiedoksi suuret tai keskisuuret vahingot.

9 Kuten M/S Traderin karilleajossa Sulkavalla 16.9.2011.

Käytettävissä olevat tietolähteet

VTS-viranomainen toimii tiedonvälittäjänä haveristin ja pelastusviranomaisen välillä, kunnes he saavat suoran viestintäyhteyden toisiinsa. Jos puhelinyhteys tai VHF-radioyhteys toimii heidän välillään, VTS:n rooli vähenee vastaavasti. (Jämsen 2017.) Aluksen päällikkö (tai konepäällikkö tai muu miehistön jäsen) toimii ensisijaisena tiedonlähteenä haveristilla. Noin puolessa Saimaalla liikennöivissä aluksissa on myös suomalainen luotsi (Paldanius 2016). Luotsin ollessa aluksella vahinkohetkellä hän voi toimia yhteysupseerina aluksen ja Hätäkeskuksen ja/tai pelastustoimen välillä. Luotsikin on täysin riippuvainen siitä tiedosta, jota hän saa aluksen päälliköltä (Väisänen 2016).

Silloin kun luotsi ei ole käytettävissä, voi yhteisen kielen löytyminen olla suuri haaste. Tämä konkretisoitui muun muassa Etelä-Savon pelastuslaitoksen harjoituksessa, jossa testattiin toimintamalleja alusonnettomuustilanteessa, jossa luotsi oli menettänyt tajuntansa. Tiedonvälitys alukselta pysähtyi, sillä Hätäkeskuksesta ei löytynyt tarvittavan kielen tulkkia. (Hämäläinen 2016a). Joskus kielimuuri voi olla myös luotsin ja miehistön välillä (Paldanius 2016).

Viivettä alkutietojen saamisen voi toisinaan tuoda myös miehistön pieni koko, tyypillisesti viisi kuusi henkilöä, jolloin esimerkiksi tankkien peilaaminen vuotojen todentamiseksi vie aikansa (Paldanius 2016). Jos aluksella on useampia vahinkotilanteita tai toimintoja yhtäaikaaisesti, kuten öljypäästö ja tulipalo, miehistön resurssien rajallisuus on huomattava hidaste tiedon keruussa ja välittämisessä. Lisäksi toiset miehistöt ovat luonnollisesti toimintakykyisempiä ja kokeneempia kuin toiset. Yleisen tietoisuuden lisääminen ja harjoittelu vahinkotilanteita varten toisi yhteistoimintaan lisää sujuvuutta. (Paldanius 2016.) Viestintää tuskin voi koskaan harjoitella liikaa. Viestintärutiinia tuleekin ylläpitää säännöllisin harjoituksin erityisesti harvoin sattuvia tilanteita varten, joissa operoi monitoimijainen joukko eri viestintäkanavineen ja -kulttuureineen. Esimerkiksi alusöljyvahingon torjunta on tällainen tilanne. Onnettomuustilanteen aikaisessa viestinnässä on esimerkiksi huomioitava, ettei kaikilla toimijoilla ole käytössä VIRVE-radiopuhelimia¹⁰, vaan yhteydet muodostetaan VHF-radiopuhelien ja GSM-puhelien avulla. Osa tiedonvälityksestä jää siten muilta kuulematta ja on välitettävä heille erikseen.

10 Viranomaisradioverkossa toimiva päätelaite, radiopuhelin.

Tiedonlähteitä on hyödynnettävä monipuolisesti. Esimerkiksi Liikenneviraston satamaliikenteen PortNet-tietojärjestelmä tulee huomioida lisätiedon lähteenä (Väisänen 2016). PortNetin kautta saa tarkempaa tietoa mm. aluksen lastitilanteesta. Potentiaalinen ympäristövahingon vaara on suurempi aluksen ollessa lastissa, ja siksi tieto lastitilanteesta on merkityksellinen pelastustoimelle. Lastista ei tule automaattisesti tietoa hätäsanomassa, mutta Saimaa VTS kysyy sen saadessaan onnettomuusilmoituksen (Jämsen 2016). Tieto lastissa olosta saadaan AIS-tiedoista ja tarkempi lastitieto PortNet-järjestelmästä. Tällaiset tiedonhaku-tehtävät voisivat soveltua esimerkiksi ISTIKEn¹¹ tehtäviin.

Aluksen päälliköltä itseltään, konepäälliköltä ja miehistön jäseniltä, luotsilta, VTS-viranomaisilta ja merenkulun tarkastajilta saatavan tiedon lisäksi pelastuslaitoksella on käytettävissään myös alukselta löytyviä kirjallisia dokumentteja, joita käsitellään seuraavissa luvuissa.

Öljypäiväkirja

Merenkulun ympäristönsuojelulain (2009/1672) toisen luvun 6. pykälän nojalla öljysäiliöaluksessa, jonka bruttovetoisuus on vähintään 150 bruttorekisteritonnia, aluksen päällikön tai hänen valvontansa alaisena muun päällystöön kuuluvan on pidettävä öljypäiväkirjaa. Lisäksi muissa aluksissa, joiden bruttovetoisuus on vähintään 400 bruttorekisteritonnia, aluksen päällikön tai hänen valvontansa alaisena muun päällystöön kuuluvan on pidettävä koneistotiloja koskevaa öljypäiväkirjaa. Öljypäiväkirja on myös pidettävä paikassa, jossa se on helposti saatavissa tarkastusta varten, ja sitä on säilytettävä kolme vuotta viimeisen merkinnän tekemisestä. (Merenkulun ympäristönsuojelulaki 2009/1672, 2. luku, 6§.)

Öljypäiväkirjasta tulee selvittää säiliöiden lastaus, purku, pesu ja jätteiden purkaminen tai polttaminen. Öljypäiväkirjaan merkitään tankkien sisällöissä tapahtuneet muutokset (siirrot toisiin tankkeihin, tyhjennykset ja täydennykset). Näin aluksella ollaan koko ajan tietoisia polttoainemääristä, öljyylaaduista ja muiden tankkien tilanteesta. Tiedot tarkastetaan päivittäisillä peilauskierroksilla, jolloin voidaan havaita mahdolliset muutokset ja ryhtyä selvittämään, jos jotain normaalista poikkeavaa ilmenee. Öljypäiväkirjasta voidaan siten tarkistaa vaurioituneen tankin

11 Etelä-Karjalan, Etelä-Savon, Kymenlaakson, Pohjois-Karjalan ja Pohjois-Savon pelastuslaitosten yhteinen tilannekeskus ISTIKE (Itä- ja Kaakkois-Suomen pelastuslaitosten tilannekeskus), joka aloitti toimintansa vuoden 2014 alussa.

öljyalaatu ja oletettu sisältömäärä vahingon tapahduttua. Päiväkirjaan tulee merkitä myös onnettomuuden seurauksena tapahtunut tai muu poikkeuksellinen öljyn tyhjentäminen. (Merenkulun ympäristönsuojelulaki 2009/1672, 2. luku, 6§.)

Öljypäiväkirjan täytöstä on hyvin tarkat ja yksityiskohtaiset määräykset. Öljypäiväkirjaa säilytetään yleensä konevalvomossa. Pienemmissä aluksissa, jossa ei ole erillistä konevalvomoa, sitä voidaan pitää komentosillalla, toimistossa tai konepäällikön hytissä.

Polttoaineen luovutustodistus, käyttöturvallisuustiedote ja polttoainenäytteet

Aluksella olevasta polttoaineen luovutustodistuksesta on käytävä ilmi MARPOL-yleissopimuksen VI liitteen V lisäyksen mukaiset tiedot. Luovutustodistukseen on myös liitettävä polttoainenäyte. Polttoaineen luovutustodistus on pidettävä aluksella sellaisessa paikassa, että se on helposti saatavilla tarkastusta varten. Todistus on säilytettävä kolme vuotta siitä, kun polttoöljy on toimitettu alukselle. (Merenkulun ympäristönsuojelulaki 2009/1672, 7. luku, 9§.)

Luovutustodistukseen liitettyä näytettä toimitetusta polttoaineesta on säilytettävä aluksella, kunnes polttoöljyä on merkittävästi kulutettu, mutta vähintään 12 kuukauden ajan (Merenkulun ympäristönsuojelulaki 2009/1672, 7. luku, 9§). Polttoainenäytteellä on merkitystä esimerkiksi öljypäästön rikosoikeudellisen vastuun osoittamisessa. Suurissa öljyvahingoissa polttoainenäytettä on hyödynnetty myös öljyn käyttäytymisen ennakointiin. Öljynäyte on mahdollista lähettää analysoitavaksi laboratorioon, jolla on laaja näytetietopankki aiemmista öljyvahingoista ja tarkoitukseen soveltuvat laitteet. Esimerkiksi Cedren laboratoriot Brestissä, Ranskassa, voivat verrata analyysituloksia tietopankkinsa aineistoihin ja saada lisätietoja esimerkiksi öljyn käyttäytymisestä aikaisempien vahinkotapausten mukaan. Tästä voisi olla erityisesti hyötyä vähemmän tunnettujen aineiden, kuten biopolttoaineiden torjunnassa. Suomessa öljynäytteen analysoimisesta vastaa rikostutkinnan ja siten myös alusöljyvahingon yhteydessä poliisin rikostekninen laboratorio. (SÖKÖ 2011, V8, 12.)

Polttoaineen luovutustodistuksesta selviää polttoaineen ominaisuudet. Polttoaineen tiheydestä voidaan esimerkiksi päätellä, jääkö öljy kellumaan veden pinnalle. Saimaalla liikennöivät alukset käyttävät Marine Gas Oilia (MGO), joka on kevyttä polttoöljyä. Tässä selvityksessä tutkittujen alusten luovutustodistus-

ten perusteella Saimaalla käytetyn polttoaineen tiheys vaihtelee välillä 838,8–840,5 kg/m³ ja rikkipitoisuus 2,2–8,7 mg/kg.

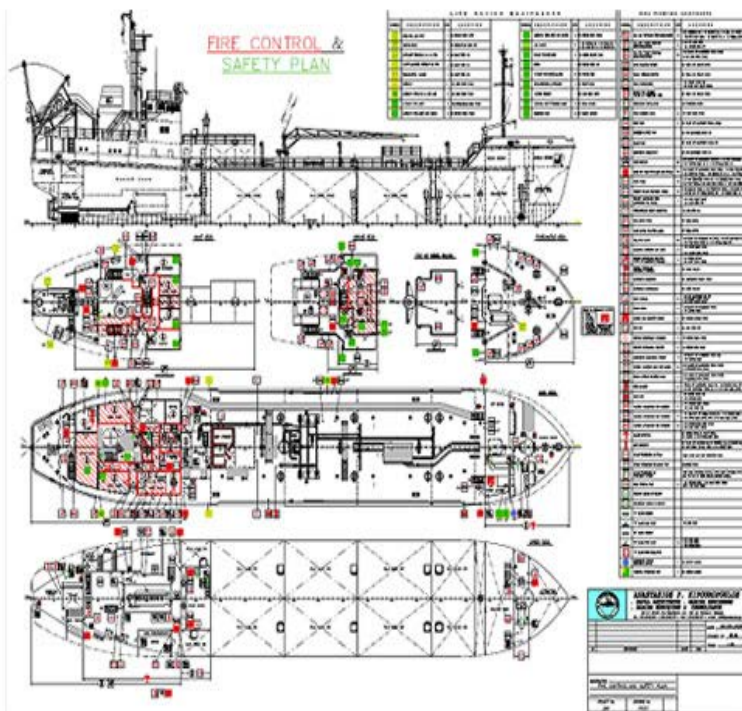
Polttoaineen käyttöturvallisuustiedotteesta selviää valmistajan antamat tiedot polttoaineen ominaisuuksista, myrkyllisyydestä ja haittavaikutuksista ihmisille, vesieliöille ja ympäristölle sekä ensiaputoimet, jos aineelle on altistunut. Käyttöturvallisuustiedotteen ohjeet vuototilanteessa toimimiseen ovat usein kovin yleisluontoisia, mutta tiedotteesta löytyvän tuoteyksilöinnin perusteella (UN-/CAS-numero) voidaan etsiä tarkemmat toimintaohjeet esimerkiksi OVA-ohjeista. Lisätietoa aineesta löytyy CAS-numeron avulla myös Euroopan kemikaaliviraston (ECHA) tietokannasta¹².

Aluksen piirustukset, Tank Plan ja Safety Plan

Öljypäiväkirjan etuosassa on yleensä tankkiipiirustus, *Tank Plan*. Saimaalla liikkuvia erilaisia alustyyppisiä on alle kymmenen (Paldanius 2016), mutta alusten tankkikaavioiden tutkiminen osoitti niiden moninaisuuden. Erilaisten formaattien ja merkintätapojen vuoksi ne eivät olleet kovinkaan helposti tulkittavia. Esimerkkejä alusten tankkikaavoista löytyy Hannu Heikkilän ÄLYKÖ-hankkeelle tekemästä opinnäytetyöstä *Laivan teknisen kaavion käyttö onnettomuustilanteessa Saimaalla*, Kymenlaakson ammattikorkeakoulu 2016.

Laivan rakennepiirros on nähtävissä myös aluksen *Safety Planista* eli turvallisuussuunnitelmasta. Safety Plan on saatavilla muun muassa punaisesta tuubista aluksen pääkannella sisääntulon kohdalla (Paldanius 2016). Yleensä onnettomuustilanteessa aluksen päällikkö tai konepäällikkö avaa pelastusviranomaiselle Safety Planin ja öljypäiväkirjan sisällön, mutta dokumenttien tulkintaan olisi hyvä panostaa myös pelastuslaitosten harjoituksissa (Hämäläinen 2016a).

12 Saatavissa <https://echa.europa.eu/information-on-chemicals>



KUVA 1. Esimerkki aluksen Safety Planista (kuva Anastasios P. Kipouropoulos Technical Naval Co. Ltd).

Tankkikaavio kommunikointivälineenä

Saimaalla liikennöivistä aluksista suurin osa on venäläisiä aluksia, toiseksi suurimman osan muodostavat alankomaalaiset alukset ja suomalaisten alusten osuus on alle 20 % (Liikennevirasto 2016c, 19–22). Poikkeustilanteen viestintää saattaa siksi hankaloittaa yhteisen kielen puuttuminen. Lisäksi alustekninen sanasto, tankkien sijainnista kertovat kirjainlyhenteet tms. eivät välttämättä ole tuttuja kaikille päällystöpäivystäjille. Luotsin ollessa vahinkohetkellä aluksella toimii hän ”tulkkina” aluksen ja pelastustoimen välillä. Tilanteeseen, jossa kommunikointi tapahtuu suoraan, on tässä selvityksessä pyritty kehittämään viestintää helpottavia työkaluja. Yhdeksi kommunikointivälineeksi ehdotetaan tankkikaavioita. Vaikka polttoaineen määrät, sijainnit ja siirtotiedot löytyvät öljypäiväkirjasta, yleispätevän ja yksinkertaistetun mallipiirustuksen koettiin voivan olla hyvinkin käyttökelpoinen (Salminen 2016). Samaa kaavioideaa voisi käyttää myös aluspalon sijainnin osoittamiseen (Paldanius 2016). On kuitenkin varottava, ettei kaavioista muodostu ylimääräistä rasitetta (Hämäläinen 2016a). Saimaalla liikkuvat alukset eivät ole kovin pitkiä eikä polttoainetankkeja ole kovin montaa (Paldanius 2016). Kaavion käytön tarpeellisuus tulee siten arvioida tilannekohtaisesti.

ÄLYKÖ-hankkeessa luotiin mallipiirustukset kahdesta erilaisesta alustyyppistä: proomusta ja yleislastialuksesta. Yksinkertaistettuihin tankkikaavioihin voidaan merkitä vahinkohetken polttoainemäärät ja osoittaa vuotokohtat, vaikka yhteistä kieltä aluksen ja pelastusviranomaisten kesken ei olisi. Proomun yksinkertaistettu tankkikaavio pohjautuu MS Vekaran peilauslistoihin. Yleislastialuksen mallina on Wärtsilän aluspiirustukset Suomen ympäristökeskuksen koulutusmateriaalista. Tankkikaavioiden mallipiirustukset on esitetty liitteessä 1. Tavoitteena on ollut luoda toimintatapa, jossa väärinkäsityksen mahdollisuus on vähäinen ja joka tukisi torjuntatyön nopeaa aloittamista. Piirroksen avulla aluksen miehistö voi sormella osoittamalla kertoa missä bunkkeriöljyn, jäteöljyn, systeemiöljyn tai vastaavan vuoto sijaitsee.

Miehistön ensitoimenpiteet haverialuksella

Tehokkain keino öljyvahingon rajoittamiseen ja vahingon vaikutusten minimoimiseen on öljyvuodon pysäyttäminen ja öljyn leviämisen estäminen sen päästölähteellä. Saimaan alueella torjuntakaluston saapuminen vahinkopaikalle voi joissain tapauksissa kestää tunteja (Hämäläinen 2016a). Siten haverialuksen miehistön omat toimenpiteet tilanteen alkuhetkillä muodostuvat ensiarvoisen tärkeiksi. Ensitoimenpiteiden merkitystä korostaa myös se, että onnettomuus tapahtuu suurella todennäköisyydellä paikassa, jossa veden virtausnopeus on suuri (Halonen et al. 2016). Jos aluksen miehistön on mahdollista havaita öljyvuoto, reagoida siihen välittömästi ja ryhtyä rajoittamistoimiin, on vahingon laajentuminen estettävissä. Tässä luvussa käsitellään toimenpiteitä öljyvuodon havaitsemiseksi, pysäyttämiseksi ja leviämisen estämiseksi. Toimenpiteistä on laadittu myös tiivistetyt ohjeet suomen, englannin ja venäjän kielillä. Ohjeet ovat liitteessä 2.

Onnettomuuksia ehkäisevät toimenpiteet liittyvät lähinnä merimiestaitoihin, osaamiseen ja ennakkointiin aluksen ohjailussa. Tultaessa vaikeaan väyläosuuteen otetaan molemmat ruoripumput sekä keulaohjauspotkuri käyttöön. Tällöin alus vastaa nopeammin ruoriin ja on helpommin manoverattavissa. Muita toimenpiteitä voi mahdollisesti olla öljyntorjuntakaluston (jos sellaista on) valmisteleminen sääkannelle, josta se on käytettävissä välittömästi.

Öljyvuodon havaitseminen

Öljyn havaitseminen vedestä

Kun alus on saanut pohjakosketuksen, ajanut karille, törmännyt laituriin tai toiseen alukseen saaden vaurion öljyä sisältävään tankkiin, on aluksen miehistön välittömästi ryhdyttävä toimenpiteisiin. Yleishälytyksen antamisen jälkeen henkilökunnan tulee siirtyä aluksen SOPEP-suunnitelman mukaisiin tehtäviin. Yksi näistä on tarkistaa, vuotaako aluksesta öljyä veteen. Öljyn havaitseminen vedestä voi olla vaikeaa. Erityisesti pimeys ja aallokko häiritsevät havaitsemista. Öljy saattaa myös nousta pintaan kauempana aluksesta, jolloin sitä voi olla vaikea havaita haverialuksen kannelta (Hämäläinen 2016a).

Öljyn havaitsemiseen vedessä vaikuttaa öljyn määrä, laatu, ikä sekä öljyn säilyneisyysaste. Tuoreen öljypäästön voi havaita helpoiten ja luotettavasti paljaalla silmällä sekä haistamalla. Öljyn voi tunnistaa veteen muodostuneesta kalvosta. Öljyinen kalvo on hopeinen ja sateenkaaren väreissä kiiltelevä. Paksu öljylautta myös vaimentaa aaltoja sekä niiden muodostumista. Mitä paksumpi kalvo on, sitä tummempi se on. Saimaalla käytettävä kevytpolttoöljy on vettä kevyempää sekä veteen liukenematonta. Kevyenpolttoöljyn tiheys on 0,85 kg/l ja dieselin 0,88 kg/l, kun taas veden tiheys on 1,00 kg/l. Polttoaine leviää nopeasti veden pinnalla ja muodostaa millimetrien murto-osien paksuista kalvoa. Kevyestä polttoöljystä voi ensimmäisien vuorokausien aikana haihtua jopa 75 %. Lämpötila vaikuttaa haihtumiseen, joten haihtuminen on lämpimällä säällä nopeampaa kuin kylmällä. (WWF 2013.)

Vedessä olevan öljyn voi myös havaita erilaisilla kemiallisilla testeillä. Tällöin otetaan vedestä näyte ja toimitetaan se laboratorioon. Kyseinen toimenpide on hidas eikä sovellu miehistön käytettäväksi, koska mittaus-tulos tarvitaan nopeasti. On myös kehitetty kenttälaitteita, joilla voidaan mitata öljynpitoisuus vedestä, mutta kyseisiä laitteita Suomessa on käytössä vähän. Kyseisiä mittausmenetelmiä ovat UV-fluoresenssi sekä infrapunaan ja optiseen sirontaan perustuvat menetelmät, joilla voidaan havaita joko veteen liuenneet PAH-yhdisteet, kaikki alifaattiset ja aromaattiset yhdisteet, vedessä olevat öljypisarot tai veden pinnalla kelluva öljykalvo. (Malk et al. 2015.)

Valtion öljyntorjunta-aluksissa on käytössä tutkalaitteita (kuten Miros, Furu-no OSD ja Aptomar FLIR), jotka antavat kuvan öljyn levinneisyydestä. Kun kyseessä on pimeä tai aallokkoinen sää, helpottaa tutka huomattavasti öljyn

havaitsemista. (Santasalo 2016.) Mainittuja tutkalaitteita ei kuitenkaan ole pelastuslaitosten torjunta-aluksissa eikä tavallisissa kauppamerenkulun aluksissa. Merenkulkututka X-kaistalla, lyhyellä ja keskipitkällä pulssilla, saattaa erottaa vedenpinnasta paksuhkon öljylautan (Dickins 2010, 10). Miehistön kannalta helpoin ja nopein tapa havaita öljy vedestä on kuitenkin näkö- ja hajuhavainto.

Tankkien peilaus

Tankkien peilaaminen eli nestepinnan korkeuden mittaustapahtuu nykyään kaukopeilauksella konevalvontajärjestelmään. Kaukopeilauksen mittaustarkkuus ei ole vielä täysin luotettava, joten tarkka määrä saadaan käsin mittaamalla peilaustikulla tai -pilkillä. Peilaamisella voidaan todeta, onko tankkiin vuotanut vettä tai onko öljyä vuotanut tankista. Veden pinta voi olla vaikea havaita pelkästään peilauspilkistä, mutta öljyyn sekoittuneena se havaitaan pinnan nousun seurauksena. Peilaustikkuun on mahdollista sivellä vesipastaa, joka antaa värimuutoksen indikaationa mahdollisesta vedestä öljyn seassa (kuva 2). Kyseinen tahna helpottaa huomattavasti öljyn havaitsemista peilauspilkistä.



KUVA 2. Keltainen vesipasta, jonka kevytpolttoöljy värjää punaiseksi, siveltynä peilauspilkkiin (kuva Henri Heino 2016).

Peilauskierroksen tulokset voidaan esittää esimerkiksi tankkikaavion tai vastaavan avulla (katso liite 1), jolloin pelastuslaitoksen yksikön saapuessa kohteeseen saa yksikön esimies alkutiedot mahdollisemman nopeasti ja ilman tulkintaepäselvyyksiä.

Vuodon pysäyttäminen tukkimalla tai öljyn siirrolla

Öljyntorjuntalaki (1673/2009) ja merenkulun ympäristösuojelulaki (1672/2009) velvoittavat aluksen miehistöä ja päällikköä öljyvahingon sattuesssa ryhtymään sellaisiin välittömiin torjuntatoimiin, joita heiltä voidaan kohtuudella vaatia. Toimenpiteitä ovat kaikki, joilla ei vaaranneta miehistön ja aluksen turvallisuutta. Öljy voidaan siirtää vaurioituneesta tankista toiseen tankkiin tai toiseen alukseen, aluksen lasti voidaan siirtää aluksesta pois tai aluksen trimmiä ja kallistumaa voidaan koettaa muuttaa, jotta vauriokohta saadaan edullisempaan asentoon. Öljyn leviäminen tulee estää siis kaikin mahdollisin keinoin turvallisuuden rajoissa.

Kun öljyvuoto on havaittu, aloitetaan välittömästi toimenpiteet öljyn leviämisen estämiseksi. Vuodon ehkäisemiseksi on kolme eri metodia: i) poistetaan öljy rikkoutuneista tai rikkoutua uhkaavista säiliöistä, ii) paikataan syntyneitä reikiä ja iii) suoritetaan onnettomuusaluksen irrotus, pystyyn kääntö tai nosto siten, ettei ehjiä säiliöitä rikkoudu eikä rikkoutuneista tankeista aiheudu ulosvuotoja. Kyseinen toimenpide voidaan toteuttaa vain, mikäli ei havaita ulosvuotoja tai se ei aiheuta muuta vaaraa. (Suomen ympäristökeskus 2013.) Mikäli toimenpide suoritetaan, täytyy varmistua, ettei öljyä pääse vuotamaan ulos aluksesta. Tällöin tulisi välttää voimakkaita potkurivirtoja alukseen tai iskuja aluksen runkoon. Myös haverialusta hinattaessa on hinausnopeus pidettävä alhaisena, ettei synny tankit tyhjentävää imua (Väisänen 2016). Tutkintaraporteista on selvinnyt, että suurin osa aluksista on päässyt omilla koneilla irti pohjakosketuspaikasta. Tällöin ei myöskään ole havaittu vuotoa aluksen rungossa (Suomen ympäristökeskus 2013).

Kun alus on saanut vaurion vesilinjan läheisyyteen, öljyn siirto vuotavasta tankista aluksen toisella puolella oleviin tankkeihin tulee aloittaa mahdollisimman nopeasti. Siten laivan trimmi¹³ muuttuu ja vuotokohta siirtyy vesilinjan yläpuolelle. Jos tämä toimenpide osoittautuu riittämättömäksi, siirretään aluksen toiselle puolelle öljyä tai tarvittaessa ballastivettä muista tankeista. Öljyn pumpausta jatketaan, kunnes vuotavan tankin öljypinta on vuotokohdan alapuolella. (Seaworm.)

Kun vuotokohta on vesilinjan alapuolella, tilanne on toinen. Silloin vuotokohta joka tapauksessa jää vesilinjan alapuolelle, vaikka aluksen trimmiä muutetaan.

13 Aluksen keula- ja peräsyväyksien erotus

Tällaisissa tapauksissa voidaan minimoida ulos vuotavan öljyn määrää poistamalla öljyä vuotavan tankin päällyskerroksista kannettavilla pumpuilla. Veden päästessä tankkiin se valuu alaspäin, koska veden tiheys on öljyä suurempi. Öljytankin kiinteä siirtopumppu imee yleensä tankin alaosasta ja tässä tilanteessa se imisi vettä. Tämän vuoksi öljyn poistoon tulee käyttää kannettavia pumppuja. Niiden käyttöä tarvitaan myös silloin, jos putkistot ovat vaurioituneet. (Seaworm.)

Silloin kun vuotokohta on vedenpinnan alapuolella ja tankissa olevan nesteen pinta on vedenpintaa alempana, vuotaa vesi sisäänpäin. Tällöin on vaara, että tankkien huuhotusputkista purskahtaa öljyä kannelle. Nämä öljymäärät ovat yleensä hyvin pieniä, ja helpoin sekä nopein toimenpide on laittaa imeytysmattoa tai -purua huuhotusputkien alle.

Tulpat, vuotokiilat ja -matot

Karilleajo- tai pohjakosketustapauksessa, jossa aluksen runko on saanut vaurioita ja vettä pääsee vuotamaan alukseen, voidaan vuoto pysäyttää varmistamalla vuodon rajoittuminen pienimpään mahdolliseen osastointiin. Käytettävissä on myös erilaisia kiiloja, tulppia ja vuotomattoja. Öljyvuototapauksessa vuodon tukkiminen sisäpuolelta käsin on kuitenkin mahdotonta. Jos alus on ajanut kivellet, repeämä saattaa olla pitkä, mutta kivi tai kari tukkii samalla vuotokohdan. Tällöin sukeltaja ei pääse tukkimaan vuotoa, ja alus on irrotettava kivelletä ennen vuodon tukkimista. Sukeltajan turvallisuus tulee aina ottaa huomioon ennen toimenpiteisiin ryhtymistä. (Hämäläinen 2016b.)

Pieniä vuotoja voidaan paikata puukiiloilla, vuotomatoilla ja erilaisilla kovettuvilla massoilla, kun taas isompia reikiä voidaan paikata peitelevyillä, jotka hitsataan tai ammutaan kiinni aluksen runkoon. Puukiilojen tarkoituksena on vuodossa vähentää virtausta, jolloin paine tankissa nousee. Tällöin ulos virtaavan öljyn määrä vähenee. Sukeltajan on mahdollista lyödä kiiloja ja rättejä vuotokohtaan, mikäli se on turvallista. Tällöin kiilan ympärille pyöritetään rätti, joka tekee siitä tiiviimmän. Ensin lyödään isoimmat kiilat reikään ja pienemmillä yritetään tilkitä loppuja reikiä. (Laakkonen 2016.)

Reikään voidaan myös asettaa T-kappale, jossa on vaahtomuovityyny, joka kiristyyessään reiän päälle tukkii vuodon, katso kuva 3. Tyynyjä on erikokoisia, joten tilanteen mukaan voidaan valita sopiva tyyny. Kauppa-aluksilla tai pelastuslaitoksilla ei ole käytössä kyseistä välinettä, mutta esimerkiksi puolustusvoimilla on. (Laakkonen 2016.)



KUVA 3. MLC Hämeenmaalla käytössä oleva T-paikka (kuva Henri Heino 2016).

Vuotomatto on tehokas tapa estää veden pääsy aluksen sisään, koska veden ulkoinen paine painaa maton aluksen kylkeä vasten. Mikäli vuotavat tankit ovat veden pinnan alapuolella, vesi vuotaa yleensä sisäänpäin, jolloin matolla voidaan ehkäistä virtausta tankkiin ja myös öljyn ulostulo tankista.

Maton asentaminen voi olla mahdotonta, mikäli alus makaa karilla pohjastaan, sillä mattoa ei päästä uittamaan aluksen alta ja kiristämään kulmista. Myös kova tuuli ja aallokko vaikeuttavat maton uittamista paikalleen, mikäli sukeltajaa ei ole käytettävissä.

Puolustusvoimissa käytössä olevat pressusta tai hamppukankaasta valmistetut vuotomatot ovat kooltaan yhdestä neljään neliometriä. Kaikista neljästä kulmasta lähtee köydet, joilla matto pystytään kiristämään aluksen partaaseen. Maton toisessa reunassa on kettingit, jotka pitävät maton irti rungosta sen asettamisen ajan sekä upottavat maton, joka muuten kelluisi.

Yksi mahdollisuus maton asentamiseen helposti ja pitävästi olisi kestmagneetit, jotka sitoisivat maton kiinni reunoistaan aluksen runkoon. Koska kauppa-aluksilla ei ole vielä käytössä vuotomattoa, se voitaisiin valmistaa vahinkotilanteessa normaalista pressusta, jonka päihin kiinnitetään köydet sekä painot, joilla se saadaan painumaan veden alle. (Hämäläinen 2016b; Laakkonen 2016.)

Etelä-Savon pelastuslaitoksella on käytössä pressukankaasta valmistettu kooltaan 6 metriä x 12 metriä oleva matto. Etelä-Savon pelastuslaitoksella on myös puukiiloja ja rättejä. Samoin Pohjois-Savon pelastuslaitokselta löytyy muun muassa sulkuutyynysarjoja.



KUVA 4. Puolustusvoimien käyttämä vuotomatto pressukankaasta. Nuoli näyttää ketjun, joka pitää maton irti aluksen kyljestä sekä vetää maton veden alle (kuva Henri Heino 2016).



KUVA 5. Puolustusvoimien käyttämä vuotomatto, jossa on vaijerit reunoissa maton paikalleen asettamisen helpottamiseksi (kuva Henri Heino 2016).

Puolustusvoimat käyttävät myös niin sanottua sateenvarjopaikkaa. Kyseinen laite on sateenvarjon näköinen, sen kupuosa on pressua ja se työnnetään vuotoreiästä läpi. Tämän jälkeen kiristetään varresta, jolloin pressu rajoittaa virtausta mutta ei estä sitä kokonaan. (Laakkonen 2016.)

Paineilmatulpat, jotka voivat olla pyöreitä tai kiilamaisia, ovat materiaaliltaan joustavia, jolloin vuotoreikään työnnettäessä ja paineistettaessa ne puristuvat reiän muotoon. Kyseiset laitteet vaativat kuitenkin paineilman ja mahdollisesti pitkät letkut, jotta sukeltaja pystyy asettamaan ne kohteeseen. Tulpat ovat helpokäyttöisiä, sillä niissä on takaiskuventtiili, jolloin tulpan täytyttyä voidaan letku vaihtaa välittömästi seuraavaan tulppaan. (Laakkonen 2016.) MLC Hämeenmaalla käytössä olevia paineilmatulppia operoidaan sukelluspullojen avulla (Laakkonen 2016), ja sama käytäntö on esimerkiksi Etelä-Savon pelastuslaitoksella (Silmäri 2016).



KUVA 6. MLC Hämeenmaalla käytössä oleva paineilmatulppa (kuva Henri Heino 2016).

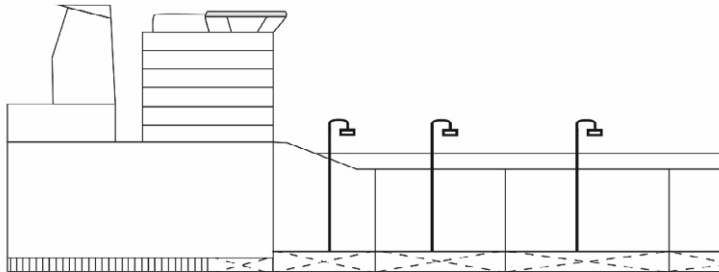
Öljyn siirtopumppaus

Öljyn siirtopumppauksella tarkoitetaan öljyn pumppaamista aluksen omilla pumpuilla aluksen sisällä toiseen tankkiin tai toisen aluksen tankkeihin. Ristiliityntää käytettäessä öljyä voidaan siirtää melkein mihin tahansa aluksella.

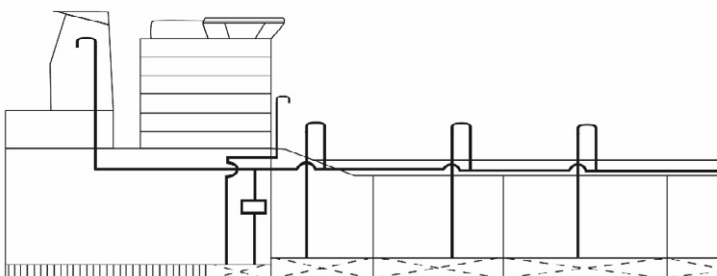
Polttoainetankit ovat sijoitettu aluksen pohjaan tai mahdollisesti kylkiin. Tämä tarkoittaa sitä, ettei öljy ole ainoastaan yhdessä tankissa. Konehuoneen yhteydessä on päivätankki, josta pääkoneet ottavat separoidun polttoaineen, mikä-

li aluksissa käytetään separaattoria. Tämän selvitystyön kartoittamissa aluksissa polttoaineen määrä on pieni verrattuna kokonaiskapasiteettiin: noin 40–50 kuutiota, kun taas kokonaiskapasiteetti on 100–150 kuutiota. Tämä mahdollistaa tankkireservin öljyn siirtämiseksi aluksen omalla pumpulla toiseen tankkiin. Öljyä siirrettäessä on huomioitava aluksen vakavuus: väärillä toimenpiteillä voidaan alus mahdollisesti kaataa ja aiheuttaa suurempi vahinko. Myös muuttamalla aluksen trimmiä tai kallistuskulmaa voidaan estää öljyn vuotaminen nostamalla vauriokohta veden pinnan yläpuolelle.

Mikäli tankin tyhjennys ei onnistu aluksen omilla putkistoilla ja pumpuilla, se voi johtua black outista. Jos siirtopumppu on vaurioitunut käytetään käsipumppua öljyn siirtämiseen. Tankki voidaan tyhjentää myös tankkien huohotusputkien kautta tai ”hot tap” -menetelmällä, joka tarkoittaa uusien putkiyhteiden tekemistä suljetusti ja vuodottomasti polttoainesäiliön seinän läpi joko tankkikannelta ylhäältä tai aluksen pohjan läpi. Menetelmässä asennetaan venttiili poraamalla reikäsahalla teräslevyn läpi. Tällöin voidaan levyn takana oleva öljy poistaa ilman ulosvuotoja. Venttiilejä on sukeltajien avulla tai erikoisroboteilla asennettaviksi. (Jolma 2016.)



Yksittäiset ilmaputket



Ilmaputket ryhmäputkena

KUVA 7. Polttoainetankkien huohotusputket (Suomen ympäristökeskus).

Saimaalla toimii VA Kummeli, joka on öljyntorjunta- ja monitoimialus. Kummelissa on 75 kuution varastotankit, joihin voidaan pumpata öljyä. Alukseen mahtuisi siten haverialuksen mahdollinen polttoainetankin sisältö.

Aluksen päällä on sukeltajavalmius, mutta ei aina itse sukeltajaa mukana. Lähtövalmius on seitsemänä päivänä viikossa työaikana (klo 8–16). Aluksen satamina toimivat Lappeenranta ja Savonlinna. (Luukkanen 2016.)

Leviämisen rajoittaminen vedessä

Vuodon rajoittamiseen ja leviämisen estämiseen vedessä käytetään rajoitus- ja imeytyspuomeja. Imeytyspuomi on normaalia rajoituspuomia kevyempää ja helpompaa käsitellä, ja siksi se soveltuisi käytettäväksi myös haverialukselta. Imeytyspuomeja on sekä pitkomaista että puomityypistä. Imeytyspuomi on vettä hylkivää, mutta se imee öljyä ja bensiiniä tehokkaasti. Erään puomityypin imukyky on 45–50 litraa puomia kohden. Yhteen pakkaukseen kuuluu neljä pituudeltaan 300 cm:n puomia, jolloin kokonaiskapasiteetti olisi siten 12 metriä pitkällä puomilla noin 180 litraa. (Witre Oy.)

Öljypuomien valmistajia ovat muun muassa Lamor Corporation Ab ja NOFI. Puolustusvoimilla on käytössään NOFI Boompack -puomia. Kyseinen puomi on nopeasti käyttöön otettavissa. Puomi on poimutettuna paketissaan, ja käyttöön otettaessa se kiinnitetään kahdella köydellä veneen perään. Pakettia voidaan hinata 18 solmun nopeudella veneen perässä, ja kun puomi halutaan käyttää, avautuu paketin perässä oleva jarrupussi vetäen puomin pois paketistaan. Lamorin pikapuomi (*Rapid Deployment Boom Pack*) on asennettu alumiinilavetille, ja sitä voidaan kuljettaa trailerilla ja nostaa aluksen kannelle. (Lamor Corporation Ab.)

Öljy ei välttämättä nouse vedenpintaan aivan aluksen kyljen vierestä vaan esimerkiksi kymmenen metrin päästä. Puomit voidaan silloin asentaa aluksen päällä olevalla FRB- tai työveneellä tai ensimmäisenä paikalle tulevan pelastuslaitoksen tiedusteluveneen avustuksella. Aina ei ole mahdollista asettaa puomia esimerkiksi karille ajaneen aluksen ympärille tiiviisti karin tai rantakivikon estäessä. Silloinkin öljypuomilla voidaan merkittävästi estää ja hidastaa öljyn leviämistä.

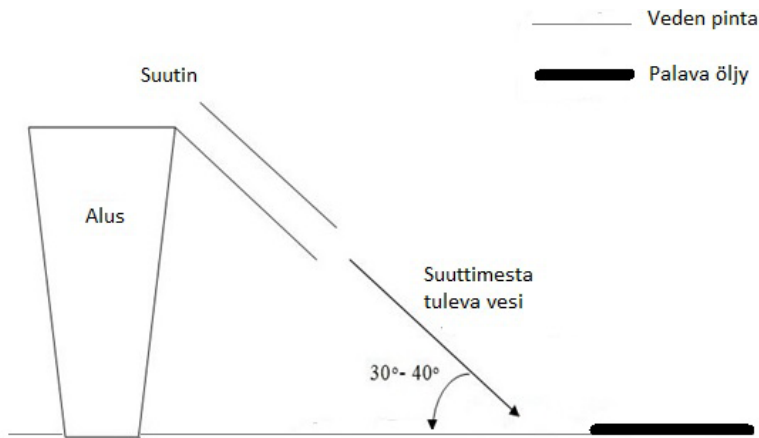
Jos mahdollista, alusta voidaan kääntää tuulen ja veden virtaussuuntaan nähden siten, että aluksen runko toimii esteenä öljyn leviämislle. Ilman puomitusta tästä ei kuitenkaan ole apua kovin pitkään.

Turvallisuuden takaaminen

Kevyt polttoöljy on palava neste, joka voi syttyä lämmön, kipinöiden tai liekkien vaikutuksesta. Öljysumu syttyy kaikissa lämpötiloissa. (Gråsten 2008, 10.) Kevyen polttoöljyn alhaisen höyrynpaineen (<1 kPa 38 °C) takia höyryjä ei todennäköisesti muodostu niin paljoa, että ne aiheuttaisivat hengitettynä terveysvaikutuksia. Öljyn höyryt voivat kuitenkin aiheuttaa muun muassa verenpaineen nousua, pahoinvointia ja väsymystä. Öljysumu voi ärsyttää hengitysteitä ja aiheuttaa hengenvaarallisen kemiallisen keuhkotulehduksen. (Gråsten 2008, 19.) Öljyvudon tapahduttua aluksen miehistön tulee olosuhteiden mukaan suojautua henkilökohtaisilla suoja-asusteilla (PPE) sekä harkita, tuleeko esimerkiksi aluksen asuintilojen tai konehuoneen ilmanvaihto pysäyttää.

Öljyvahingossa on tulipaloriski. Öljyonnettomuuden sattuessa aluksen palontorjuntavälineet tulee selvittää valmiustilaan. Jos tulipalo syttyy laivan puolella, sammutusoperaatio yleensä edellyttää savusukellusta. Aluspalossa pääasia on ihmisten pelastaminen. Jos käytössä olevat resurssit eivät riitä aluspalon turvalliseen sammuttamiseen, toimintaa ei suoriteta (Rajavartiolaitos 2012).

Jos vedessä oleva öljy syttyy, tulee alus, mikäli mahdollista, siirtää kauemmas tai ohjata tuulta ja veden virtausta vastaan. Jotta palo ei siirtyisi vedestä alukseen, voi palavaa öljyä ohjata pois päin aluksesta aluksen paloletkuja käyttäen. Vesi suihkutetaan vedenpintaa kohti noin 30–40 ° kulmassa veteen, ei öljyyn, jolloin virtausliike suuntaa öljylauttaa kauemmas, kuten on havainnollistettu kuvassa 8. Aluksen paloletkuilla tulee tarvittaessa jäähdyttää vaaralle alttiina olevia kohteita aluksessa ja sen ulkopuolella. Öljypalon sammuttamiseen käytetään vaahtoa. (Seaspirit.)



KUVA 8. Palavan öljylautan pitäminen etäällä aluksesta vesisuihkun avulla (kuva Denis Voroshilin 2016).

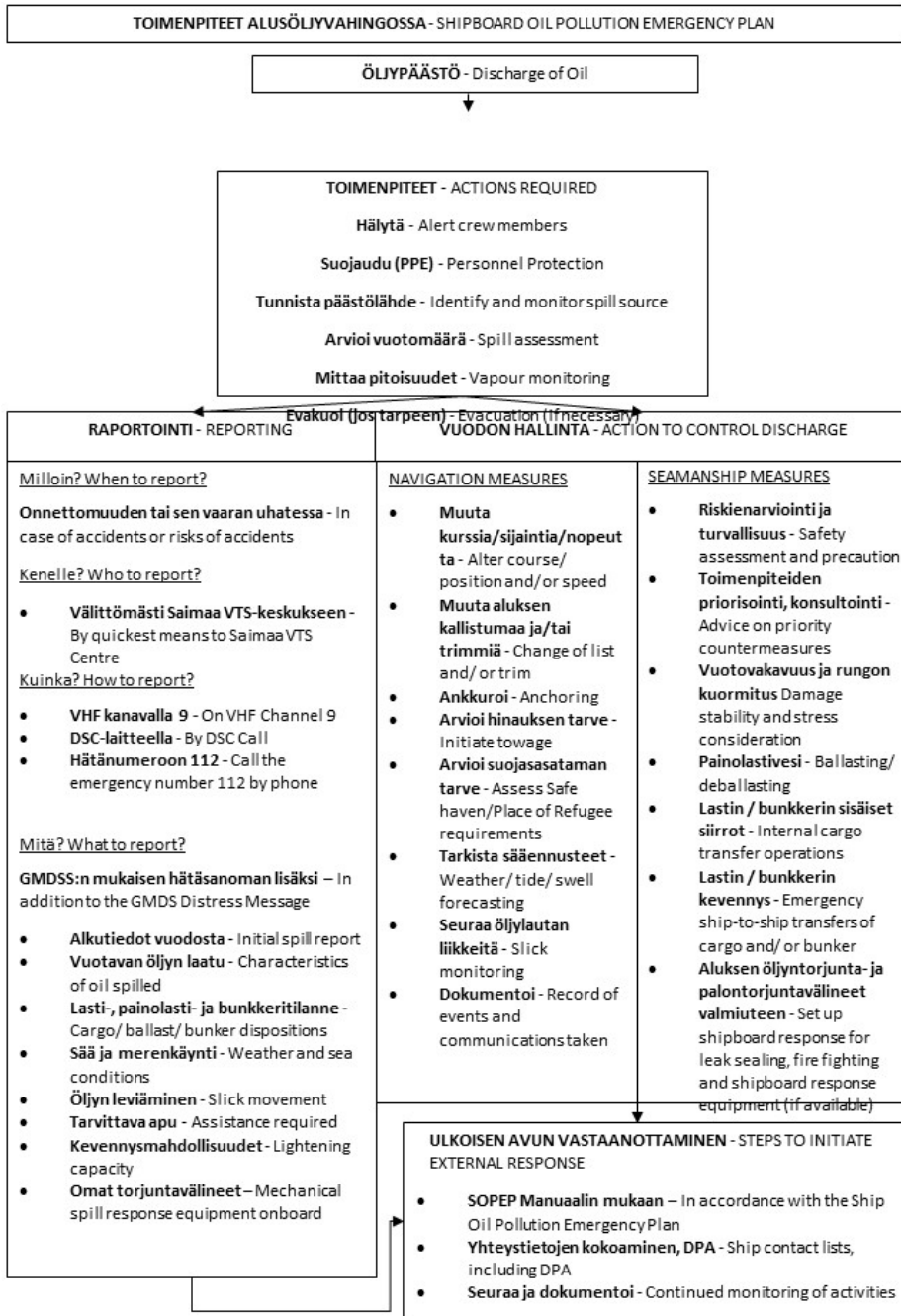
Myös öljyinen jäte voi olla syttyvää. Siksi kaikki aluksella tapahtuvassa öljyntorjuntaoperaatiossa syntyvät öljyjätteet pitää kerätä erilliseen paikkaan, jotta ne voidaan hävittää tarkoituksenmukaisesti.

Yhteenveto

Tässä selvityksessä tarkasteltiin kauppa-alusten oman miehistön toimenpiteitä öljyvahingosta ilmoittamiseksi sekä öljyvuodon havaitsemiseksi, pysäyttämiseksi ja leviämisen estämiseksi. Haverialuksen miehistön omat toimenpiteet tilanteen alkuhetkillä muodostuvat ratkaiseviksi. Nopeasti virtaava vesi sekä pelastuslaitoksen torjuntakaluston paikalle saamiseen kuluva aika korostavat miehistön toimenpiteiden merkittävyyttä. Pitkien etäisyyksien vuoksi tieto öljyvahingon mahdollisuudesta on ilmoitettava mieluiten etupainotteisesti.

Miehistön ensitoimenpiteistä on koottu vuokaavio (kuva 9). Öljyvuodon havaitsemisen ja tilanearvion jälkeen on otettava välittömästi yhteyttä Saimaan VTS-keskukseen työskentelykanavalla VHF9 sekä DSC:llä. Nopea ja oikeellinen tieto sekä aluksen yhteystiedot jatkokommunikointia varten minimoivat väärinkäsityksiä ja kommunikoinnin viiveitä. Yksiköiden saapuessa kohteeseen voidaan hyödyntää tankkikaavioita, safety plania tai muita viestintää helpottavia apuvälineitä tarpeen mukaan.

Miehistön toiminnan ohjenuorana on ihmishenkien turvallisuuden varmistaminen. Turvallisuus määrittelee myös ”ne välittömät torjuntatoimet”, joita aluksen miehistöltä ”voidaan kohtuudella vaatia”. Miehistön velvollisuus on ryhtyä kaikkiin öljyvuodon pysäyttämiseen ja vahingon leviämisen estämiseen tähtääviin toimenpiteisiin, jotka eivät vaaranna miehistön ja aluksen turvallisuutta. Toimenpiteet tulee olla selkeästi esitettyinä aluksen SOPEP-manuaalissa. Aluksen päällystön velvollisuus on varmistaa SOPEP-suunnitelman käyttökelpoisuus kyseiselle alukselle (yleisluontoisuuden sijaan) ja kyseiselle liikennöintialueelle (paikalliset yhteystiedot), sekä harjoituttaa miehistö SOPEP-manuaalin ja hälytysluettelon mukaisiin tehtäviin.



KUVA 9. Saimaalla liikennöivän aluksen toimenpiteet alusöljyvahingossa DNV GL -luokituslaitoksen SOPEP-mallisuunnitelmaa mukaillen (GL Group 2012, 6).

Johtopäätöksiä ja kehittämisehdotuksia

Alusöljyvahingon todennäköisyys Saimaan vesistöissä on vähäinen, mutta sellaisen seuraukset ovat huomattavat. Tehokkaimmin öljyvahingon seurauksiin voisi vaikuttaa haverialuksen oma miehistö heti päästön alkuvaiheissa. Miehistön mahdollisuudet itsenäiseen öljyvahingon torjuntaan ovat kuitenkin melko rajalliset. Torjuntatoimenpiteet rajoittuvat lähinnä polttoaineen siirtämiseen pois vuotavasta tankista ja lastin tai painolastiveden siirtämiseen aluksen trimmin ja kallistuman muuttamiseksi. Lisäksi voi olla mahdollista yrittää vuodon tukkimista, mutta vuotokohdan sijainnista riippuen siihen tarvitaan ulkopuolista sukeltajan apua. Miehistön toimenpiteet ovat ratkaisevia vahingon seurausten minimoinnissa. Siten miehistön ensitoimenpiteisiin käytettävissä olevia työkaluja tulee lisätä ja toimintamalleja luoda.

Vuodon rajoittamiseksi ja leviämisen estämiseksi vedessä käytetään rajoitus- ja imeytyspuomeja. Näitä on tällä hetkellä käytettävissä ainoastaan pelastusviranomaisilla. ÄLYKÖ-hankkeessa nähdään tärkeäksi lisätä imeytyspuomien, pikapuomien ja/tai rajoituspuomien käyttömahdollisuuksia kauppamerenkulun aluksilla. Ajatus ei ole uusi – vuonna 1993 Mikkelin vesi- ja ympäristöpiiri esitti Saimaan kuljetusten riskiselvityksessään harkittavaksi ”kohtuullista määrää” öljypuomeja muihinkin kuin öljytuotteita kuljettaviin aluksiin (Laasonen, Rytönen & Sassi 2001, 41).

Varustamojen velvoittaminen torjuntakaluston hankintaan Saimaalla liikennöiville aluksilleen voisi periaatteessa toteutua alueen erityisherkkyyteen vedoten. Merenkulun ympäristönsuojelulain 2. luvun 10. pykälän nojalla Suomen aluevesillä ja talousvyöhykkeellä voidaan ”*Valtioneuvoston asetuksella antaa MARPOL 73/78 -yleissopimuksen I liitteen, Helsingin sopimuksen ja Suomen muiden kansainvälisten velvoitteiden sekä Euroopan yhteisön säädösten täytäntöön panemiseksi tarkempia säännöksiä*”. Lisäksi ”*Liikenteen turvallisuusvirasto voi antaa MARPOL 73/78 -yleissopimuksen I liitteen, Helsingin sopimuksen tai Euroopan yhteisön säädösten täytäntöön panemiseksi teknisiä määräyksiä Suomen aluevesillä ja talousvyöhykkeellä*” esimerkiksi ”[öljyvahingon varalle laaditun] *valmiussuunnitelman sisältöä ja rakennetta*” koskien (Merenkulun ympäristönsuojelulaki 1672/2009).

Lainsäädännöllinen velvoite ei kuitenkaan tukisi sisävesiliikenteen kilpailukykyä. Kustannukset eivät myöskään kohdistuisi vesiliikennesektorin sisällä

tasapuolisesti kaikkiin toimijoihin. Varustamoja ei siten voida velvoittaa puomikaluston hankintaan, vaan sen tulee olla omaehtoista. Imagoedun lisäksi torjuntakaluston hyöty konkretisoituu mittavina säästöinä vahingon sattuessa. Siten varustamojen vakuutusyhtiöt voisivat tukea torjuntakaluston käyttöönottoa esimerkiksi alennettuina vakuutusmaksuina.

Kauppa-alusten torjuntakalustoa voisi hallinnoida esimerkiksi Liikennevirasto. Näin torjuntakalusto saataisiin kattamaan Saimaan sisäisen liikenteen lisäksi myös satunnaiset kävijät. Ulkomaan liikenteessä olevaan alukseen puomipaketti (tai imeytyspuomipussi) voitaisiin nostaa alukseen ja aluksesta Saimaan kanavalle. Talvella jääolosuhteissa osa puomikalustosta voisi olla sijoitettuna jäänmurtajille. Puomit voisivat olla myös luotsauslaitoksen hallussa. Lisäkouluttamalla luotsit öljyntorjuntaan löytyisi joka toiselta Saimaalla liikkuvalta alukselta öljyntorjunta-asiantuntija.

Imeytyspuomi on hankintahinnaltaan edullisinta. Aluksen ympäripuomitukseen riittää noin neljästä kuuteen kertaa aluksen pituuden verran puomia. Tyyppillinen Saimaalla liikennöivä alus on noin 80 metriä pitkä, joten hankittava puomipituus olisi noin 300–500 metriä alusta kohti. Edullisimman pitkomaaisen imeytyspuomin hinta on noin 40 euroa/metri (Witre Oy) ja näin hankintahinnaksi muodostuisi noin 12 000–20 000 euroa. Levymäinen tai helmallinen imeytyspuomi, pikapuomi tai rajoituspuomi ovat kalliimpia. Rajoituspuomia voisi harkita hankittavaksi myös lyhyempänä aluksen partaaseen tai kylkeen magneettiilitimin kiinnitettävänä puomipituutena, joka olisi helpommin alukselta käsiteltävissä. Markkinoilla on tarjolla myös pallelin päällä varastoitavaa pikapuomia, jonka siirrettävyys voisi olla eduksi nosto-operaatiossa suluilla. Pikapuomin tai rajoituspuomin hinta-arvioita ei tätä artikkelia varten tavoitettu. Hankintahinta ja käyttökustannukset jäävät kuitenkin huomattavasti ympäristövahingon torjunta- ja puhdistuskustannuksia alhaisemmiksi.

Saimaan kanavan liikenteessä kulkee vuosittain noin 100 erinimistä rahtialusta, joista suomalaisia aluksia on kymmenkunta (Merenkululaitos 2008, 10). Jos kaikille suomalaisille tai sekä suomalaisille että 50 %:lle ulkomaan lipun alla purjehtivista aluksista hankitaan 400 metriä omaa imeytyspuomia, muodostuisi kokonaishankintahinnaksi 160 000–880 000 euroa. Ulkomaisissa aluksissa voidaan käyttää samaa puomikalustoa useammassa aluksessa, joten puomin kiertonopeus vaikuttaa hankittavan puomin määrään. Imeytyspuomin imeytyskyvyn ollessa esimerkiksi noin 15 litraa/metri (Witre Oy), riittäisi 400 metrin puomi 6000 litran imeyttämiseen. Tämä kattaisi todennäköisimmät Saimaalla

tapahtuvat alusperäiset öljyvuodot sekä 30 % vakavammasta vahingosta (Halonen et al. 2016, 39). Jos vahinkopaikan läheisyydessä liikkuisi kolmekin kauppa-alusta samanaikaisesti, olisi myös vakavampi öljypäästö imeytettävissä lyhyen ajan sisällä.

Vaihtoehtoisesti Saimaan tunnistetuilla onnettomuustihentymäalueille voisi sijoittaa automaattisella laukaisujärjestelmällä toimivia puomeja (*automatic oil spill system, automatic oil boom system, auto boom*). Järjestelmän käyttövarmuudesta pakkasessa tai jääsohjossa tulee varmistua.

Puomikaluston hankinta ja käyttökoulutus soveltuisivat toteutettavaksi hankkeena, jolloin siihen voisi hakea myös ulkopuolista rahoitusta.

Edellä esitetyt kehittämisehdotukset koskevat tilannetta, jossa vahinko on jo sattunut. Ennaltaehkäisevät toimenpiteet liittyvät merenkulun turvallisuuden kehittämiseen yleensä. Riskienhallinta kuuluu Liikenneviraston, Liikenteen turvallisuusvirasto Trafín, luotsien sekä varustamojen päivittäisiin tehtäviin. Esimerkiksi Saimaa VTS puuttuu ennaltaehkäisevästi viidestä kymmeneen vaaratilanteeseen vuosittain (Liikennevirasto 2016c). Saimaa VTS:n rooli alusliikenteen turvallisuuden ja onnettomuuksien ennaltaehkäisyn ja näin myös ympäristövahinkojen vähentämisessä on siten merkittävä. Toisinaan Saimaan erityisolosuhteet voivat tulla satunnaiselle kävijälle yllätyksenä (Paldanius 2016). Saimaa VTS:llä sekä muilla merenkulun viranomaisilla on mahdollisuus välittää alueella ensi kertaa liikkuville ennakkotietoa toimintaympäristön erilaisuudesta ja antaa suosituksia, lisäohjeita tai mallipohjia esimerkiksi Liikenneviraston ja Trafín internetsivuilta ladattavaksi. Myös ÄLYKÖ-hankkeen koostamia ohjeita voidaan hyödyntää vapaaehtoisesti käyttöön otettavina toimintasuosituksina ympäristövahingon varalle.

Öljyntorjuntakaluston hankintavelvoitteen kohdistaminen varustamoille ei ole relevanttia, mutta sen sijaan SOPEP-suunnitelmiin voisi Saimaan erikoisolosuhteissa olla perusteltua laittaa muutamia lisävaatimuksia IMO:n minimivaatimusten lisäksi (Väisänen 2016). Varustamot ja alusten miehistöt suhtautuvat työhönsä ammattitilpeydellä. Myös ympäristövahingon vaaraan, torjuntatoimenpiteisiin ja niihin varautumiseen suhtaudutaan vakavasti. Kehitystyö onkin pitkälti riippuvainen varustamojen ja miehistöjen rajallisista resursseista. Siksi SOPEP-suunnitelmien tarkentamiseen ja kouluttamiseen tähtäävän kehitystyön toteuttamista hankerahoituksella tulee selvittää. Miehistöjen kuormittaminen lisätyöllä olisi vastoin tämän hankkeen tavoitetta edistää ympäristövahinko-

jen ennaltaehkäisyä. Sen sijaan kehitystyön koordinointi ja koulutusverkoston luominen olisivat konkreettisia keinoja ympäristöturvallisuuden lisäämiseen. Olemassa olevia koulutusmahdollisuuksia tulee kartoittaa. Esimerkiksi puolustusvoimien vuotosimulaattorissa voidaan harjoitella aluksen runkovauriosta johtuvia vesivuotoja. Tulisi selvittää, olisiko mahdollista toteuttaa harjoitus tai öljyvuotosimulaattori, jossa voitaisiin harjoitella aluksen rungon ulkopuolisten vaurioiden paikkaamista. Simulaattorissa voitaisiin myös kokeilla erilaisia paikkaustyökaluja sekä kehittää niitä. Kauppa-alusten miehistöjen lisäksi myös pelastuslaitokset voisivat olla kiinnostuneita koulutuksesta.

Ympäristövahinkoihin varautumista edistäisi myös öljyn leviämisenusteiden ja Saimaan virtausmallien täsmentäminen. Öljyn käyttäytymistä voidaan mallintaa matemaattisilla malleilla. Suomen ympäristökeskuksen käytössä oleva tohtori Sergey Ovsienkon kehittämä SpillMod kuvaa öljylautan etenemistä käyttäjän määrittelemissä olosuhteissa. Malli ei kuitenkaan kovin hyvin sovellu sisävesillä käytettäväksi. Operatiivisen toiminnan osalta lautan etenemisen matemaattinen ennustaminen ei välttämättä ole oleellistakaan vesialueen ollessa niin pieni, että öljy rantautuu nopeasti, mutta harjoittelun ja suunnitteluun se toisi lisäarvoa. Harkittavaksi voisi ottaa myös ajelehtimispoijujen hyödyntämisen.

Myös alusten havainnointilaitteistoja on mahdollista kehittää. Esimerkiksi Louhella käytössä oleva Aptomar Flir voisi mahdollisesti olla myös Saimaalla hyvä työkalu öljyn tehokkaaseen havaitsemiseen ja keräystoimien kohdentamiseen. Tutkalaitteen tarpeellisuutta tulee arvioida järjestelmän hinnan, koulutuskustannusten sekä käyttötuntien perusteella. Takaisinmaksuaika vahingon sattuessa voi kuitenkin olla lyhyt, erityisesti jos vahinko sattuu pimeässä.

Selvityksessä esille nousseet kehittämiskohteet ovat suurelta osin yhteistoimintaan liittyviä: yhteisten toimintamallien luomista ja harjoittelua sekä tarpeen mukaan yhteishankintoja. Yhteistyökulttuurilla on pitkät perinteet niin Saimaan vesiliikenteen kuin pelastustoimenkin kehittämisessä. Tämä antaa hyvät lähtökohdat myös öljyvahingon ensitoimenpiteiden yhteiselle kehittämiselle.

LÄHTEET

- Alusliikennepalvelulaki 2005/623. Saatavissa < <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2005/20050623>> [Viitattu 27.12.2016].
- Anastasios, P. Kipouropoulos Technical Naval Co. Ltd. Internet-sivut osoitteessa <http://www.kipouropoulos.gr/index.php/en/services/Safety> [Viitattu 27.12.2016]
- Dickins, D. 2010. *Oil in Ice*. JIP. Report no. 30. Project P5: Remote Sensing Summary Report. SINTEF Materials and Chemistry.
- GL Group. *Shipboard Oil Pollution Emergency Plan. Sample plan*. www-dokumentti. <www.gl-group.com/pdf/SOPEP_SamplePlan.doc> [Viitattu 9.1.2016].
- Gråsten, J. 2008. Öljyvahingot Etelä-Savossa – priorisointi- ja toimintamalli. Etelä-Savon ympäristökeskuksen raportteja 5/2008. Etelä-Savon ympäristökeskus. Mikkeli. ISBN (PDF) 978-952-11-3275-9.
- Halonen, J., Häkkinen, J. & Kauppinen, J. 2016. *Alusliikenteen riskialueet Saimaan Syväväylällä alusöljyvahingon näkökulmasta*. Kymenlaakson ammattikorkeakoulun julkaisuja. Sarja B. Tutkimuksia ja raportteja nro 160. Kotka. ISBN (PDF) 978-952-306-174-3.
- Heikkilä, H. 2016. *Laiivan teknisen kaavion käyttö onnettomuustilanteessa Saimaalla*. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, Insinööri (AMK) merenkulku. Saatavissa <<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2016112016555>>
- Heino, H. 2016. Öljyvuodon havaitseminen ja rajoittaminen haverialuksella - Esimerkkitarkastelu Saimaalla liikennöivissä aluksissa. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, Insinööri (AMK), merenkulku. Saatavissa <<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2016090614057>>
- Häkkinen, J.-J. 2016. *Saimaan vesistön öljyvahinkoskenaarioiden mallintaminen*. Kymenlaakson ammattikorkeakoulun julkaisuja. Sarja B. Tutkimuksia ja raportteja nro 158. Kotka. ISBN (PDF) 978-952-306-168-2.
- Häkkinen, J. 2017. Rajavartiolaitos, Suomenlahden merivartiosto, Meripelastuslohkokeskus Helsinki. Sähköpostitiedonanto 9.1.2017 J. Haloselle.
- Hämäläinen, J. 2016a. Ylipalomies, Etelä-Savon pelastuslaitos. Suullinen tiedonanto 13.4.2016 ÄLYKÖ-hankkeen työpajassa Lappeenrannassa.

Hämäläinen, J. 2016b. Ylipalomies. Etelä-Savon pelastuslaitos. Sähköpostitiedonanto Henri Heinolle 17.6.2016.

Intovuori, V-V. 2016. Erityisasiantuntija, Trafi. Puhelinhaastattelu 12.10.2016. Haastattelijana Hannu Heikkilä.

Jolma, K. 2016. Öljyntorjuntataktiikka 1: Kiireelliset vaarantorjuntatoimet - tilanteen vaikuttaminen ja kokonaisuuden hallinta. BORIS-koulutusmateriaali. PDF-tiedosto. [Viitattu 4.8.2016]

Jämsen, K. 2015. VTS-keskuksen päällikkö. Saimaa VTS, Meriliikenteenohjaus yksikkö, Liikennevirasto. Suullinen tiedonanto 17.12.2015. Saimaan VTS-keskus, Lappeenranta.

Jämsen, K. 2016. VTS-keskuksen päällikkö. Saimaa VTS, Meriliikenteenohjaus yksikkö, Liikennevirasto. Suullinen tiedonanto 13.4.2016 ÄLYKÖ-hankkeen työpajassa Lappeenrannassa.

Jämsen, K. 2017. VTS-keskuksen päällikkö. Saimaa VTS. Kirjallinen tiedonanto 12.1.2017 J. Haloselle.

Laakkonen, N. 2016. Ylipursimies, 3. konemestari, MLC Hämeenmaa. Haastattelu 5.7.2016. Haastattelijana Henri Heino.

Laasonen, J., Rytönen, J. & Sassi, J. 2001. *Saimaan vesistöalueen kuljetusten ympäristöriskit*. Suomen ympäristö 455. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. ISBN 952-11-0857-6.

Lamor Corporation Ab. Internetsivut osoitteessa <<http://www.lamor.com/fi/oljyntorjunta/kiinteakelluke-puomit/boom-pack/>> [Viitattu 4.8.2016]

Liikennevirasto 2015. *Saimaa VTS Master's Guide*. Päivätty 22.12.2015. Saatavissa <http://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/169530/Saimaa_fi.pdf/2a6e2254-96fa-4286-b283-c35cd3e8fb63> [Viitattu 27.12.2016].

Liikennevirasto 2016a. *Vessel Traffic Services -alusliikennepalvelut*. Internet-sivut osoitteessa <<http://www.liikennevirasto.fi/ammattimerenkulku/meriliikenteen-ohjaus/vts#.WG1Swp-fHpMw>> [Viitattu 27.12.2016]

Liikennevirasto 2016b. *Saimaa VTS:n valvontakausi alkaa*. www-dokumentti osoitteessa <<http://www.liikennevirasto.fi/-/saimaa-vts-n-valvontakausi-alkaa#.WG1fLZfHpMw>> [Viitattu 27.12.2016]

Liikennevirasto 2016c. *Saimaan kanavan ja muiden sulkkukanavien liikennetilasto 2015*. Liikenneviraston tilastoja 2/2016. Liikennevirasto. Helsinki 2016. ISBN 978-952-317-248-7.

Liikennevirasto 2016d. *Saimaan kanavan kauttakulkuohjeet*. <<http://www.liikennevirasto.fi/vesivaylat/kanavat/saimaan-kanava/kauttakulkuohjeet#.WHaRWpfHpMw>> [Viitattu 27.12.2016]

Luukkanen, T. 2016. Liiketoiminnan johtaja, Meritaito Oy. Sähköpostitiedonannot Henri Heinolle 6.5.2016 ja 13.8.2016.

Malk, V., Sormunen, A., Leinonen, J., Tanskanen, M. & Kela, A. 2015. *Pikamittausmenetelmät öljyvahinkojen monitoroinnissa*. PDF-tiedosto.

MARPOL. Articles, Protocols, Annexes and Unified Interpretations of the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the 1978 and 1997 Protocols. IMO, London. ISBN 978-92-801-1532-1.

Merenkulkulaitos 2008. *Saimaan sisävesiliikenteen kehittämisselvitys*. Merenkulkulaitoksen julkaisu 6/2008. ISBN 978-951-49-2142-1.

Merenkulun ympäristösuojelulaki 1672/2009. Saatavissa <<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2009/20091672#L11>> [Viitattu 27.12.2016]

Meripelastuslaki 1145/2001. Saatavissa <<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2001/20011145>> [Viitattu 27.12.2016]

Santasalo, M. 2016. Tarkastaja, Suomen ympäristökeskus. Sähköpostitiedonanto Henri Heinolle 27.4.2016.

Seaspirit. (ei vuosilukua). *Organizacija borbi s požarom*. www-dokumentti. Saatavissa: <<http://seaspirit.ru/navigator/safetyofnavigation/organizacija-borby-s-pozharom.html>> [Viitattu 20.10.2016]

Seaworm (ei vuosilukua). *Kakije pervichnije i dopolnitelnye dejstvija osushestvlajet ekipazg sudna v sluchaje avarijnogo razliva*. Saatavissa <seaworm.narod.ru/Albatros/razliv.doc> [Viitattu 2.11.2016].

Silmäri, J. 2016. Pelastuspäällikkö, Etelä-Savon pelastuslaitos. Suullinen tiedonanto ÄLY-KÖ-hankkeen ohjausryhmän kokouksessa 15.9.2016 Mikkelissä.

Suomen ympäristökeskus. (ei vuosilukua). Öljytorjuntatekniikan perusteet. Koulutusmateriaali-kansio. Alusten öljytankkien tyhjentäminen ja öljyvahinkojen ehkäiseminen vauriotilanteissa. Vesi- ja ympäristöhallinnon moniste, Helsinki 1989. Kuvasta uudelleenpiirtänyt K. Eerikäinen.

Suomen ympäristökeskus 2013. *Onnettomuustyytit ja vahinkojen minimointi*. www-dokumentti. <http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Meri/Oljy_ja_kemikaalivahinkojen_torjunta/Oljy_ja_kemikaalivahinkojen_torjunta_merialueilla/Alusonnettomuusriski_ja_ennakkoturvallisuus/Onnettomuustyytit_ja_vahinkojen_minimointi> [Viitattu 4.8.2016]

Paldanius, P. 2016. Alueluotsivanhin. Finnipilot Pilotage Oy. Saimaan luotsausalue. Suullinen tiedonanto 13.4.2016 ÄLYKÖ-hankkeen työpajassa Lappeenrannassa.

Rajavartiolaitos 2012. *Pelastustoimen hyödyntäminen merellisissä laivaonnettomuuksissa*. Monialaisiin merionnettomuuksiin varautumisen yhteistoimintasuunnitelmaan (MoMeVa) liittyvä ohjeistus. Päivätty 19.11.2012. Saatavissa <<http://www.raja.fi/ohjeita/sar/momeva.aspx>>

Salminen, I. 2016. Erityisasiantuntija, Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. Suullinen tiedonanto 13.4.2016 ÄLYKÖ-hankkeen työpajassa Lappeenrannassa.

Sisäasiainministeriö 2006. *Pelastustoiminnan järjestelyt sisävesialueilla*. Ohje 14.3.2006. SM-2006-00077/Tu-35.

SÖKÖ 2011. *SÖKÖ II-manuaali; Ohjeistusta alusöljyvahingon rantatorjuntaan*. Vihko 8 Vahinkojäte ja jätehuolto. Kymenlaakson ammattikorkeakoulun julkaisuja. Sarja A. Oppimateriaali. Nro 31. Kotka. ISBN 978-952-5963-04-5.

Voroshilin, D. 2016. *Laivahenkilökunnan ensitoimenpiteiden kehitys öljyonnettomuustilanteessa Saimaalla*. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, Insinööri (AMK), merenkulku. Saatavissa <<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2016113018405>>

Väisänen, J. 2016. Ylitarkastaja, Liikennevirasto. Suullinen tiedonanto 13.4.2016 ÄLYKÖ-hankkeen työpajassa Lappeenrannassa.

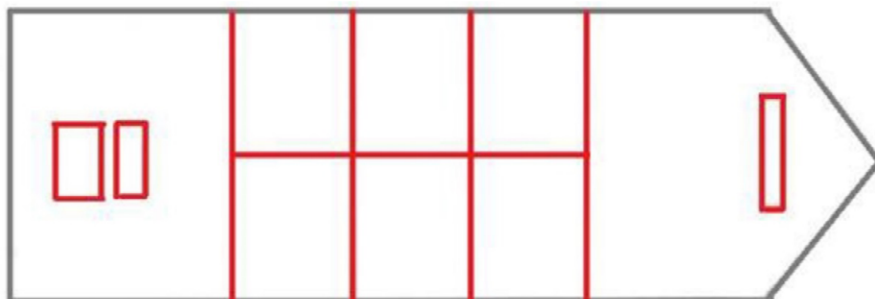
Öljyvahinkojen torjuntalaki 2009/1673. Saatavissa <<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2009/20091673>> [Viitattu 27.12.2016]

Witre Oy. Internet-sivut osoitteessa <<http://www.witre.fi/fi/wfi/imeytyspuomi-oljyille-vetahylkiva#descriptionAnchor>> [Viitattu 4.8.2016]

WWF 2013. Öljytorjuntaopas. Saatavissa <<https://wwf.fi/mediabank/5121.pdfZ>> [Viitattu 3.8.2016]

LIITE 1 A. Mallipiirustukset, proomu

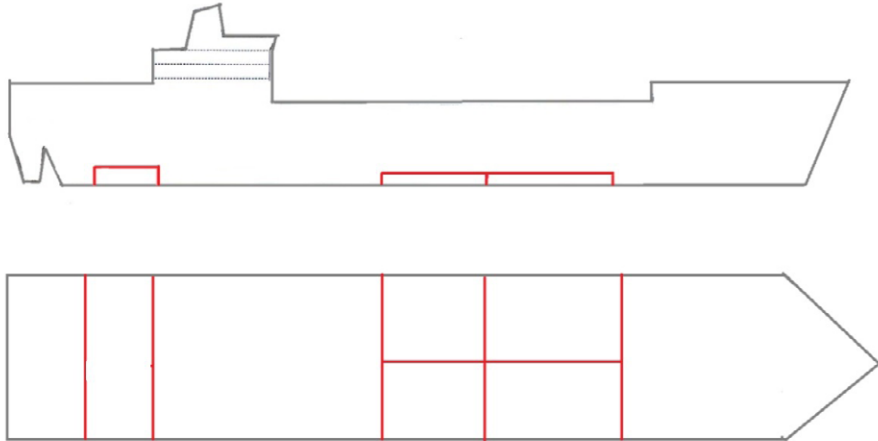
Hannu Heikkilä 2016, ÄLYKÖ-hanke



	m ³	ton
Fuel oil daytank		
Fo DB Tank 1 SB		
Fo DB Tank 1 BB		
Fo DB Tank 2 SB		
Fo DB Tank 2 BB		
Fo DB Tank 3 SB		
Fo DB Tank 3 BB		
Fuel oil bow		
Lubricating oil tank		
Yhteensä:		

LIITE 1 B. Mallipiirustukset, yleislastialus

Hannu Heikkilä 2016, ÄLYKÖ-hanke



	m ³	ton
Fuel oil daytank		
Fo DB Tank 1 SB		
Fo DB Tank 2 SB		
Fo DB Tank 1 BB		
Fo DB Tank 2 BB		
Yhteensä:		

LIITE 2. OHJEET ALUSÖLJYVAHINGON VARALLE

Denis Voroshilin 2016, ÄLYKÖ-hanke

Miehistön toimenpiteet alusöljyonnettomuudessa Saimaalla

Kaikista alusöljyonnettomuuksista, joissa öljyä pääsee vesistöön, on raportoitava aluksen päiväkirjaan ja aluksen öljypäiväkirjaan.

Ihmisten turvallisuus on tärkeintä.

Jos havaitaan öljyvuoto vesistöön:

- On annettava yleishälytys ja ilmoitettava kapteenille, yliperämiehelle ja ylikonemestarille.
- On lopetettava kaikki öljyn siirto-operaatiot.
- On tutkittava, missä on vuoto: tankkien yleistarkastus silmämääräisesti ja peilaus.
- Palontorjuntavälineet on oltava valmiustilassa.
- Jos saatavilla, on käytettävä öljypuomia tai imeytyspuomia öljyn leviämisen rajoittamiseksi.

On otettava yhteyttä viranomaisiin **VHF-kanavalla 9**, DSC-laitteella tai puhelimella numeroon 112. Otettaessa yhteyttä on ilmoitettava:

- laivan tiedot ja ihmisten määrä
- onnettomuuden sijainti
- mitä on tapahtunut
- milloin onnettomuus on sattunut
- mitä on vaurioitunut
- paljonko öljyä on päässyt veteen
- vuotaako laiva sisälle vai ulospäin
- polttoaineen ja ballastin määrä ja laatu
- onko tulipalo
- tarvitaanko lääkinnällistä apua
- onko laivalla saatavilla öljyntorjuntavälineet
- onko odotettavissa vaikeuksia lähestyä laivaa.

Kun vuotava tankki on havaittu :

- Siirretään öljyä vuotavasta tankista muihin tankkeihin tai säiliöihin. Auki vain siirtolinja, muut linjat kiinni.
 - Vuotokohta on vesilinjan yläpuolella: jatketaan siirtotoimintaa siihen saakka, kunnes öljyä ei vuoda vesistöön.
 - Vuotokohta on vesilinjan läheisyydessä: siirretään öljyä vuotavasta tankista tankkeihin, jotka ovat aluksen toisella puolella, jotta aluksen trimmi ja kallistuma muuttuisi ja vuotokohta tulisi vesilinjan yläpuolelle (tarvittaessa siirretään myös ballastivettä tai öljyä muista tankeista).
 - Vuotokohta on vesilinjan alapuolella: siirretään öljyä vuotavan tankin päällyskerroksista kannettavilla pumpuilla.
- Jos on mahdollista, tulpataan vuotava kohta saatavilla olevilla vuototyökaluilla: räiteillä, vuotokiiloilla, vuototulpilla, vuotomatolla, vuotopasterilla, vuotopultilla tai muulla.
- Jos siirtopumppu on vaurioitunut, käytetään käsipumppua öljyn siirtämiseen.
- Jotta öljyä ei pääsisi vesipumppuihin, tarvittava vesi aluksen tarpeisiin on otettava pohjan kautta.

Actions to be taken by the Ship Crew in the case of Oil Spill Incident on Lake Saimaa

All shipborn oil spill accidents must be reported to the ship's daybook and to the oil record book.

Safety of personnel is the most important issue.

If oil spill is detected on the water:

- The General Alarm must be given, and Master, the First Officer and the Chief Engineer informed.
- All oil transfer operations must be stopped
- Location of a leak must be detected using visual inspection of the tanks and the measuring of the tanks
- Firefighting equipment must be set standby
- Oil booms or sorbent booms (if available) must be used to limit further spreading of the oil spill

The authorities must be contacted **on VHF channel 9**, by DSC Call, or by a telephone using the emergency number 112. The information must include:

- Information about the ship and the number of persons onboard
- Location of the incident
- What has happened?
- When did the accident occur?
- What is damaged?
- How much oil is on the surface of the water?
- Direction of the drifting oil leak
- Amount of oil and ballast water onboard?
- Is there a fire?
- Is there a need for a medical help?
- Is oil spill response equipment available on the board?
- Is it difficult to approach the ship?

When a leaking tank has been detected:

- Oil must be transferred from the leaking tank to other tanks or containers. Only the transfer line needs to be opened, other lines must be closed
 - Location of a leak is above the water line: the transfer operation must be continued until the oil does not leak to the water
 - Leak is near the water line: oil must be transferred from the leaking tank to tanks, which are on the other side of the ship, that the ship's trim or list will be changed and, as a result, the place of a leak will rise above the water line (if it is necessary, the ballast water or oil from other tanks can be transferred)
 - Leak is below the water line: oil must be transferred from the upper layers of the leaking tank using a portable pump
- If it is possible, the place of a leak must be plugged with available tools: cloth, special wedge, special plug, tarpaulin, special plaster, special bolt or otherwise
- If the transfer pump is damaged, portable pumps must be used
- To prevent oil entering to water pumps, all water for the needs of the ship must be taken from the bottom

Действия экипажа судна при аварийном разливе нефтепродуктов на озере Сайма

Все аварийные разливы нефтепродуктов должны фиксироваться в судовом журнале и в журнале нефтяных операций.

Безопасность людей превыше всего.

Если обнаружен разлив нефтепродуктов в водоеме:

- Необходимо подать общий сигнал тревоги и сообщить о происшествии капитану судна, старшему помощнику капитана и старшему механику
- Все операции с нефтепродуктами нужно остановить
- Необходимо определить, где пробоина и откуда утечка: визуальная проверка танков и замер уровня топлива
- Подготовить противопожарное оборудование
- Если есть в наличии, то необходимо использовать нефтезадерживающие боны или нефтесобирающие боны, чтобы предотвратить дальнейшее распространение нефтепродуктов в водоеме

Необходимо связаться со спасательной службой по УКВ каналу 9 при происшествии на озере Сайма, или связаться при помощи системы ЦИВ или по телефону со службой экстренной помощи Финляндии по номеру 112. Следующую информацию необходимо сообщить:

- информацию о судне и количество людей на борту
- место происшествия
- что произошло
- когда произошел аварийный разлив нефтепродуктов
- повреждения
- количество нефтепродуктов, оказавшихся в водоеме
- местоположение пробоины
- объем топлива и балласта
- есть ли пожар
- необходима ли медицинская помощь
- есть ли на борту судна оборудование для ликвидации разлива нефтепродуктов
- есть ли затруднения для приближения к судну

Когда танк, в котором пробойна, определен:

- Начать перекачку нефтепродуктов из поврежденного танка в другие танки или резервуары. Открыть только трубопроводы для перекачки, остальные трубопроводы закрыть
 - Пробойна выше ватерлинии: перекачку продолжать до тех пор, пока нефтепродукты не перестанут попадать в водоем
 - Пробойна на уровне ватерлинии: необходимо перекачивать нефтепродукты из поврежденного танка в танки, которые находятся на противоположной стороне корабля, чтобы создать крен судна, при котором пробойна переместится выше ватерлинии (при необходимости начать перекачку жидкого балласта или нефтепродуктов из других танков)
 - Пробойна ниже ватерлинии: перекачивать верхние слои нефтепродуктов из поврежденного танка при помощи переносных погружных насосов
- Если возможно, необходимо заделать пробойну, используя аварийный инвентарь, аварийные материалы или подручные средства: тряпки, клинья, пробки, пластыри, прижимные болты и другие
- При повреждении судового насоса необходимо использовать переносной насос
- Для предотвращения попадания нефтепродуктов в насосы необходимо осуществлять подачу воды для судовых нужд через днищевые кингстоны

MÄRKÄPESU/DESORPTIOTEKNIIKAT PILAANTUNEIDEN MAA- JA VESIMASSOJEN KÄSITTELYSSÄ JA RISKINARVIOINNISSA

Arto Sormunen & Maija Tanskanen & Vuokko Malk

Tutkimalla haitallisten aineiden käyttäytymistä maaperässä voidaan arvioida niiden aiheuttamaa riskiä maaperälle ja pohjavedelle, mutta toisaalta tietoa voidaan soveltaa ja käyttää riskinarvioinnin tukena. Havaintojen perusteella voidaan arvioida, kiinnittyvätkö yhdisteet maaperään vai kulkeutuvatko ne veden mukana maaperästä pohjaveteen. Kohdentamalla torjuntatoimia sinne, missä haitallisia aineita on, voidaan minimoida haitallisten aineiden vaikutuksia ympäristössä.

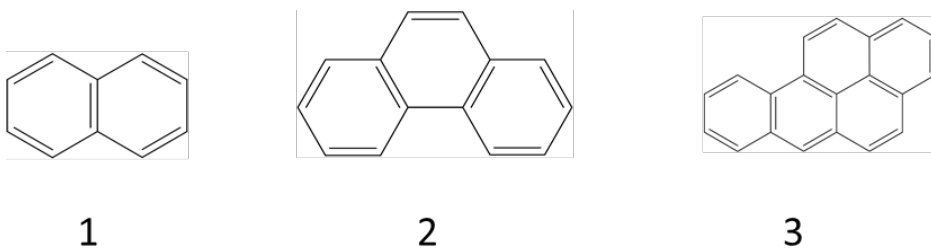
PAH-yhdisteitä (Polycyclic aromatic hydrocarbons) esiintyy luontaisesti maaöljyssä ja kivihielessä, minkä lisäksi erilaiset maaöljystä jalostetut öljytuotteet ovat PAH-yhdisteiden lähteitä. Öljynjalostuksessa PAH-yhdisteiden määrä lisääntyy alkaanien syklistoitumisen ja aromatisoitumisen vuoksi. PAH-yhdisteitä on myös pyrolyysituotteissa, kuten kreosoteissa, joita käytetään mm. puun suoja-aineina (Douben 2003, 3; Evira 2014; Napari 2004, 115–118; Sillanpää 2007).

PAH-yhdisteet ovat luonnossa kaikkialle levinneitä haitallisia aineita, joita päätyy ympäristöön tyypillisesti epätäydellisten palamisprosessien tuotteena. PAH-yhdisteet ovat syöpää ja perimämuutoksia aiheuttavia yhdisteitä, joille altistutaan hengitysteiden, ihon ja ruuansulatuselimistön kautta. Ympäristössä PAH-yhdisteistä kulkeutuvimpia ovat yksi- tai kaksirenkaiset PAH-yhdisteet, kun taas monirenkaiset PAH-yhdisteet kiinnittyvät tehokkaammin maaperässä oleviin hiukkasiin (Douben 2003; Sillanpää 2007).

Hankkeessa tehdyssä tutkimustyössä etsittiin vastauksia seuraaviin kysymyksiin:

- Onko PAH-yhdisteiden ominaisuuksilla merkitystä käyttäytymiseen maaperässä?
- Onko maaperän laadulla merkitystä PAH-yhdisteiden käyttäytymiseen?
- Miten saatua tietoa voidaan soveltaa ja hyödyntää riskinarvioinnissa ja kunnostustoimia suunniteltaessa?

Tutkimuksessa selvitettiin kolmen PAH-yhdisteen, naftaleenin, fenantreenin ja bentso(a)pyreenin (kuva 1), käyttäytymistä kahdessa erilaisessa maalajissa. Tutkittiin myös, missä suhteessa erityyppiset PAH-yhdisteet vapautuvat nestefaasiin.



KUVA 1. Tutkimuksen malliyhdisteet: naftaleeni (1), fenantreeni (2), bentso(a)pyreeni (3).

Aiheesta valmistui hankkeen aikana myös Maija Tanskasen opinnäytetyö ”PAH-yhdisteiden käyttäytyminen maaperässä. Mikkelin ammattikorkeakoulu, ympäristötekniikan koulutus.” (2016).

Kokeellinen työ

Kokeellista maanpesu- eli desorptiokoetta varten haettuja maanäytteitä (kahta tyyppiä) kuivattiin 110 °C:ssa noin 24 tuntia. Maanäytteille tehtiin seuraavat määritykset:

- kuiva-aine määritettiin standardin SFS-EN 1097-5 (Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 5: Kosteuspitoisuuden määrittäminen kuivaamalla tuuletetussa lämpökaapissa) mukaan,
- orgaaninen aine määritettiin standardin SFS 3008 (Veden, lietteen ja sedimentin kuiva-aineen ja hehkutusjäännöksen määrittäminen) mukaan, sekä
- raekoko määritettiin standardin SFS-EN 933-1 (Kiviainesten geometristen ominaisuuksien testaus. Osa 1: Rakeisuuden määrittäminen. Seulontamenetelmä) mukaan, jossa käytettiin testimenetelmänä pesua ja seulontaa.

Kokeellinen työ aloitettiin punnitsemalla 8,0 g kuivattua maanäytettä koeputkiin (3 rinnakkaista) (Kuva 2). Laskennallisena pitoisuutena PAH-yhdistelle käytettiin 20,0 mg/kg. Laskennallisen pitoisuuden ohjearvona käytettiin PIMA-asetuksessa (214/2007) PAH-yhdisteille asetettuja ylempiä ohjearvoja. PAH-yhdisteiden sekoittamiseksi maa-ainekseen näytteitä sekoitettiin sekoituslaitteessa 48 tuntia. Sekoituksen jälkeen koeputket siirrettiin kylmiöön stabiloitumaan viideksi vuorokaudeksi (5 d).



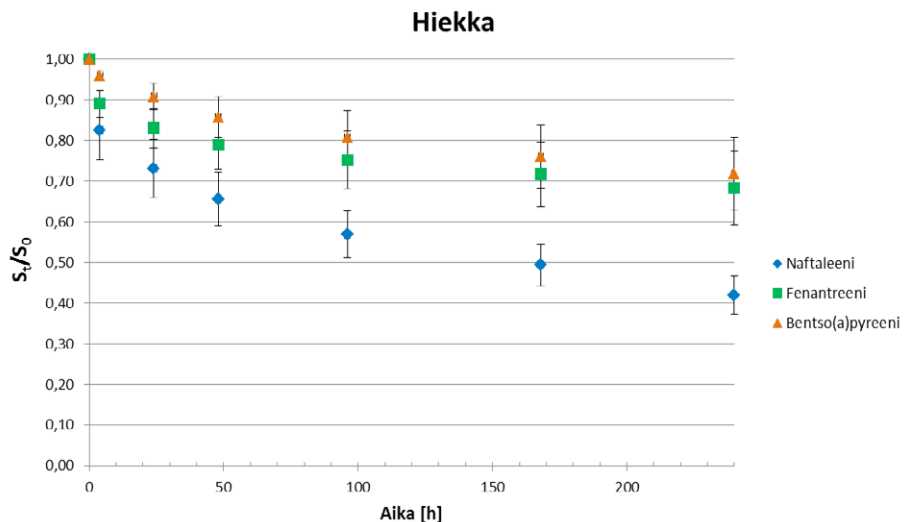
KUVA 2. Maanäytteet koeputkissa (kuva Majja Tanskanen).

Orgaanisten yhdisteiden kulkeutumista on tutkittu maa-aineksesta, sedimenteistä ja vedestä Tenax-hartsii -uuttomenetelmällä. (Barnier ym. 2014; Cornelissen 1999; Sormunen 2008; van Noort ym. 2014; Zhao ym. 2004). Tässä työssä kontaktiajan jälkeen maanäytekoeputkiin lisättiin verkostovettä ja 0,3 g Tenax-hartsia (Tenax TA: raekoko 60/80). Tenax-hartsii toimii kokeessa adsorbenttina, jonka pinnalle maanäytteistä vapautuneet PAH-yhdisteet sitoutuvat. Veden ja Tenax-hartsin lisäämisen jälkeen maanpesu/desorptiokoe aloitettiin sekoittamalla koeputkia sekoituslaitteessa (10 r/min) kokonaisuudessaan kymmenen vuorokauden (10 d) ajan. Näytteenottoajat olivat 4 h, 24 h, 48 h, 96 h, 168 h ja 240 h. Kokeen aikana otetut näytteet analysoitiin kaasukromatografiomenetelmällä (GC/MS).

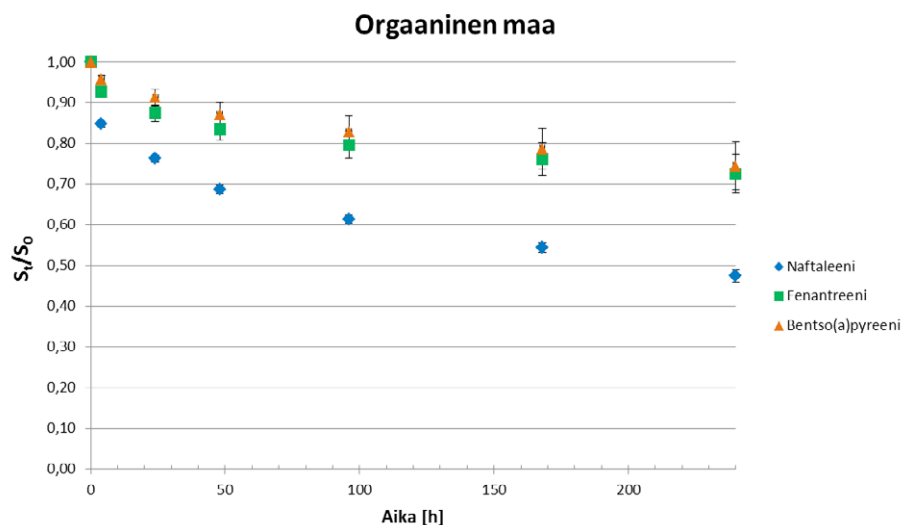
Erilaisten PAH-yhdisteiden ympäristökäyttäytyminen

PAH-yhdisteiden ominaisuuksilla ja maaperän koostumuksella on merkitystä PAH-yhdisteiden käyttäytymiseen maaperässä (kuvat 3, 4). Tässä tutkimuksessa havaittiin, että tutkittavista PAH-yhdisteistä naftaleeni oli kulkeutuvuin, eli sitä

vapautui eniten. Fenantreeni ja bentso(a)pyreeni vastaavasti kiinnittyivät enemmän maa-ainekseen (Kuva 3-4). Kokeen jälkeen bentso(a)pyreeniä oli vapautunut hiekasta 28 % ja orgaanisesta maasta 25 %. PAH-yhdisteistä kulkeutuvuin oli naftaleeni, jota oli vapautunut hiekasta 58 % ja orgaanisesta maasta 53 %. Fenantreeniä vastaavasti oli vapautunut hiekasta 32 % ja 27 %. Tutkittavien PAH-yhdisteiden sitoutuminen orgaaniseen maa-ainekseen oli hieman tiukempaa kuin sitoutuminen hiekkaan.



KUVA 3. PAH-yhdisteiden käyttäytyminen hiekka-aineessa (orgaanisen aineksen määrä 1,2%).



KUVA 4. PAH-yhdisteiden käyttäytyminen orgaanisesta materiaalista sisältävässä maassa (orgaanisen aineksen määrä 7,3 %).

Haitallisten aineiden ja maaperän koostumuksen perusteella voidaan tehdä alustavia arvioita haitta-aineiden kulkeutuvuudesta maaperässä. Pilaantuneet maa-alueet ovat tyypillisesti yksittäistapauksia, jolloin riskinarvioinnissa tulisi ottaa huomioon tapauskohtaisesti kohteen tarkoitus ja tavoitteet. Toisaalta, myös kunnostus- tai pelastustoimien suunnittelussa on huomioitava eri yhdisteiden ominaisuudet, vuorovaikutukset ja sitoutumistapa. Nämä kaikki vaikuttavat yhdisteiden ympäristökäyttäytymiseen. Haitta-aineet voivat kulkeutua maaperässä liukoisessa muodossa, maahiukkasiin kiinnittyneinä tai kaasuihin. Haitta-aineet leviävät yleensä maaperässä liikkuvan veden välityksellä, jolloin liukoisessa muodossa olevat haitta-aineet kulkeutuvat tehokkaammin maaperässä aiheuttaen pohjavesialueille vaaraa. Tämän työn keskeisenä päämääränä oli selvittää erilaisten yhdisteiden vapautuvan osuuden suuruutta.

Ympäristöriskin arviointi

Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää riskinarvioinnissa akuuteissa ja pitkäaikaisissa pilaantumistapahtumissa. Riskinarviointimenetelmänä sillä voidaan paremmin ennustaa riskejä, jotka perustuvat yhdisteiden vapautumiseen maa-aineksesta (Barnier ym. 2014). Maa-aineksesta nestefaasiin nopeasti vapautuva fraktio muodostaa riskin altistujille kulkeutumalla eri ympäristön osiin, kuten pohja- ja pintavesiin sekä huokosveden kautta kasveihin ja eliöihin. Esimerkiksi PIMA-asetuksen ohjearvot eivät huomioi haitta-aineiden kulkeutumista pinta- tai pohjavesiin. Usein ohjearvoja sovelletaan liiankin suoraviivaisesti, eivätkä riskinhallintatoimet pohjautu todellisiin riskeihin. Joissakin tilanteissa riskejä voidaan hallita jopa ilman riskinarviointia, kun yhdisteen ympäristökäyttäytyminen on tunnettu ja tuleva maankäyttö on selvillä. Öljyonnettomuustilanteissa sitoutumisesta/vapautumisesta saatua tietoa voidaan hyödyntää kohdentamalla torjuntatoimet kulkeutuviin haitta-aineisiin. Tunteamalla vapautuvan öljyn määrä ja osuus pystytään puhdistus- ja kunnostustoimet kohdentamaan tehokkaasti ja tuomaan uudenlaisia työkaluja päätöksenteon ja riskinhallinnan tueksi.

Biologinen hajoaminen ja helposti vapautuvat yhdisteet

Maaperästä nopeasti vapautuvat yhdisteet voivat olla myös helposti biohajoavia. On havaittu, että maa-aineksessa olevien yhdisteiden nopeasti vapautuvat frak-

tiot hajoavat maa-aineksesta ikääntymisen seurauksena (Pernot ym. 2013). Biologisessa hajoamisessa maaperän mikrobit voivat hajottaa aineiden eri ainesosia käyttäen niitä energianlähteenään. Aromaattisten yhdisteiden hajoamisnopeuteen vaikuttavat aromaattisten renkaiden lukumäärä, pitoisuus ja ympäristön fysikaalis-kemialliset olosuhteet. Biologinen hajoaminen on nopeinta kaksi- ja kolmirenkaisilla yhdisteillä. Neljä- ja viisirenkaisilla yhdisteillä biologinen hajoaminen on mahdollista edellyttäen, että olosuhteet hajoamiselle ovat suotuisat. Sen sijaan neljä- ja viisirenkaisilla yhdisteillä puoliintumisajat ovat pitkiä, mahdollisesti useita vuosia. (Sillanpää 2007). Joissakin tilanteissa voimme siis perustellusti hyväksyä, että maaperää pilaavien yhdisteiden pitoisuudet ovat koholla, mutta helposti hajoavien yhdisteiden riskinhallinnan keinona on kunnostamatta jättäminen. Tämä kuitenkin vaatii vielä lisää selvitystyötä, varsinkin uusien yhdisteiden osalta (esim. bioöljyt).

Kunnostustoimet

Maa-ainekset (hiekkä, sora) muodostavat ison osan Suomessa vuosittain käytettävistä maavaroista, mistä syystä kiertotaloutta on pyrittävä edistämään myös maa-ainesten resurssitehokkaalla käytöllä. Maa-aineisten kierrättämisestä valittavasti aiheutuu myös riskejä (esim. haitta-aineet), joihin meidän pitää olla valmiita. Yritysten tulee saada tietoa ja tekniikkaa maa-ainesten tehokkaampaan kierrätykseen. Esimerkiksi maapartikkeleihin sitoutuneet haitta-aineet voidaan erottaa maa-aineksesta veden avulla (maanpesu, *ex situ*), jonka pesutehokkuutta voidaan parantaa pinta-aktiivisten aineiden käytöllä (Penttinen 2001). Pesu soveltuu hyvin erilaisille yhdisteille tai yhdisteryhmille, esim. mineraaliöljyille. Puhdistettaessa pilaantunutta maata veden avulla nopeasti vapautuvat fraktiot irtoavat maasta pesuveteen. Tässä tyyliässä pilaantunutta maata käsitellään erillisillä pesulaitteistoilla, jotka voivat olla siirrettäviä tai kiinteitä. Maanperän ominaisuudet vaikuttavat suuresti tekniikan toimivuuteen, mutta parhaiten menetelmä soveltuu hiekkamaille. Esim. humus tai orgaaninen aines sitoo haitta-aineita tehokkaasti, mikä heikentää pesutulosta.

Hankkeessa saatuja tuloksia voidaan hyödyntää maaperän kunnostustoimia mietittäessä. Esimerkiksi maanpesu on *ex situ* -kunnostusmenetelmä, jossa pilaantunut maa siirretään muualle käsiteltäväksi. Menetelmän soveltuvuuden selvittämiseksi on ainakin tunnettava maa-aineksen määrä ja laatu (raekoko, orgaanisen aineksen määrä) sekä yhdisteen ominaisuudet ja pitoisuudet. Tässä tutkimustyössä käytettiin Tenax-hartsia PAH-yhdisteiden sitomiseen maaperäs-

tä. Maanpesussa Tenax-hartsia ei kuitenkaan voitaisi käyttää pesutehokkuutta parantavana aineena sen kalleuden vuoksi (Zhao ym. 2004). Muiden, halvempien adsorbenttien käyttö vaatisi lisää selvitys- ja tutkimustyötä. Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää myös kunnostusmenetelmien puhdistustuloksen arvioinnissa. Lienee kuitenkin selvää, että kierrätetyn maa-aineksen tehokas käyttö on hupenevien hiekka- ja soravarojen kannalta tarpeellista.

LÄHTEET

Barnier, Christophe, Ouvrard, Stéphanie, Robin, Christophe & Morel, Jean Louis 2014. Desorption kinetics of PAHs from aged industrial soils for availability assessment. *Science of the Total Environment* 470-471, 639–645.

Cornelissen, Gerard 1999. Mechanism and consequences of slow desorption of organic compounds from sediments. *Universiteit van Amsterdam*.

Douben, Peter E. T. 2003. *PAHs: An Ecotoxicological Perspective*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.

Penttinen, Riina 2001. Maaperän ja pohjaveden kunnostus - Yleisimpien menetelmien esittely. Suomen ympäristökeskuksen moniste 227. Suomen ympäristökeskus.

Pernot, Audrey, Ouvrard, Stéphanie, Leglize, Pierre & Faure, Pierre 2013. Protective role of fine silts for PAH in a former industrial soil. *Environmental Pollution* 179, 81–87.

Sillanpää, Pekka 2007. Öljyhiilivedyillä saastuneen maan puhdistaminen puiden avulla. Suomen ympäristö 02/2007. Pirkanmaan ympäristökeskus.

Sormunen, Arto 2008. Bioavailability assessment of sediment-associated organic compounds through desorption and pore-water concentration. University of Joensuu. Väitöskirja. Joensuu: Joensuun Yliopistopaino.

van Noort, Paul C.M., Poot, Anton & Koelmans, Albert A. 2014. Analysis of organic contaminant desorption kinetic data for sediments and soils: Implications for the Tenax extraction time for the determination of bioavailable concentrations. *Science of the Total Environment* 490, 235–238.

Zhao Dongye & Pignatello, Joseph J. 2004. Model-aided characterization of Tenax®-ta for aromatic compound uptake from water. *Environmental Toxicology and Chemistry*. Volume 23, Issue 7, 1592–1599.

BIOPOLTTOAINEIDEN KÄYTTÄYTYMINEN JA VAIKUTUKSET YMPÄRISTÖSSÄ VAHINKOTILANTEESSA

Vuokko Malk

Biopolttoaineilla pyritään korvaamaan fossiilisia raaka-aineita ja vähentämään hiilidioksidipäästöjä sekä tuottamaan uusia puhtaampia tuotteita. Kaikki Suomessa jakelussa olevat liikenteen polttonesteet sisältävät nykyisin biokomponentteja, ja Suomi on maailmanlaajuisesti katsottuna edelläkävijä korkealaatuisten biopolttoaineiden valmistuksessa (Ölly- ja biopolttoaineala ry. 2015a).

Käytön määrän lisääntyessä biopolttoainevahingon riskikin kasvaa. Bioöljyjä ja -polttoaineita pidetään yleensä ympäristön ja terveyden kannalta turvallisempina ja haitattomampina perinteisiin fossiilisiin öljyihin verrattuna. Tuotteiden ominaisuudet sekä käyttäytyminen ja mahdolliset haittavaikutukset ympäristössä on kuitenkin tunnettava, jotta vahinkotilanteessa osattaisiin tehdä oikeanlaiset torjuntatoimenpiteet vaikutusten ja vahingon kustannusten minimoimiseksi.

Bioöljyjen ja -polttoaineiden ympäristökäyttäytymistä selvitettiin kirjallisuuden perusteella. ÄLYKÖ-hankkeessa toteutettiin myös demonstraatiokokeita, joiden avulla pyrittiin havainnollistamaan ja selvittämään eri biopolttoainetuotteiden käyttäytymistä vedessä ja maaperässä. Demonstraatiokokeet ja niiden tulokset on esitelty tarkemmin artikkeleissa ”*Demonstraatiokokeet biopolttoaineiden käyttäytymisestä vedessä ja maaperässä*”. Lisäksi biopolttoaineiden torjuntaa on käsitelty artikkeleissa ”*Bioöljyt ja -polttoaineet öljyntorjunnan näkökulmasta*” ja ”*Öljyntorjuntamateriaalien testaus biopolttoaineilla laboratoriossa*”.

Bioöljyllä viitataan pyrolyysimenetelmällä biomassasta valmistettavaan öljyyn.

EU-direktiivi (2009/98/EY) määrittelee biopolttoaineiksi nestemäiset tai kaasumaiset liikenteessä käytettävät polttoaineet, jotka tuotetaan biomassasta. Bionesteillä tarkoitetaan samassa direktiivissä biomassasta muuhun energiakäyttöön kuin liikennettä varten (lämmitys mukaan lukien) tuotettuja nestemäisiä polttoaineita. (Ölly- ja biopolttoaineala ry. 2015b.)

Öllyjen ympäristökäyttäytyminen

Öllyt ovat tyypillisesti vettä kevyempiä veteen liukenemattomia nesteitä, jotka kelluvat veden pinnalla muodostaen öljykalvon. Öljyvahingon sattuessa osa maaperään tai veteen joutuneesta tuotteesta haihtuu. Haihtuminen on merkittävä poistumismekanismi öljyvuoissa. Öllyt ovat monimutkaisia seoksia, joten niiden haihtumisnopeus ei ole vakio kuten esimerkiksi vedellä. Alussa haihtuminen on nopeampaa kevyiden ja helpoimmin haihtuvien yhdisteiden haihtuessa. Vähitellen haihtuminen hidastuu, kun jäljelle jää raskaammat ja heikommin haihtuvat yhdisteet. Koska öljytuotteiden koostumus vaihtelee alkupeuran ja tuotteiden välillä, haihtumisnopeuden mallintaminen ja ennustaminen on vaikeaa. Tärkeimpiä öljyjen haihtumiseen vaikuttavia muuttujia ovat aika ja lämpötila. Esimerkiksi tuulen nopeus tai pinta-ala eivät merkittävästi vaikuta öljyn haihtumiseen. Haihtumisen päämekanismi öljyillä on molekyylien diffuusio nesteen sisältä nesteen pinnalle. (Fingas 2015.)

Hyvin paksu (> 4 mm) öljykalvo hidastaa haihtumista, koska haihtuvien yhdisteiden diffuusiomatka kalvon pinnalle on pidempi. Esimerkiksi jääolosuhteissa ns. pullonkaulaefekti voi hidastaa haihtumista. Haihtuminen voi joissain tapauksissa hidastua myös vaikeasti haihtuvien yhdisteiden akkumuloituuksella ja muodostaessa ”kuoren” öljyn pinnalle. Tuuli ja aallot voivat estää tai hidastaa ”kuoren” muodostumista. Toisaalta haihtuvat yhdisteet haihtuvat nopeammin veteen dispersoituneesta öljystä kuin veden pinnalla kelluvasta öljykalvosta. (Fingas 2015.)

Monien tutkijoiden mielestä emulsion muodostus on haihtumisen jälkeen toiseksi tärkein öljyn käyttäytymiseen vaikuttava mekanismi. Emulsion muodostumisen myötä haihtuminen ja öljyn leviäminen hidastuu. Myös esimerkiksi vedestä kerättävän öljyn tilavuus kasvaa. Emulsion tiheys ja viskositeetti ovat myös suuremmat alkuperäiseen öljyyn verrattuna. (Fingas & Fieldhouse 2003.)

Öljihiilivedyt ovat luonnostaan biohajoavia. Hiilivedyistä nopeimmin biohajoavat suoraketjuiset alkaanit, sitten haaroittuneet alkaanit, pienet aromaattiset yhdisteet ja hitaimmin rengasmaiset alkaanit. Jotkut raskaat PAH-yhdisteet eivät välttämättä hajoa lainkaan (Das & Chandran 2011). Dispersoituminen veteen voi nopeuttaa biohajoamista.

Maaperässä öljyt kulkeutuvat tyypillisesti omana veteen liukenemattomana faasina (Non-Aqueous Phase Liquids, NAPL). Kulkeutumaton osuus muodostaa maaperään ns. jäännösfaasin, joka voi pitkään toimia vesiliukoisten yhdisteiden päästölähteenä maaperässä tai pohjavedessä.

Öljytuotteet voivat aiheuttaa haittaa ympäristössä myrkyllisyytensä vuoksi, piilaamalla pohjaveden tai esimerkiksi tahrिमalla lintuja. Öljyjen ekotoksisuusarvot ilmoitetaan yleensä LL- tai EL-arvoina (median lethal/effective loading) tarkoittaen öljymäärää vedessä, josta liukenevat yhdisteet aiheuttavat toksisuuden. Ekotoksisuustestejä varten öljystä tehdään vesiliukoinen fraktio, josta sen vesiliukoisten yhdisteiden kemiallinen toksisuus mitataan. Useille eliölajeille suora kontakti öljykalvon tai dispersoituneen öljyn kanssa on kuitenkin selvästi haitallisempaa kuin kemiallinen toksisuus.

Tässä kappaleessa on tarkasteltu tarkemmin dieselin/kevyen polttoöljyn sekä bioöljyjen ja -polttoaineiden käyttäytymistä ja haittavaikutuksia ympäristössä.

Diesel/kevyt polttoöljy

Diesel on perinteiden fossiilinen polttoaine, jota on käytetty yli 100 vuoden ajan. Fossiilisten polttoaineiden käyttö lisääntyy edelleen, mutta raskaista öljytuotteista siirrytään yhä enemmän kevyisiin öljyihin kuten dieseliin. Tämän seurauksena dieselin kysyntä lisääntyy nopeammin kuin muiden fossiilisten öljytuotteiden (Srivastava & Hancsok 2014).

Diesel on raakaöljystä tislattu öljytuote, joka koostuu pääasiassa n-alkaaneista, isoalkaaneista, sykloalkaaneista ja aromaattisista yhdisteistä. Yhdisteiden hiiliketjun pituus on välillä C10–C22 (keskimäärin C12 aromaattisilla yhdisteillä ja C14-15 muilla hiilivedyillä). n-alkaanien ja isoalkaanien osuus dieselissä on 25–50 %. Dieselissä esiintyvät sykloalkaanit koostuvat pääosin yhdestä hiilirenkaasta ja alkyylisivuketjusta ja näiden yhdisteiden osuus polttoaineessa on 20–

40 %. Aromaattiset yhdisteet dieselissä ovat pääasiassa yhdestä aromaattisesta renkaasta ja sivuketjuista koostuvia yhdisteitä. Aromaattisten yhdisteiden osuus dieselissä on 15–40 %. Dieselin koostumus vaihtelee alkuperän ja tuotteen mukaan. (Pitz & Mueller 2011.)

Diesel muodostaa vedessä hyvin ohuen kalvon. Pienet diesel-vuodot (noin 2000–20 000 litraa) tyypillisesti haihtuvat ja dispersoituvat luonnostaan jopa päivässä (NOAA 2017). Dieseliiä pidetään raskaisiin öljyihin verrattuna helposti haihtuvana, ja sen höyrynpaine onkin selvästi alhaisempi kuin esimerkiksi raskaalla polttoöljyllä. Fingas (2015) esittämien empiirisissä kokeissa saatujen kaavojen mukaan laskettuna haihtumisprosentti eri diesel-laaduilla (11 kpl) on vuorokauden jälkeen 9–50 % (keskiarvo 25 %) ja 7 vuorokauden jälkeen 24–77 % (keskiarvo 47 %).

Alhaisen viskositeetin vuoksi diesel dispersoituu helposti veteen aaltoliikkeen vaikutuksesta. Pienet öljypisarat voivat pysyä veteen suspendoituneena ja kulkeutua virtausten mukana. Vaikka dieselin vesiliukoisuus on alhainen, osa yhdisteistä liukenee veteen. Veteen dispersoitunut diesel voi myös sitoutua hienoon kiintoaineeseen ja sedimentoitua, mutta sedimentoituminen ei todennäköisesti aiheuta merkittävää pohjan pilaantumista pienessä diesel-vuodossa. Orgaaniseen hiileen sitoutuminen on voimakkaampaa mitä suurempi yhdisteen molekyyli-
koko on. (NOAA 2017.)

Kevyet öljyt muodostavat ns. ”epästabiilin” emulsion eli öljy ei pidätä merkittävää määrää vettä ja vesi pysyy emulsiossa vain lyhyen ajan. Epästabiilin emulsion viskositeetti on yleensä enimmillään 20-kertainen alkuperäiseen öljyyn verrattuna. (Fingas & Fieldhouse 2003.)

Diesel hajoaa mikrobien vaikutuksesta parin kuukauden sisällä (NOAA 2017). Hajoamisnopeus vaihtelee paljon olosuhteiden mukaan, eikä dieselin biohajoisuudelle ole olemassa kirjallisuudessa yksiselitteistä puoliintumisaikaa. Esimerkiksi eräässä tutkimuksessa n-alkaanit hajosivat 10 päivässä merivedessä, mutta 53 päivän jälkeen oli vielä jäljellä heikommin hajoavia yhdisteitä (DeMello ym. 2007). Toisessa kokeessa optimiolosuhteissa dieselistä jopa yli 80 % biohajosi kahdessa päivässä (Maliji ym. 2013).

Dieselin toksisuus on suurempi verrattuna esimerkiksi raskaaseen polttoöljyyn. Kuitenkin dieselin toksisuus on bensiniä alhaisempi. Suora kontakti on haitallista kaloille, linnuille ja selkärangattomille, ja kalakuolemia on raportoitu mata-

lissa vesissä, joissa öljy ei pääse laimenemaan. Dieselvuoto voi aiheuttaa vakavia vaikutuksia linnuille, jos vuoto tapahtuu esimerkiksi pesimäalueen välittömässä läheisyydessä. (NOAA 2017.) Dieselillä mitatut toksisuusarvot *Daphnia magna*-vesikirpuilla olivat öljy-vesidispersiossa huomattavasti alhaisemmat kuin öljyn vesiliukoisessa fraktiossa (Hollebone ym. 2008, Malk ym. 2014).

Korkeaseosetanoli E85

Bioetanoli on maailmanlaajuisesti tunnetuin ja eniten käytetty biopolttoaine. Suurimmat tuottajamaat ovat Yhdysvallat ja Brasilia. Euroopassa suurimmat tuottajamaat Ranska, Saksa ja Espanja tuottavat bioetanolia pääasiassa sokerijuurikkaasta ja vehnästä. (Öljy- ja biopolttoaineala ry. 2015c.) Suomessa St1 on pioneeri jätepohjaisen etanolin tuotannossa ja tuotantoteknologioiden kehittämisessä. Se valmistaa bioetanolia elintarviketeollisuuden jätteistä sekä ja kauppojen ja kotitalouksien biojätteistä. (St1 2015a).

Korkeaseosetanoli E85 on FlexFuel-autoissa käytettävä polttoainelaatu, jossa on 80–85 % bioetanolia ja 15–20 % bensiinin erikoiskomponentteja, jotka mm. parantavat kylmäkäynnistystä (St1 2015a). E85-polttonesteen lisäksi bioetanolia käytetään E5- ja E10-polttoaineissa sekä raskaan kaluston käyttöön tarkoitettussa RED95-etanolidieselissä, jota on Suomessa kokeiltu. mm. jakelu- ja jäteautoissa ja etanolibusseissa. Ruotsissa etanolidieselmoottoreita on käytetty jo yli 20 vuotta, ja etanolibusseja liikennöi Tukholmassa yli 500 kappaletta. (St1 2015b.)

Etanoli on täysin veteen ja bensiiniin sekoittuva. Se on vettä kevyempää ja sen viskositeetti on hieman alhaisempi kuin vedellä (Hollebone & Yang 2009). Höyrynpaine on korkea. Korkeaseosetanoli E85 onkin bensiinin tavoin erittäin herkästi haihtuva. Tämä todettiin myös ÄLYKÖ-hankkeessa toteutetuissa demonstraatiokokeissa, joissa korkeaseosetanoli haihtui bensiinin tavoin vedestä. Haihtuminen on nopein ja merkittävin häviämisprosessi pintavedessä, sedimentissä ja maaperässä (St1 Oy 2016). Kuitenkin etanolin korkea vesiliukoisuus voi vähentää oleellisesti sen haihtumista vesiliuoksesta, ja Henryn lain perusteella etanoli haihtuu vedestä heikosti. Tämän vuoksi etanolin biohajoaminen voi olla pintavesissä haihtumista tärkeämpi poistumismekanismi (ITRC 2011).

Vedessä etanoli sekoittuu vettä kevyempänä yhdisteenä aluksi pintaosaan ja tässä konsentroituneessa kerroksessa haihtuminen voi olla merkittävää. Tämä mah-

dollisesti selittää korkeaseosetanolin voimakkaan haihtumisen demonstraatio-kokeissa, joissa koeastiat olivat kohtuullisen pienet. Vesi ja etanoli muodostavat yhdessä kolmannen faasin, joka sekoittuu ja liukenee veteen erittäin nopeasti aaltojen ja virtausten sekä laimenemisen vuoksi. (Cotel ym. 2012.) Hiilivedyt irtoavat polttonesteseoksesta ja muodostavat veden pinnalle kalvon, joka voi haihtua nopeasti.

E85-polttonesteen viskositeetti on alhainen, joten se läpäisee helposti maaperän. Maaperässä etanolin voi jakautua huokosveteen tai kulkeutua omana polttonestefaasinaan. Kuivassa maassa E85 kulkeutuu bensiinin tavoin, mutta kosteassa maassa se leviää horisontaalisesti laajemmalle (Malk ym. 2014). Lähestyessään pohjaveden pintaa etanoli pidättyy kapillaarivyöhykkeeseen yläosaan (Freitas & Barker 2011). Kuitenkin jos vuoto on suuri ja maaperä läpäisevä, etanolin on havaittu kulkeutuvan pohjaveteen nopeasti onnettomuuden jälkeen (ITRC 2011).

Etanoli hajoaa nopeasti mikrobiologisesti sekä hapellisissa että hapettomissa olosuhteissa, ja sitä hajottavia mikrobeja esiintyy lähes kaikkialla. Lisäksi mikrobit sietävät etanolia varsin suurina pitoisuuksina (ITRC 2011). Tutkimuksissa on havaittu etanolin hajoavan kokonaan jopa viidessä päivässä Nopea hajoaminen kasvattaa biologista ja kemiallista hapenkulutusta vedessä. (Hollebone & Yang 2009.) E85-seoksessa esiintyvien yhdisteiden välillä on kuitenkin merkittäviä eroja biohajoavuudessa. Bensiinihiilivedyt ovat hitaasti biologisesti hajoavia, ja MTBE, ETBE, TAEE ja TAME ovat erittäin hitaasti hajoavia. Käyttöturvallisuustiedotteen mukaan E85-tuotteen hajoaa anaerobisissa olosuhteissa erittäin hitaasti. (St1 Oy 2016.)

Etanolin vaikutusta bensiinihiilivetyjen kulkeutumiseen pohjavedessä on tutkittu useissa tutkimuksissa (Chen ym. 2008, Freitas & Barker 2011, Powers ym. 2001). Etanolin nopea biohajoaminen voi hidastaa BTEX- ja PAH-yhdisteiden biohajoamista. Lisäksi etanoli voi lisätä öljyhiilivetyjen liukoisuutta, kun etanoli-pitoisuus polttoaineessa on korkea (yli 50 %) kuten E85-polttonesteessä (Chen ym. 2008).

E85-polttoneste luokitellaan ympäristölle vaaralliseksi. E85-seokselle ei kuitenkaan ole määritetty virallisia ekotoksisuusarvoja, vaan luokitus perustuu sen komponenttien toksisuuteen. Eräissä tutkimuksissa E85-polttoneste oli 1:40 vesiliuoksessa ja sen laimennoksissa lähes yhtä haitallinen vesieliöille (vesikir-

puille ja valobakteereille) kuin E5-bensiini. Bensiini taas on selvästi toksisempi kuin esimerkiksi diesel. Sen sijaan maaperätoksisuustestissä E85 oli selvästi perinteistä bensiniä haitattomampi. (Malk ym. 2014.)

Nopea biohajoaminen voi aiheuttaa ympäristössä hapettomuutta. Esimerkiksi korkeaseosetanolin hajoamisen aiheuttamaa hapettomuutta on havaittu useissa case-tutkimuksissa, ja laboratoriossa on todettu hapen kulutuksen olevan hyvin nopeaa. (Hollebone & Yang 2009, ITRC 2011.) Lisäksi etanolin hajoamistuotteena syntyy metaania, joka hapettomissa olosuhteissa voi akkumuloitua ympäristöön aiheuttaen räjähdysriskin. Metaanin tuotanto voi alkaa vasta huomattavalla viiveellä ja jatkua vuosia senkin jälkeen, kun itse biopolttoaine on hävinnyt ympäristöstä. Useimmissa vuototapauksissa metaanin akkumuloituminen ei kuitenkaan ole todennäköistä, sillä metaani hajoaa nopeasti, jos hapetta on riittävästi saatavilla. Alueen monitoroinnissa kannattaa silti huomioida haitta-aineiden pitoisuuksien lisäksi metaanin tuotanto ja biologinen ja kemiallinen hapen kulutus. (ITRC 2011.)

Kasviöljyt ja biodiesel

Biodieselit ovat kasviöljyistä (esim. rapsiöljy, palmuöljy) tai eläinrasvoista valmistettuja mono-alkyyliesteriä. Biodieseliä valmistetaan transesteröimällä öljy tai rasva alkoholin kanssa. Euroopassa standardi EN 14214 rajaa biodieseliksi vain rasvahappojen metyyliesterit (FAME). (Knothe 2010.) FAME-pitoisuus dieselöljyssä saa Euroopassa olla enintään 7 tilavuusprosenttia. Rapsi on tavallisin biodieselin raaka-aine Euroopassa (Öljy- ja biopolttoaineala ry. 2015c), mutta biodieselin raaka-aineena voidaan käyttää mitä tahansa kasviöljyä, eläinrasvoja, kasviperäistä jäteöljyä tai mikroleväöljyä. USA:ssa biodiesel valmistetaan useimmiten soijapapuöljystä ja etyyli- tai metyyliesteriä voidaan sekoittaa tavalliseen diesel-polttoaineeseen tai käyttää suoraan polttoaineena (100 % biodiesel) (Oak Ridge National Laboratory 2011). Suomessa tuotetaan enimmäkseen ns. uusiutuvaa dieseliä eikä Suomessa ole isoja biodieselin tuottajia.

FAME koostuu pääasiassa metyyliheksadekaonaatista (C16 FAME), metyylioktadekaonaatista (C18 FAME) ja C18 FAME:n isomeereistä, joissa kaksoissidosten määrä vaihtelee yhdestä kolmeen (DeMello ym. 2007). Biodiesel vaatii monenlaisia lisäaineita parantamaan ominaisuuksia ja nämä lisäaineet muodostavat laajan kemiallisen vaihtelun tuotteisiin (ITRC 2011).

Biodieselin ominaisuudet poikkeavat fossiilisesta dieselistä. Biodieselin vesiliukoisuus (0,0012–0,021 mg/l) on dieselin vesiliukoisuutta (5 mg/l) alhaisempi, mutta biodiesel sekoittuu täysin dieselin kanssa. Biodiesel on vettä kevyempää (tiheys 0,87–0,95 g/cm³) kuten diesel mutta sen viskositeetti on suurempi kuin dieselin. Biodieselin höyrynpaine on alhaisempi kuin dieselin, joten sen haihtuvuus ja syttymisriski on alhaisempi (ITRC 2011). Biodieselin jäähmepiste (cloud point) on korkea (noin 0–15 °C) verrattuna muihin polttoaineisiin, mikä heikentää sen soveltumista kylmiin olosuhteisiin. Jäähmepisteessä tuote alkaa kiertyä. (Knothe 2010.) Öljyn jäähmettyminen estetään käyttämällä moottorissa biodieselin ja tavallisen dieselin seosta.

Biodieselin haihtuminen on dieseliin verrattuna vähäistä ja biohajoaminen on merkittävämpi poistumismekanismi ympäristöstä (DeMello ym. 2007). Yksinkertaisen rakenteen vuoksi biodiesel hajoaa helposti sekä hapellisissa että hapettomissa olosuhteissa (ITRC 2011). Biodiesel hajoaa noin 2–2,5 kertaa nopeammin kuin fossiilinen diesel ja optimaalisissa olosuhteissa puhdas biodiesel voi hajota alle kahdeksassa päivässä. Noin kuukaudessa (28 d) biodieselistä on havaittu hajoavan 80–90 % (Hollebone & Yang 2009). Biodieselin ja dieselin sekoituksissa FAMEt voivat edistää dieselin biohajoamista (Fingas 2015).

Biodieselin on havaittu muodostavan valkean maitomaisen dispersion vedessä sekä laboratoriokokeissa että oikeissa onnettomuustapauksissa. Vaikutus on havaittu jo B20 seoksessa, jossa on 20 % biodieseliä sekoitettuna dieseliin. (DeMello ym. 2007.)

Korkean viskositeetin ja rasvahakuisuuden (logKOW 3,3–7,06) vuoksi biodieselit ovat maaperässä heikosti kulkeutuvia (ITRC 2011).

Kasviöljyillä merkittävä tekijä ympäristökäyttäytymisessä on hapettuminen. Voimakkaasti hapettuvat kasviöljyt myös polymerisoituvat, jolloin niiden bioosaatavuus mikrobeille vähenee ja biohajoaminen heikentyy (Fingas 2015). Jäännösosauudet voivat olla jopa pysyvämpiä kuin mineraaliöljyt (Mudge 1997, DeMello ym. 2007 mukaan).

Puhtaiden biodieseleiden akuutti toksisuus vesielioille on vähintään viisi kertaa alhaisempi kuin fossiilisen dieselin, mutta esimerkiksi B20-sekoituksen (20 % biodieseliä sekoitettuna dieseliin) toksisuus on yhtä suuri kuin normaalin dieselin (Hollebone & Yang 2009). Toksisuus on suurempi eliöiden altistuessa dispersoituneelle biodieselille verrattuna veteen liuenneiden komponenttien to-

kisuusteen (Hollebone 2008). Biodieseleihin lisättävät lisäaineet voivat aiheuttaa toksisuutta, mutta niistä on vain vähän julkista tutkimustietoa (ITRC 2011).

Kasviöljyjen akuutin toksisuuden on todettu olevan alhainen, mutta tästä huolimatta kasviöljyvuodolla voi olla vakavia, ja samanlaisia seurauksia ympäristöön kuin fossiilisilla öljyilläkin. Merkittävin vaikutus vesieliöille on öljyllä tahriintuminen. Fingas (2015) raportoi 20 onnettomuutta ympäri maailmaa (pääasiassa USA:ssa ja Kanadassa), joissa kasviöljyä on vuotanut veteen. Havaitut vaikutukset ympäristössä ovat olleet etenkin hapettomuus ja eliöiden tahriintuminen, joiden seurauksen monessa onnettomuustapauksessa onkin kuollut paljon lintuja ja muita eliöitä.

Uusiutuva diesel

Suomessa markkinoilla olevassa dieselöljyssä on bio-osuutena enimmäkseen ns. uusiutuvaa dieseliä, joka on uusiutuvasta raaka-aineesta valmistettua mutta ominaisuuksiltaan tavallisen dieselin kaltaista polttoainetta. Uusiutuvaa dieseliä voidaan valmistaa esimerkiksi vetykäsittelyllä (HVO, Hydrotreated Vegetable Oil) tai Fischer-Tropsch-synteesin avulla kaasuttamalla (ns. BTL-diesel). Uusiutuvan dieselin osuutta jakeluasemilla myytävässä dieselissä ei ole rajoitettu, koska se on kemialliselta koostumukseltaan fossiilisen dieselöljyn kaltaista. (Ölly- ja biopolttoaineala ry. 2015c.)

Neste Oil on maailman suurin uusiutuvan dieselin tuottaja sekä maailman suurin jätteistä ja tähteistä valmistettujen uusiutuvien polttoaineiden tuottaja. NExBTL-diesel valmistetaan HVO-menetelmällä. Pääraaka-aineena on käytetty palmuöljyä, mutta nyt jo lähes 80 % uusiutuvien tuotteiden valmistuksessa käytettävistä raaka-aineista on jätteitä ja tähteitä (Neste Oyj 2017a). Vuonna 2017 Neste on myös lanseerannut täysin jätteistä ja tähteistä valmistetun Neste MY uusiutuvan dieselin (Neste Oyj 2017b). NExBTL-dieseliä käytetään myös lämmitysöljyssä (Neste Oil Oyj 2008) ja siitä valmistetaan biopohjaisia liuottimia ja teknisiä kemikaaleja (Tekniikkauutiset 9.6.2015).

Suomessa myös UPM Kymmene Oyj tuottaa uusiutuvaa BioVerno-dieseliä vetykäsittelmällä selluteollisuuden jätteenä syntyvästä mäntyöljystä. BioVerno-dieseliä valmistetaan Lappeenrannassa maailman ensimmäisessä puupohjaista uusiutuvaa dieseliä tuottavassa biojalostamossa, joka aloitti toimintansa tammi-kuussa 2015 (UMP 2015a).

Uusiutuva diesel on fysikaalis-kemiallisilta ominaisuuksiltaan pääosin fossiilisen dieselin kaltaista. NExBTL sisältää keskitisleasealuen iso- ja n-parafiinisia hiiliveytyjä (alkaaneja), joista i-oktadekaanin osuus NExBTL-dieselillä on n. 31 % ja i-heptadekaanin n. 23 % (ECHA-tietokanta). Kokonaisaromaattien pitoisuus on enintään 1,0 paino-%. (Neste Renewable Fuels 2015). Suurin ero tavallisen dieselin ja NExBTL:n välillä on, että NExBTL ei sisällä rikkiä eikä happea ja aromaattisten yhdisteiden pitoisuus on hyvin alhainen (<0,02 til-%) (Mikkonen ym. 2012). BioVerno-diesel sisältää pääasiassa tyydyttyneitä C9-C20 hiiliveytyjä. Runsaimpana esiintyvän heptadekaanin osuus on noin 16 % ja oktadekaanin noin 14 % (ECHA-tietokanta). NExBTL- ja BioVerno-tuotteiden kemiallisessa koostumuksessa on siis pientä eroa. Aromaattisten yhdisteiden osuus BioVerno-dieselissä ei ole tiedossa. Aine sisältää bentseeniä $\geq 0 - < 0,1$ % (w/w), naf-taleeniä $\geq 0,001 - \leq 0.5$ % (w/w) ja n-heksaania $\geq 0 - < 2,0$ % (w/w). (NEOT 2015.)

Sekä NExBTL- että BioVerno-dieseiden viskositeetti ja höyrynpaine ovat hieman alhaisemmat kuin fossiilisella dieselillä (Liite 6). Myös NExBTL:n tiheys on hieman alhaisempi, mutta BioVernon tiheys on lähes dieselin tasolla. Biodieseliin verrattuna uusiutuvan dieselin kylmäominaisuudet ovat paremmat ja jäähmepiste voidaan asettaa tarpeen mukaan -5, -25 tai -30 °C:een. (Knothe 2010.)

Uusiutuvan dieselin käyttäytymisen ympäristössä (kulkeutuminen, jakautuminen, biohajoaminen) oletetaan olevan samanlainen kuin fossiilisen dieselin (California Environmental Protection Agency 2010). Toisaalta n-alkaanien osuuden ollessa suuri, uusiutuva diesel voi biohajota nopeammin fossiiliseen dieseliin verrattuna. Uusiutuvan dieselin ja tavallisen dieselin biohajoamisesta esimerkiksi maaperässä ei kuitenkaan ole tehty vertailututkimuksia (Knothe 2010). Biohajoamisarvoissa on eroa NExBTL- ja BioVerno-tuotteiden välillä. NExBTL:n biohajoaa 28 päivässä 82 % (Neste Renewable Fuels Oy 2015). BioVernon biohajoavuus on kuitenkin vain 33 % (ECHA-tietokanta), joka on vähemmän kuin dieselillä (60 %) (Neste Oyj 2016). Maaperätoksisuustestissä NExBTL-pitoisuus laski kahden viikon aikana 67 % ja dieselin 63 % (Malk ym. 2014).

Alhaisemman höyrynpaineen vuoksi uusiutuvat dieselit ovat hieman heikommin haihtuvia fossiiliseen dieseliin verrattuna. NExBTL-dieselin vähäisempi haihtuvuus dieseliin verrattuna havaittiin myös ÄLYKÖ-hankkeen demonstraatiokokeissa, joissa koeastioiden ilmatilasta mitatut VOC-pitoisuudet olivat NExBTL:llä dieseliiä alhaisemmat.

Uusiutuvat dieselit ovat veteen niukasti liukenevia. Vedessä ne muodostavat kalvon veden pinnalle ja dispersoituvat veteen fossiilisen dieselin tavoin. ÄLYKÖ-hankkeen demonstraatiokokeissa havaittiin pieniä eroja NExBTL:n ja dieselin käyttäytymisessä vedessä mm. emulsion rakenteessa. Kahden viikon jälkeen NExBTL:n pitoisuus vedessä oli alhaisempi kuin dieselillä, mutta kokeen perusteella ei voitu arvioida johtuuko ero erilaisesta dispersoitumisesta vai biohajoamisesta.

Maaperäkulkeutumista mallittavassa laboratoriokokeessa NExBTL-dieselin ja tavallisen dieselin kulkeutumisessa kvartsihiekassa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa (Malk ym. 2014). ÄLYKÖ-hankkeen demonstraatiokokeissa NExBTL:n kulkeutuminen oli hieman voimakkaampaa kuin dieselin, mutta tilastollista tarkastelua ei kokeen perusteella voitu tehdä. Uusiutuvan dieselin sisältämät hiilivedyt voivat adsorboitua maaperän tai sedimentin orgaaniseen aineeseen (NExBTL log KOC > 5,6 ja BioVerno log KOC 2,3–9,5). (Neste Renewable Fuels Oy 2015, NEOT 2015).

Uusiutuvan NExBTL-dieselin toksisuus vesieliöille ja maaperäeliöille (liero) on alhainen (Neste Renewable Fuels 2015, Malk ym. 2014). Vähäinen toksisuus on todennäköisesti alhaisen aromaattisten hiilivetyjen pitoisuuden ansiota (California Environmental Protection Agency 2010). Vaikka NExBTL:n toksisuus on alhainen, osa vesieliöistä on hyvin herkkiä öljykalvon ja veteen dispersoituneen öljyn fysikaalisille vaikutuksille. Toksisuustestien tulokset kertovat vain yhdisteiden kemiallisesta toksisuudesta. (Malk ym. 2014) Toksisuusarvojen perusteella BioVerno-diesel on haitallisempaa eliöille kuin NExBTL-diesel ja BioVerno-dieselin toksisuus on suunnilleen fossiilisen dieselin tasolla. (Liite 6.)

Nopean pyrolyysin bioöljy

Nopea pyrolyysi tekniikassa biomassa kuumennetaan nopeasti hapettomissa olosuhteissa noin 500 asteeseen. Kuumennuksen seurauksena biomassa hajoaa ja muodostaa kaasuja, jotka lauhdutetaan nopeasti bioöljyksi. (Fortum 2015a.)

Suomessa Fortum valmistaa nopeapyrolyysiprosessin avulla Fortum Otso®-bioöljyä puuperäisestä raaka-aineesta kuten metsätähteestä, hakkeesta tai sahanpurusta. Joensuussa sijaitseva bioöljylaitos alkoi tuottaa bioöljyä vuonna 2013 ja se on ensimmäinen nopeapyrolyysitekнологiaan perustuva bioöljylai-

tos teollisessa mittakaavassa koko maailmassa. (Fortum 2015a, b.) Laitos pystyy tuottamaan bioöljyä 50 000 tonnia vuodessa. Pyrolyysiöljyä kuljetetaan tällä hetkellä Iisalmeen, jossa toimii Savon Voiman pyörittämä laitos, Vermoon Espooseen sekä Karlshamniin Ruotsiin. (Haapalainen 2016.) Tuotetta voidaan käyttää lämpölaitoksilla ja teollisuushöyryn tuotannossa korvaamaan raskasta tai kevyttä polttoöljyä. Tällä hetkellä sitä käytetään Fortumin omilla lämpölaitoksilla ja lisäksi Vermon lämpökeskus Espoossa ja Savon Voima Iisalmissa käyttävät Fortumin bioöljyä kaukolämmön tuotannossa. Tulevaisuudessa bioöljyä voidaan mahdollisesti käyttää raaka-aineena erilaisille biokemikaaleille tai liikenteen polttoaineille. (Fortum 2015a, b.)

Fortumin bioöljylaitoksen lisäksi Green Fuel Nordic Oy on aikeissa rakentaa Suomeen lähivuosina useita pyrolyysiöljyä tuottavia biojalostamoita. Ensimmäisen biojalostamon on tarkoitus tulla Iisalmeen ja seuraaviksi paikkakunniksi suunnitellaan Lieksaa ja Savonlinnaa. (Green Fuel Nordic Oy 2015.)

Pyrolyysiöljy on koostumukseltaan ja ominaisuuksiltaan täysin erilaista kuin fossiiliset polttoaineet. Se on tummanruskeaa-mustaa, jäykkäliikkeistä nestettä, jossa on voimakas orgaaninen ja savuntapainen ominaishaju (Fortum Power and Heat Oy 2015). Pyrolyysiöljy sisältää vettä 20–30 paino-%, siinä on huomattava osuus suspendoitunutta kiintoainesta, sen tiheys on korkeampi kuin fossiilisilla öljyillä ja se on hapanta. Pyrolyysiöljy jakaantuu helposti faaseihin. (Oasmaa & Peacocke 2010.)

Kemiallinen koostumus on monimutkainen ja myöskin vaikea analysoida esimerkiksi kaasukromatografisesti. Veteen liukenematon osuus koostuu pääasiassa ligniineistä, uuteaineista ja kiinteistä aineista. Veteen liukenemattoman fraktion osuus on noin 20–25 paino-%. Vesiliukoinen osuus puolestaan koostuu enimmäkseen vedestä, sokereista, hapoista, aldehydeistä, ketoneista, pyraaneista ja furaaneista. Vallitsevimmat yhdisteryhmät ovat sokerit (34,4 %), aldehydit, ketonit, furaanit ja pyraanit (15,4 %) sekä ligniinit (yhteensä noin 15,35 %). Uuteaineiden osuus on 4,35 %, happojen 4,3 % ja alkoholien 2,2 %. (Oasmaa & Peacocke 2010.) PAH-yhdisteiden pitoisuus pyrolyysiöljyssä on tyypillisesti alle 10 ppm. (Girard ym. 2005.)

Pyrolyysiöljyn käyttäytymistä ympäristössä on tutkittu vielä vähän. Osa yhdisteistä on haihtuvia. ÄLYKÖ-hankkeen demonstraatiokokeet osoittivat, että noin 35 % pyrolyysiöljystä haihtuu huoneenlämmössä. Alussa haihtuminen on nopeampaa kuin dieselillä, mutta haihtuminen hidastuu 30 %:n osuuden jälkeen

huomattavasti. Pyrolyysiöljy on vettä tiheämpää (tiheys n. 1,2 kg/l). Vedessä vesiliukoinen osa sekoittuu veteen, mutta veteen liukenematon osuus painuu pohjaan.

Maaperädemostraatiokokeessa pyrolyysiöljyn veteen liukenematon osuus pidentyi pintamaahan ja muodosti ”kuoren” maan pinnalle. Vesiliukoinen fraktio kulkeutui veden mukana maapatsaan läpi. Pyrolyysiöljyn käyttäytymistä pohjavedessä ei ole tutkittu.

Fortum Otso®-pyrolyysiöljyn biohajoavuus 28 päivän aktiivilietekokeessa oli 50,9 % eli biohajoaminen on nopeaa (Fortum Power and Heat Oy 2015). Ligniinin tiedetään olevan heikosti biohajoava. Vain muutamat lajit pystyvät hajotamaan ligniiniä aerobisesti ja anaerobinen hajoaminen on vähäistä. (Girard ym. 2005.) Vesiliukoisien fraktion sisältämien yhdisteiden arvioidaan olevan helposti biohajoavia eivätkä ne sitoudu kovin hyvin orgaaniseen aineeseen, jolloin ne voivat kulkeutua pohjaveteen ja pohjaveden virtausten mukana. Pyrolyysiöljyn käyttäytymistä maaperässä ja pohjavedessä on arvioitu tarkemmin artikkelissa ”*Pyrolyysiöljyvuoaton mallinnus pohjavesialueella*”.

Fossiilisiin öljyihin verrattuna, pyrolyysiöljyjen toksisuus on alhaisempi. Fortum Otso®-bioöljylle määritetyt ekotoksisuusarvot on esitetty liitteessä 6. Pieninä pitoisuuksina pyrolyysiöljy voi lisätä levän kasvua. Rehevöittävä vaikutus on kuitenkin todennäköisesti pieni pyrolyysiöljyn alhaisesta typpi- ja mineraalipitoisuudesta johtuen. Bioöljyssä suurimpina massaosuuksina esiintyvien yhdisteryhmien, kuten etikkahapon, hydroksiasetaldehydin ja anhydrosokereiden, toksisuuden tiedetään olevan alhainen. Eri bioöljytuotteita testattaessa toksisuus oli korkein tuotteilla, joiden PAH-pitoisuus oli myös korkein (Girard ym. 2005).

Mäntyöljy

Mäntyöljy on sulfaattisellun valmistuksesta saatava sivutuote. Mäntyöljyä käytetään ennen kaikkea kemianteollisuuden raaka-aineena (Syke 2011) mutta myös uusiutuvan dieselin raaka-aineena. Mäntyöljystä voidaan tislamalla erottaa eri jakeita jatkokäyttöön. Suomi on USA:n jälkeen maailman toiseksi suurin mäntyöljyn tuottajamaa. Suomessa tuotetaan 15 % maailman mäntyöljystä (Chen 2012, Balo 2015 mukaan).

Raakamäntyöljy on monimutkainen männyn harts- ja rasvahappojen seos. Se on öljymäinen tummanruskea neste, jolla on kirpeän suopamainen haju. Raakamäntyöljyn koostumus vaihtelee puulajin tehtaan prosessista riippuen. Raakamäntyöljy koostuu hartsihapoista (20–50 %), rasvahapoista (35–70 %) ja neutraaleista aineosista (5–30 %). (Syke 2011.) Balon (2015) mukaan rasvahappoja, hartsihappoja ja saippuoitumatonta ainesta (kuten steroleja, vahoja, hiilivetyjä) on mäntyöljyssä suhteessa 5:4:1.

EFSA (European Food Safety Authority) tekemän riskinarviointiraportin (2012) mukaan mäntyöljyn käyttäytyminen ympäristössä tunnetaan huonosti. Esimerkiksi biohajoamisnopeutta ja -reittiä maaperässä ei tunneta eikä mäntyöljyn kulkeutuvuutta maaperässä tai pohjavedessä (esim. KOC-arvoa) ole arvioitu. Myöskään käyttäytymisestä pintavesissä ei ole tutkimustietoa. (EFSA 2012.) Mäntyöljy ei kuitenkaan sekoitu veteen ja vettä hieman kevyempänä se leviää veden pinnalle. Aineen adsorptio- ja desorptiokäyttäytymisestä tai haihtumisesta ei ole tietoa. Todennäköisesti mäntyöljy ei kerry eliöihin. (UCY Energy 2013.) Mäntyöljyn höyrynpaine on arvioitu käytännössä nolllaksi, minkä perusteella on päätelty, että se ei haihdu (PCA 2003).

Käyttöturvallisuustiedotteen mukaan mäntyöljy luokitellaan aktiivilietekokeiden perusteella helposti biohajoavaksi (UCY Energy 2013). Vähänojan ym. (2005) Oulun yliopistossa tekemässä tutkimuksessa mäntyöljystä biohajosi pohjavedessä 28 päivän aikana 13,4 %, kun standardiolosuhteissa biohajoavuus oli 54,3 %.

Vuoden 2011 lopussa Ruotsin rannikolla sattui onnettomuus, jossa 800 m³ mäntyöljyä pääsi ympäristöön. Öljylautta kulkeutui kohti Suomen rannikkoa. Kylmissä olosuhteissa biohajoamisen arveltiin olevan hidasta. Mäntyöljyn tiedettiin voivan sekoittua meriveteen, upota pohjalle tai kellua vedenpinnan alapuolella. Öljylautta vatkanui myrskyssä paakuiksi. (Pokka 2011.)

Suomen ympäristökeskuksen tietojen mukaan useimmat mäntyöljyt ovat myrkyllisiä vesieliöille johtuen ennen kaikkea niiden sisältämistä hartsihapoista, joista monet ovat vesieliöille hyvin myrkyllisiä. Mäntyöljyä on käytetty myös desinfiointiin, koska se on myrkyllistä bakteereille. (Syke 2011.) Tislattua mäntyöljyllä tehdyissä testeillä mäntyöljyn ei kuitenkaan havaittu olevan toksista vesieliöille maksimivesiliukoisuudellaan ja NOEL-arvot olivat yli 1000 mg/l (PCA 2003). ECHA-tietokannassa esitetyt ekotoksisuusarvot on esitetty liitteessä 6. Mäntyöljylle ei löydy toksisuusarvoja maaperä- ja sedimenttieliöille. Mäntyöljy on tahmeaa ja sen haitat perustuvat tahraavuuteen (YLE Satakunta 2011).

Yhteenveto ja tutkimustarpeet

Eri bioöljyjen ja -polttoaineiden käyttäytymisestä ympäristössä löytyy melko vähän tieteellistä tutkimustietoa. Tieteellisissä julkaisuissa on käsitelty laajasti biopolttoaineiden elinkaariarviointeja, mutta tuotteiden käyttäytyminen öljyvuototilanteessa on jäänyt vähemmälle huomiolle. Bioöljyjen- ja polttoaineiden oletetaan olevan vähemmän haitallisia kuin vastaavien fossiilisten polttoaineiden. Ekotoksisuustesteissä ja biohajoavuskokeissa näin on havaittu useimmiten olevankin. Toisaalta kemikaalirekisteröintiin ja käyttöturvallisuustiedotteisiin vaadittavat vähimmäisstandardit eivät vielä kerro kovinkaan paljoa tuotteiden käyttäytymisestä ympäristössä vaihtelevissa olosuhteissa. Lisäksi eniten tutkituilla biodieseleillä ja bioetanolilla on havaittu muita, osin yllättäviäkin vaikutuksia ympäristössä kuten hapen kulutus, metaanin tuotanto ja fossiilista polttoaineista poikkeava dispersiokäyttäytyminen. Vastaavanlaisia vaikutuksia voi olla myös muilla bioöljyillä ja -polttoaineilla ja näitä vaikutuksia pitäisi tarkemmin tutkia.

Itä-Suomen kannalta pyrolyysiöljy on merkittävässä roolissa, sillä Fortumin Joensuun bioöljylaitoksen lisäksi Green Fuel Nordic Oy suunnittelee biojalostamoja Iisalmeen, Lieksaan ja Savonlinnaan. Riskien ja ympäristövaikutusten minimoimiseksi pyrolyysiöljyvahinkoon on hyvä varautua. Pyrolyysiöljy poikkeaa ominaisuuksiltaan merkittävästi perinteisistä polttoöljyistä. Ympäristöön joutuessaan se osittain liukenee veteen ja osittain painuu pohjaan. Pyrolyysiöljyn tiedetään biohajoavan aktiivilietekokeessa ja sen toksisuus vesieliölle on todettu melko alhaiseksi. Kuitenkaan ei tiedetä, hajoaako pohjaan mahdollisesti vajoava faasi nopeasti itsestään vai aiheuttaako se haittavaikutuksia sedimenttieliöstölle.

Tämän kirjallisuusselvityksen pohjalta suunniteltiin demonstraatiokokeita, jotka toteutettiin osana ÄLYKÖ-hanketta. Demonstraatiokokeista saatiinkin vastauksia joihinkin kirjallisuusselvityksessä avoimeksi jääneisiin kysymyksiin, mutta soveltavalle tutkimukselle on yhä tarvetta. Demonstraatiokokeiden havainnot lisättiin tähän kirjallisuusselvitykseen. Lisäksi kokeet on kuvattu tarkemmin omissa artikkeleissaan.

LÄHTEET

Balo, F. 2015. Feasibility study of “green” insulation materials including tall oil: Environmental, economical and thermal properties. *Energy and Buildings* 86: 161–175.

California Environmental Protection Agency 2010. Renewable diesel multimedia evaluation, Draft FINAL Tier I Report. The University of California, Davis and The University of California, Berkeley

Chen, C., Lai, Y. & Tien, C. 2008. Partitioning of aromatic and oxygenated constituents into water from regular and ethanol-blended gasolines. *Environ Pollut* 156:988–996. doi:10.1016/j.envpol.2008.05.012

Cotel, A. 2012. Characterization of Mixing Between Water and Biofuels. 65th Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics Volume 57, Number 17.

Das, N. & Chandran, P. 2011. Microbial Degradation of Petroleum Hydrocarbon Contaminants: An Overview. *Biotechnology Research International*. Volume 2011. Article ID 941810, 13 sivua. doi:10.4061/2011/941810

DeMello, J.A., Carmichael, C.A., Peacock, E.E., Nelson, R. K., Arey, J.S., Reddy, C. M. 2007. Biodegradation and environmental behavior of biodiesel mixtures in the sea: An initial study. *Marine Pollution Bulletin* 54: 894-904. doi:10.1016/j.marpolbul.2007.02.016

ECHA tietokanta. European Chemicals Agency. Registered substances. <https://echa.europa.eu/information-on-chemicals/registered-substances>

EFSA (European Food Safety Authority) 2012. Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment on the active substance tall oil crude. *EFSA Journal* 10 (2): 2543

Fingas, M. 2015: Vegetable oil spills: oil properties and behavior. *Handbook of Oil Spill Science and Technology*, edited by Merv Fingas. Wiley, USA.

Fingas, M. & Fieldhouse, B. 2003. Studies of the formation process of water-in-oil emulsions. *Marine Pollution Bulletin* 47: 369–396.

Fortum 2015a: Kestävästi tuotettu bioöljy. Saatavissa: <http://www.fortum.com/countries/fi/yritysassiakkaat/bio%C3%B6ljy/pages/default.aspx>. Viitattu 26.8.2015.

Fortum 2015b: Saatavissa: <http://www.fortum.com/fi/energiantuotanto/polttoaineet/biooljy/pages/default.aspx>. Viitattu 26.8.2015.

Fortum Power and Heat Oy 2015. Käyttöturvallisuustiedote. Nopean pyrolyysin bioöljy Fortum Otso®. 8.4.2015.

Freitas, J. & Barker, J. 2011. Oxygenated gasoline release in the unsaturated zone—part 1: source zone behavior. *J Contam Hydrol* 126: 153–166. doi:10.1016/j.jconhyd.2011.07.003

Girard, G., Blin, J., Bridgwater, A. & Meier, D. 2005. An assessment of bio-oil toxicity for safe handling and transportation - Toxicological and Ecotoxicological Tests [Online]. Cirad, Aston University, BFH.

Green Fuel Nordic Oy 2015. Saatavissa: <http://www.greenfuelnordic.fi/etusivu>. Viitattu 26.8.2015.

Haapalainen, Heikki 2016. Bioöljytehdas käy vajaateholla Joensuussa. *Ylen verkkouutiset* 8.6.2016. Saatavissa: <http://yle.fi/uutiset/3-8941301> (viitattu 3.2.2017).

Hollebone, B.P, Fieldhouse, B. & Landriault, M. 2008. Aqueous solubility, dispersibility and toxicity of biodiesels. *International Oil Spill Conference IOSC Proceedings*. Sivut 929-936. IOSC API Product No. L47190.

Hollebone, B. & Yang, Z. 2009. *Biofuels in the Environment: A Review of Behaviours, Fates, Effects and Possible Remediation Techniques*. AMOP. Vancouver, BC, 127.

ITRC 2011. *Biofuels: Release Prevention, Environmental Behavior, and Remediation. Technical/Regulatory Guidance*. The Interstate Technology & Regulatory Council, Biofuels Team. September 2011.

Knothe, G. 2010. Biodiesel and renewable diesel: A comparison. – *Progress in Energy and Combustion Science* 36: 364-373. doi:10.1016/j.peccs.2009.11.004

Maliji, D., Olama, Z. & Holail, H. 2013. Environmental studies on the microbial degradation of oil hydrocarbons and its application in Lebanese oil polluted coastal and marine ecosystem. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 2 (6): 1-18.

Malk, V., Barreto Tejera, E., Simpanen, S., Dahl, M., Mäkelä, R., Häkkinen, J., Kiiski, A, Penttinen, O-P. 2014. NAPL migration and ecotoxicity of conventional and renewable fuels in accidental spill scenarios. *Environ Sci Pollut Res* 21:9861–9876. DOI 10.1007/s11356-014-2851-6

Mikkonen, S., Hartikka, T., Kuronen, M., Saikkonen, P. 2012. HVO, hydrotreated vegetable oil—a premium renewable biofuel for diesel engines. Neste Oil Proprietary publication.

NEOT 2015. Käyttöturvallisuustiedote. NEOT Diesel -10/-20, NEOT Diesel -10/-20 Premium, NEOT Diesel -25/-35, NEOT Diesel -25/-35 Premium, NEOT Diesel -30/-38, NEOT Diesel -30/-38 Premium. 27.10.2015. North European Oil Trade Oy

Neste Oil Oyj 2008. Neste Oilin biolämmitysöljy markkinoille tammikuusta 2009 alkaen. Lehdistötiedote 25.11.2008. Saatavissa: <https://www.neste.com/fi/fi/neste-oilin-biol%C3%A4mmitys%C3%B6ljy-markkinoille-tammikuusta-2009-alkaen>. Viitattu 26.8.2015.

Neste Oyj 2016. Käyttöturvallisuustiedote. Diesel, rikitön; Neste Pro Diesel; Neste Futura Diesel. 12.6.2016.

Neste Oyj 2017. Jätteet ja tähteet raaka-aineena. Saatavissa: <https://www.neste.com/fi/fi/puhtaammatt-ratkaisut/tuotteet/uusiutuvat-tuotteet/uusiutuvat-raaka-aineet/j%C3%A4tteet-ja-t%C3%A4hteet>. Viitattu 3.2.2017.

Neste Oyj 2017b. Neste MY – Hyvä ympäristölle, erinomainen moottorille. Saatavissa: <https://www.neste.fi/artikkeli/neste-my-hyva-ymparistolle-erinomainen-moottorille>. Viitattu 3.2.2017.

Neste Renewable Fuels Oy 2015. Käyttöturvallisuustiedote. NExBTL Renewable Diesel; Neste 100 % NExBTL-diesel; Neste Green 100-diesel. 11.6.2015.

NOAA 2017. Office of Response and Restoration. Small Diesel Spills (500-5,000 gallons). Saatavissa: Aqueous solubility, dispersibility and toxicity of biodiesels. Viitattu 9.1.2017.

Oak Ridge National Laboratory 2011. Biomass Energy Data Book. 4th edition. Prepared for the Office of the Biomass Program, Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Department of Energy.

Oasmaa, A. & Peacocke, C. 2010. Properties and fuel use of biomass-derived fast pyrolysis liquids. A guide. VTT Publications 731. ISBN 978-951-38-7384-4.

PCA (The Pine Chemicals Association, Inc.) 2003. Final data summary for tall oil and related substances. High production volume (HPV) Chemical Challenge Program. Submitted to US EPA October 2003.

Pitz, W. & Mueller, C. 2011. Recent progress in the development of diesel surrogate fuels. *Prog Energy Combust Sci* 37:330–350.

Powers, S., Hunt, C., Heermann, S., Corseuil, H., Rice, D. & Alvarez, P. 2001. The transport and fate of ethanol and BTEX in groundwater contaminated by gasohol. *Crit Rev Environ Sci Technol* 31:79–123. doi:10.1080/20016491089181

Srivastava, S.P. & Hancsok, J. 2014. Fuels and fuel-additives. United States: Wiley-Blackwell.

St1 2015a. RE85 - Tehokkaampi bioetanoli suomalaisesta jätteestä. Saatavissa: <http://www.st1.fi/tuotteet/re85>. Viitattu 26.8.2015.

St1 2015b. RED95 etanolidiesel. Saatavissa: <http://www.st1.fi/tuotteet/etanolidiesel>. Viitattu 26.8.2015.

St1 Oy 2016. Käyttöturvallisuustiedote. Korkeaseosetanoli, RE85, E85. 27.12.2016.

Syke 2011. Öljyntorjunta-alkukset pysyvät satamassa kovan myrskyn takia. Tiedote 25.12.2011. Suomen ympäristökeskus. Saatavissa: [http://www.syke.fi/fi-FI/SYKE_Info/Viestintaaineistot/Tiedotteet/Oljyntorjuntaalkukset_pysyvat_satamassa_k\(2265\)](http://www.syke.fi/fi-FI/SYKE_Info/Viestintaaineistot/Tiedotteet/Oljyntorjuntaalkukset_pysyvat_satamassa_k(2265)). Viitattu 26.8.2015.

Tekniikkauutiset 9.6.2015. Neste ja Total Fluides yhteistyöhön uusiutuviissa liuottimis- ja teknisissä kemikaaleissa. Saatavissa: <http://www.tekniikkauutiset.teknologiaforum.com/?p=1827>. Viitattu 26.8.2015.

UCY Energy 2013. Safety Data Sheet. Crude Tall Oil - Item No. 10-025. 6.9.2013.

UMP 2015a. Saatavissa: <http://www.upm.com/FI/MEDIA/Uutiset/Pages/UPMn-Lappeenrannan-biojalostamo-on-kaupallisessa-tuotannossa-001-Mon-12-Jan-2015-11-31.aspx>. Viitattu 26.8.2017.

Vähäoja, P., Piltonen, P., Hyvönen, A., Niinimäki, J., Jalonen, J., Kuokkanen, T. 2005. Biodegradability Studies of Certain Wood Preservatives in Groundwater as Determined by the Respirometric Bod Oxitop Method. - Water, Air, and Soil Pollution 165 (1-4): 313-324. Doi: 10.1007/s11270-005-6912-9

YLE Satakunta 2011. Mäntyöljyn haitat perustuvat tahraavuuteen. YLE verkkouutiset 27.12.2011. Saatavissa: <http://yle.fi/uutiset/3-5473306>. Viitattu 3.2.2017.

Pokka, H. 2011. Hirmumyrsky ja öljyonnettomuus – siinäpä joululahjaa kerrakseen. Saatavissa: [http://www.ym.fi/fi-FI/Ministerio/Organisaatio/Virkamiesjohto/Pokan_mietteet/Hirmumyrsky_ja_oljyonnettomuus__siinapa_\(30470\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Ministerio/Organisaatio/Virkamiesjohto/Pokan_mietteet/Hirmumyrsky_ja_oljyonnettomuus__siinapa_(30470)). Viitattu 26.8.2015.

Ölly- ja biopolttoaineala ry. 2015a. Biopolttoaineet liikenteessä. Saatavissa: <http://www.oil.fi/fi/ymparisto-biopolttoaineet/biopolttoaineet-liikenteessa>. Viitattu 26.8.2015.

Ölly- ja biopolttoaineala ry. 2015b. Biopolttoaineisiin liittyviä termejä. Saatavissa: <http://www.oil.fi/fi/biopolttoaineet/biopolttoaineisiin-liittyvia-termeja>. Viitattu 26.8.2015.





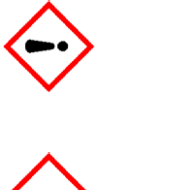

Ölly- ja biopolttoaineala ry. 2015c. Nestemäisten polttoaineiden biokomponentit. Saatavissa: <http://www.oil.fi/fi/biopolttoaineet-biopolttoaineet-liikenteessa/nestemaisten-polttoaineiden-biokomponentit>. Viitattu 26.8.2015.

LIITE 1. Bioöljyjen ja -polttoaineiden nimet ja rekisteröintitiedot

Kauppanimi	Korkeaseos- etanoli E85	Biodiesel	NExBTL uusi- tuva diesel	UPM BIOVER- NO DIESEL	Nopean pyro- lyysin bioöljy Fortum Otso®	Mäntyöljy
EC-numero	-	267-015-4	618-882-6	700-916-7	692-061-0	931-433-1
CAS-numero	-	67762-38-3	-	-	1207435-39-9	-
IUPAC-nimi	-	-	Uusiutuvat hiilivedyt (die- sel-tyyppinen jaa)	Uusiutuvat hiilivedyt (die- sel-tyyppinen jaa)	Nopean pyro- lyysin bioöljy	Crude Tall Oil (CTO) is obtained from the wood pulping industry. It is a dark brown viscous liquid extracted and processed from softwoods and hardwoods. CTO has a complex composition of fatty acids, resin acids, and neutrals.
REACH	Seos, ei rekisteröintiä	Rekisteröity	Rekisteröity	Rekisteröity	Rekisteröity	Rekisteröity
Kemikaaliturvallisuusarviointi	-	Tehty	Tehty	Tehty	Tehty	Tehty
Julkaistu ECHA-tietokannassa	-	2011	2011	2014	2014	2011
Rekisteröijät Suomessa	-	-	Neste Renewable Fuels Oy	UPM-Kymmene Oy	Fortum Power and Heat Oy	Arizona Chemical OY Kemira Oyj Bernier Ltd Enocell Oy Forchem Oyj

Lähde ECHA-tietokanta 2015.

LIITE 2. Bioöljyjen ja -polttoaineiden vaaraominaisuudet

	Korkeaseosetanoli E85*	Bio-diesel	Uusiutuva diesel NEXBTL	Uusituva diesel BioVerno	Nopean pyrolyysin bioöljy Fortum Otso®	Mäntyöljy
Merkinnät						
1272/2008 (CLP)	GHS02-GHS07-GHS08-GHS09	Ei luokiteltu	GHS08	GHS07, GHS08	GHS05, GHS07, GHS08	GHS07
Huomiosana	Vaara	-	Vaara	Vaara	Vaara	Vaara
Vaara-lausekkeet	H224 Erittäin helposti syttyvä neste ja höyry. H304 Voi olla tappavaa nieltynä ja joutuessaan hengitysteihin.	-	H304 Voi olla tappavaa nieltynä ja joutuessaan hengitysteihin.	H304 Voi olla tappavaa nieltynä ja joutuessaan hengitysteihin. H315 Ärsyttää ihoa.	H290 Voi syövyttää metallille H314 Voi aiheuttaa allergisen ihoreaktion.	H317 Voi aiheuttaa allergisen ihoreaktion.
	H304 Voi olla tappavaa nieltynä ja joutuessaan hengitysteihin.		EUH066 Toistuva altistus voi aiheuttaa ihon kuivumista tai halkeilua.	H373 Saattaa vahingoittaa elimiä pitkäaikaisessa tai toistuvassa altistumisessa.		
	H315 Ärsyttää ihoa.			H412 Haitallista vesieläimille, pitkäaikaisia haittavaikutuksia.		
	H336 Saattaa aiheuttaa uneliaisuutta ja huimausta.					
	H340 Saattaa aiheuttaa perimävaurioita.					
	H350 Saattaa aiheuttaa syöpää.					
	H361d Epäillään vaurioittavan sikiötä.					
	H411 Myrkyllistä vesieläimille, pitkäaikaisia haittavaikutuksia.					

Lähde ECHA-tietokanta 2015 (*St1 Oy 2016).

LIITE 3. Bioöljyjen ja -polttoaineiden kuljetustiedot

	Korkeaseosetanolin E85 ^a	Biodiesel	Uusiutuva diesel NEXBTL ^b	Uusiutuva diesel BioVerno	Nopean pyrolyysin bioöljy Fortum Otso ^c	Mäntyöljy
YK-numero	3475	1202	1202	3265		
Kuljetuksessa käytettävä virallinen nimi	Etanolin ja bensolin seos	UN 1202 Dieselöljy, 3, III	Syövyttävä neste, hapan, orgaaninen, N.O.S. (nopean pyrolyysin bioöljy)			
Kuljetuksen vaaluokka	3	Ei luokiteltu	3	8		
Pakkausryhmä	III	III	III	III		
Ympäristövaarat	Myrkyllistä vesiliöille, pitkäaikaisia haittavaikutuksia.	ADN erikoisluokitus; F (floater)	H412 Haitallista vesiliöille, pitkäaikaisia haittavaikutuksia.			
Kuljetus irtolastina MARPOL 73/78-sopimuksen II liitteen ja IBC-säännösten mukaisesti	Ei sovelleta.	Transported by ship as bulk: Product name: Alkanes, C10-C26 linear and branched. (Flashpoint >60 °C) (NEXBTL Renewable Diesel), Category Y, ST3.	Ei sovelleta.			

Lähteet ^aST1 Oy 2016, ^bNeste Renewable Fuels Oy 2015, ^cFortum Power and Heat Oy 2015.

LIITE 4. Biopolttoaineiden fysikaalis-kemialliset ominaisuudet.

Ominaisuus	Korkeaseosetanolii E85 ^a	Biodiesel ^b	NEXBTL uusiutuva diesel ^c	UPM BIOVERNO DIESEL ^b	Nopean pyrolyysin bioöljy Fortum Otso ^{ed}	Mäntyöljy ^e
Olomuoto	Kirkas, herkkäliikkeen neste. Voi olla punaiseksi värjätty.	Vaalean keittainen. Ruskea. Neste.	Kirkas, herkkäliikkeen neste.	Väritön ja kirkas neste	Tummanruskea-musta, jäykkäliikkeen neste	Tumman ruskea neste Meripihkan värinen neste
Haju	Tyypillinen	Tyypillinen	Mieto ominaishaju.		Voimakas orgaaninen ja savuntapainen ominaishaju.	Rikkiyhdisteiden haju (sulphur compounds)
Hajukynnys	Ei tiedossa		Tietoja ei ole käytettävissä		Ei tiedossa	Ei määritetty
pH	6,5-9,0		Tietoja ei ole käytettävissä		2,5-3,5	Ei määritetty
Sulamis- tai jäätymispiste	Ei määritettävissä		< -20 °C (101 300 Pa)	-6 °C	sulamis piste -22,7 °C (101325 Pa). Jähme piste -10 °C	Jäätymispiste -3,15 °C*
Kiehumispiste ja kiehumisalue	25-205 °C		180-320 °C	169,5-342,3 °C	Alle 100 °C (tislauksen alku; osittain polymerisoitua ja osittain tislautumaton)	Kiehumispiste 346,85 °C
Leimahduspiste	n. 0 °C (arvio)	> 101 °C	> 61 °C (101 300 Pa)	64-73 °C	51 °C (101 325 Pa)	121-185 °C
Haihtumisnopeus	Ei tiedossa, helposti haihtuva		Tietoja ei ole käytettävissä		Nopean pyrolyysin bioöljyille on mitattuja arvoja 40- >100 °C.	Ei määritetty

Ominaisuus	Korkeaseos- etanoli E85 ^a	Biodiesel ^b	NEXBTL uusiutuva diesel ^c	UPM BIOVERNO DIESEL ^b	Nopean pyrolyy- sin bioöljy Fortum Otso ^{ed}	Mäntyöljy ^e
Syttyvyys (kiin- teät aineet, kaasut)	Ei tiedossa				Ei määritettävissä.	
Ylin ja alin syt- tyvyys- tai rä- jähdysraja	1 - n. 19 til-% (laskennallinen)		Tietoja ei ole käytet- tävässä		Ei tiedossa.	
Höyrinpaine	< 70 kPa	n. 0,420 kPa (25 °C)	0,087 kPa @ 25 °C	< 0,1 kPa (37,8 °C)	n. 2,4 kPa (20 °C), 11,9 kPa (50 °C); vesi 6,5 kPa	0,227 kPa (25 °C)
Höyryntiheys	>1,6 (20 °C, ilma = 1)		Tietoja ei ole käytet- tävässä		Ei tiedossa.	Ei määritetty.
Suhteellinen tiheys	0,75 (20 °C, vesi = 1)	0,86-0,9 (15 °C)	0,77-0,79 (15/20 °C; vesi=1)	0,8046-0,8081 (15 °C)	1,1742 (20 °C, vesi- pitoisuus 31 %). Puuperäisten pyro- lyysiöljyjen tiheys muuttuu vesipitoi- suuden funktiona. Tyypilliset arvot 1,1,- 1,3 (20 °C; vesi=1)	0,96-0,97
Vesiliukoisuus	Etanoli liukenee veteen. Muut kom- ponentit osittain vesiliukoisia.	Sekoittumaton	Liukenenaton (arvio 0,075 mg/l, 25 °C; laskennallinen)	1 mg/l (25°C)	Osittain vesiliukoi- nen (vesipitoisuus 20-30 p-%; veteen liukenenaton osuus 20-25 p-%)	0,0735 mg/l (20 °C) 0,00585-0,0761 mg/l (ECHA-tieto- kanta)
Rasvaliukoisuus (liuotin-öljy, yk- siliötävä)		Liukoinen (metanoli, heksaani)	Ei perusteita tutki- mukselle		Liukoinen: alkoholi, ketoni, orgaaninen happo; Liukenenaton: hii- livedyt	Asetoni, dietyylileet- teri, etanoli

Ominaisuus	Korkeaseosetanoli E85 ^a	Biodiesel ^b	NEXBTL uusiutuva diesel ^c	UPM BIOVERNO DIESEL ^b	Nopean pyrolyysin bioöljy Fortum Otso ^d	Mäntyöljy ^e
Jakautumisero; n-oktanoliv/vesi	Komponenttien logKOW-arvot: Benziinihiilivedyt: > 3 MTBE: 1,06 ETBE: 1,48 TAME: 1,55 TAAE: 2,95–3,35 Etanoli: 0,35	logKOW 6,2 (25 °C)	log Kow > 6,5	log Pow 6	Ei tiedossa.	4,9–7,7 (pH2)* 3,2–6,8 (pH 5–6)*
Itsesyttymislämpötila	>280 °C (arvio)	n. 261 °C	204 °C	221 °C (99300 Pa)	Mitattu arvo 455 °C (101325 Pa), Tyypillinen arvo ≥600 °C (TC)	276 °C (99,19–100,85 kPa, 19–20)
Hajoamislämpötila	Ei tiedossa	Tietoja ei ole käytettävissä			Polymerisoituu > 100 °C	Ei määritetty.
Viskositeetti	< 2 mm ² /s (40 °C), vesi 0,6 mm ² /s	3,5–5 mm ² /s (40 °C)	Kinemaattinen viskositeetti 4,0 mm ² /s @ 20 °C; 2,6 mm ² /s @ 40 °C	2,580–2,772 mm ² /s (40 °C)	Mitattu arvo 121 mPa s (dynaaminen; 20 °C). Tyypilliset arvot 15–40 mm ² /s (40 °C; vesi = 0,5 mm ² /s). Puuperäisten pyrolysoöljyjen viskositeetti muuttuu vesipitoisuuden ja iän funktiona.	203–825 cP (22 °C), 49–121 cP (50 °C)
Räjähätvyys	Ei luokiteltu räjähtäväksi	Ei räjähtävä	Ei räjähtävä	Ei räjähtävä	Ei räjähtävä	Ei räjähtävä
Hapettavuus	Ei luokiteltu hapettavaksi	Ei hapettava	Ei hapettava	Ei perusteita tutkimukselle	Ei hapettava	Ei hapettava

Lähteet: ^aSt1 Oy 2016, ^bECHA-tietokanta, ^cNeste Renewable Fuels Oy 2015, ^dFortum Power and Heat Oy 2015, ^eUCY Energy 2013

LIITE 5. Biopolttoaineiden tiedot vaarallisuudesta ympäristölle.

	Korkeaseosetanoli E85 ^a	Biodiesel ^b	NEXBTL uusiutunut va diesel ^c	UPM BIOVERNO DIESEL ^b	Nopean pyrolyysin bioöljy Fortum Otso ^{®d}	Mäntyöljy ^e
Pysyvyys ja hajoavuus	Bensiinihiiliivedyt ovat hitaasti biologisesti hajoavia. MTBE, ETBE, TAAE ja TAME ovat erittäin hitaasti hajoavia. Etanoli on nopeasti hajoava. Anaerobisissa olosuhteissa hajoaminen on erittäin hidasta. Haihtuminen on nopein ja merkittävin häviämismekanismi pintavedessä, sedimentissä ja maaperässä. Bensiini, MTBE, ETBE, TAAE ja TAME eivät hydrolysoitu vedessä. Haihtuvat yhdisteet ovat ilmakeemiallisesti hajoavia. Haihtuvat yhdisteet ovat ilmakeemiallisesti hajoavia.	Helposti biohajoava.	Biologinen hajoavuus: Nopeasti hajoava (OECD 301B). Kemiallinen hajoavuus: Ei hydrolysoitu vedessä	Biohajoavuus: 33 % (28 d) Henryn lain vakio (arvioitu): 0.00000083 atm m ³ /mol - 446 atm m ³ /mol. Eniten esiintyvillä yhdisteillä (massaosuus 0,64) 0.0114 atm m ³ /mol - 277 atm m ³ /mol.	Biohajoavuus: 50,9 % (28 d) (nopea biohajoavuus, manometrinen respirometria) 41-50 % (28 d) (kirjallisuudesta)	Helposti biohajoava (83 % 28 päivässä, aktiivilliete)
Biokertyvyys	Bensiinihiiliivedyt ovat mahdollisesti biokertyviä (log Kow > 3). TAAE on mahdollisesti kertyvä (log Kow = 2,95 - 3,35). MTBE on ei kertyvä (BCF = 1,5 - kalaa). ETBE, TAME, etanoli ja metanoli ovat ei kertyviä (log Kow = -0,77 - 1,55).	Ei bioakkumuloidu merkittävästi.	Mahdollisesti kertyvä (log Kow > 6,5).	Log BCF 1,98-3,18 (arvioitu) Log BAF 4,19-5,28 (arvioitu)	Ei biokertyvää tunnetun koostumuksen perusteella. Sisältää mahdollisesti biokertyviä aineosia n. 4 %.	

	Korkeaseosetanoli E85a	Biodieseli	NEXBTL uusiutuva diesel	UPM BIOVERNO DIESELb	Nopean pyrolyysin bioöljy Fortum Otso@d	Mäntyöljy e
Liikkuvuus	Tuote haihtuu helposti maan ja veden pinnalta. Osa komponentaista on osittain vesiliukoisia ja haihtuvat vesiliuoksesta nopeasti (MTBE, ETBE, TAE, E, TANOLI, ISOBUTANOLI, TAME, BENTSEENI ja TOLUEENI). Tuote voi läpäistä maaperän ja kulkeutua pohjaveden pinnalle. Suurimolekyylisimmät bensinihiilivedyt voivat adsorboitua maaperän tai sedimentin orgaaniseen aineeseen (log Kow > 3). Anaerobisissa olosuhteissa hajoaminen on erittäin hidasta.	Jos tuotetta pääsee maaperään, yksi tai useampi ainesosa on erittäin kulkeutuva ja voi saastuttaa pohjavettä.	Tuote haihtuu hitaasti maan ja veden pinnalta. Se on veteen niukkaliukoinen. Hiilivedyt voivat adsorboitua maaperän tai sedimentin orgaaniseen aineeseen. (log Koc > 5.6; Menetelmä EC C19).	Log KOC 2,31-9,53 (arvioitu). Eniten esiintyvillä yhdisteillä (mas- saosuus 0,64) log KOC 3,83-7,14 (arvioitu).	Aine haihtuu hitaasti maan ja veden pinnalta. Liukenee osittain veteen. Aine voi läpäistä maaperän ja kulkeutua pohjaveteen, jonka mukana leviää. Anaerobisissa olosuhteissa hajoaminen on erittäin hidasta.	Tuote ei sekoitu veteen ja kelluu veden pinnalla.
Muut haitalliset vaikutukset	Tuote muodostaa veden pinnalle kalvon, joka voi vaikuttaa happitasapainoon ja vaurioittaa organismeja.	Lisää hapen- kulutusta ja jos merkittäviä määriä tuotetta pääsee veteen, voi aiheuttaa haittavaikutuksia vesieläimille.	Ei tunneta.	Tuotteen ominaisuudet voivat vaihdella raaka-aineen valmistusprosessin ja toimituserän mukaan.		

Lähteet: ^aStl Oy 2016, ^bECHA-tietokanta, ^cNeste Renewable Fuels Oy 2015, ^dFortum Power and Heat Oy 2015, ^eUCY Energy 2013

LIITE 6. Bioöljyjen ja -polttoaineiden ekotoksisuusarvojen vertailu.

	Korkeaseosetanoli E85 ^a	Biodiesel ^b	NEXBTL uusiutuva diesel ^c	UPM BIOVERNO DIESEL ^b	Nopean pyrolyysin bioöljy Fortum Otso ^{d,e}	Mäntyöljy ^e
Kala akuutti	Bensiinihiilivedyt 8,2 mg/l (96h LL50)	>100 mg/l (LL/EL/IL50)	>1000 mg/l (96h LL50)	31 mg/l (96h LL50) ^a	63,7 mg/l (96h LC50)	20 mg/l (96h LL50)
	Etanoli 14,2 mg/l (96h LC50)					
D. magna akuutti	Bensiinihiilivedyt 4,5 mg/l (48h EL50) 5012 mg/l (48h LC50) Etanoli	>100 mg/l (LL/EL/IL50)	>100 mg/l (48h EL50)	68 mg/l (48h EL50) ^a >1000 (48h EL50) ^b	>37,9 mg/l (21 d; 48h EC50) ^a >39,7 mg/l (21d EC50) ^b	32 mg/l (48h EL50)
Levä akuutti	Bensiinihiilivedyt 3,7 mg/l (96h EL50)	>100 mg/l (LL/EL/IL50)	>100 mg/l (72h EL50)	>100 mg/l (72h EL50) ^{a,b}	35,4 mg/l (72h ErC50)	>100 mg/l (72h EL50)
	Etanoli 275 mg/l (72h EC50)					
Kala krooninen	-	-	-	-	-	-
D. magna krooninen	Bensiinihiilivedyt 10 mg/l (21d EL50)	-	>1 mg/l (21d NOEC)	-	>37,9 mg/l (21d EC50) ^a 39,7 mg/l (21d NOEC) ^b	≥1 mg/l (21d NOELR)
	Etanoli 2 mg/l (10d NOEC)					
Levä krooninen	Bensiinihiilivedyt 0,5 mg/l (72h NOELR)	-	-	-	11,6 mg/l (72h NOEC)	-
	Etanoli 11,5 mg/l (72h EC10)					
Maaperäeliöt	-	-	-	-	-	-
Sedimenttieliöt	-	-	1200 mg/kg (10 d LC50) 373 mg/kg (10 d NOEC)	-	-	-
Mikro-organismit (jätevesiliete)	-	-	>1000 mg/l (3h EC50)	39,52 mg/l (3h EL10) ^b >2000 mg/l (3h EL50) (arvioitu) ^b	-	>100 mg/l (EL30)

Lähteet: ^aSt1 Oy 2016, ^bECHA-tietokanta, ^cNeste Renewable Fuels Oy 2015, ^dFortum Power and Heat Oy 2015, ^eUCY Energy 2013

PYROLYYSIÖLJYVAHINGON MALLINNUS POHJAVESIALUEELLA

Vuokko Malk & Jouni-Juhani Häkkinen

Pyrolyysiöljy on nopeapyrolyysiprosessin avulla tuotettua bioöljyä. Suomessa Fortum valmistaa Fortum Otso® -bioöljyä Joensuussa puuperäisestä raaka-aineesta kuten metsätähteestä, hakkeesta tai sahanpurusta. Nopea pyrolyysi -tekniikassa biomassa kuumennetaan nopeasti hapettomissa olosuhteissa noin 500 asteeseen. Kuumennuksen seurauksena biomassa hajoaa ja muodostaa kaasuja, jotka lauhdutetaan nopeasti bioöljyksi. Tuotetta voidaan käyttää lämpölaitoksilla ja teollisuushöyryn tuotannossa korvaamaan raskasta tai kevyttä polttoöljyä. (Fortum 2015a.)

Pyrolyysiöljy poikkeaa kemialliselta koostumukseltaan ja ominaisuuksiltaan selvästi tavallisista öljytuotteista, joten se myös käyttäytyy öljyvuototilanteessa ympäristössä eri tavalla. Pyrolyysiöljy on vettä tiheämpää, joten se ei kellu pintavedessä tai pohjaveden pinnalla. Pyrolyysiöljyn vesipitoisuus on 20–30 % (Oasmaa & Peacocke 2010) ja tuotteesta erottuu helposti vesiliukoinen faasi sekä vettä tiheämpi paksu faasi. Merkittävä osa pyrolyysiöljystä siis sekoittuu ympäristössä veden kanssa.

Mallinnuksen tarkoituksena oli selvittää bioöljyn käyttäytymistä ja sen aiheuttamia riskejä maaperässä sekä pohjavedessä. Pyrolyysiöljyn käyttäytymistä maaperässä ja vedessä tutkittiin tarkemmin myös ÄLYKÖ-hankkeen demonstraatiokokeissa.

Pyrolyysiöljyn kuljetus

Tietoa pyrolyysiöljyn kuljetuksista saatiin haastatteleamalla erään pyrolyysiöljyä kuljettavan kuljetusyrityksen turvallisuudesta vastaavia henkilöitä sähköpostitse sekä tapaamisessa marraskuussa 2015. Pyrolyysiöljy kuljetetaan kylmänä, noin alle 20 asteisena. Tämä johtuu tuotteen ominaisuuksien heikkenemisestä lämmön vaikutuksesta. Säiliöissä on eristys, mutta ei erillistä jäähdytystä. Pyrolyysiöljy kuljetetaan täysinä tankillisina. Säiliörakenteissa ei ole sisäisiä osastoiteja. Tämä johtuu kuljetuksen luonteesta ja täytön/purkamisen nopeudesta (noin 2–2½ tuntia). Täysi tankki on noin 26–28 tonnia.

Onnettomuustapauksessa kuljettaja soittaa hätäkeskukseen ja liikennöitsijän päivystykseen. Kuljettajan mahdollisuudet ensitoimenpiteisiin öljyn leviämisen estämiseksi ovat vähäiset. Lähinnä kyseessä on muiden tielläliikkujien varoittaminen ja pelastuslaitoksen avustaminen.

Pyrolyysiöljy valuu hitaasti. Säiliön vaurion täytyy olla verraten suuri, jotta repeämästä vuotaa nopeasti öljyä. Mikäli reikä on pieni, aine valuu hitaasti ja säiliöön muodostuu alipaine, koska korvausilmaa ei pääse sisään. Näin vuotonopeus on hyvin hidas. Öljy myös kerrostuu niin, että raskain faasi on pohjalla ja kevyempi vesipitoinen osa on päällä. Pohjassa oleva reikä ei siis vuoda kovin nopeasti, koska paksu kerros on pohjalla. Kerrokset voivat kuitenkin sekoittua, jos säiliö kaatuu.

Tankkiautot kestävät ojaan kiepsahduksen melko hyvin, jos maa on pehmeää. Mikäli onnettomuus on kalliroleikkauksessa tai kivikossa, voi säiliö revetä, jolloin vuoto tapahtuu. Tällainen tapaus voi tarkoittaa, että kaikki öljy valuu maahan, riippuen säiliön asennosta.

Säiliön voi joissakin tapauksissa nostaa onnettomuuden jälkeen pystyyn myös täytenä. Säiliön tyhjennys voi tapahtua esim. loka-autolla. Aineen huonon juoksevuuden takia tavanomainen pumppaus ei onnistu.

Onnettomuusskenaario

Kuvitteellisessa onnettomuusskenaariossa 27 m³ pyrolyysiöljyä vuotaa maaperään pohjavesialueella. Tärkeät pohjavesialueet sijaitsevat yleensä harjuaueilla, joilla maaperä on karkeaa hiekkaa. Suomessa pohjavesi on yleensä 3–5 met-

rin syvyydessä, joten mallinnuksessa pohjaveden arvioitiin olevan 5 metrin syvyydessä. Hiekkaisilla harjualueilla pohjaveden pinta voi kuitenkin olla selvästi syvemmällä. Saastuneen alueen pinta-alaan vaikuttaa öljyn leviäminen maan pinnalla. Jos öljy tunkeutuu nopeasti maahan, pintavalunta voi jäädä vähäiseksi, mutta riski pohjavedelle kasvaa. Mallinnettavassa skenaariossa pinta-alaksi arvioitiin 20 m². Mallinnuksen lähtöarvot on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Mallinnuksen lähtöarvot.

Muuttuja	Arvo		
Vuotanut tilavuus, V (m ³)	27		
Pinta-ala, A (m ²)	20		
Pohjaveden pinnan korkeus, h (m)	5		
	Pyrolyysiöljy	Diesel	
Tislautuvuus 180 °C:ssa (%D)	30 ^e	5 ^d	
Viskositeetti, v (m ² /s)	1,01E-04 ^c	3,10E-06	
Viskositeettifaktori ^b , f	2	1	
	Karkea hiekka/sora	Hiekka	Siltti
Vedenläpäisevyys ^a , k (m ²)	1,02E-09	1,02x10 ⁻¹¹	1,02x10 ⁻¹³
Huokoisuus ^a , θ	0,42	0,44	0,47
Maaperän pidätyskapasiteetti öljyille ^b , R (m ³ /m ³)	0,008	0,03	0,052

^aDahl ym. 2013

^bHalmemies ym. 2003

^cFortum 2015b (Fortum Otso®-käyttöturvallisuustiedote)

^dNeste 2017 (diesel tuotetiedote, tyypillisen arvon ja laaturajan keskiarvo)

^eLederlin 2002

Haihtuminen

Öljyvahinkotilanteessa öljyä haihtuu ilmaan maan pinnalle mahdollisesti muodostuneesta lammikosta. Haihtumista tapahtuu myös maan pinnan alla huokosilmaan.

Fingas (2013, 2015) on tehnyt laajaa kokeellista tutkimusta erilaisten öljyjen haihtumisesta. Öljyt ovat lukuisten yhdisteiden seoksia, joten niiden haihtu-

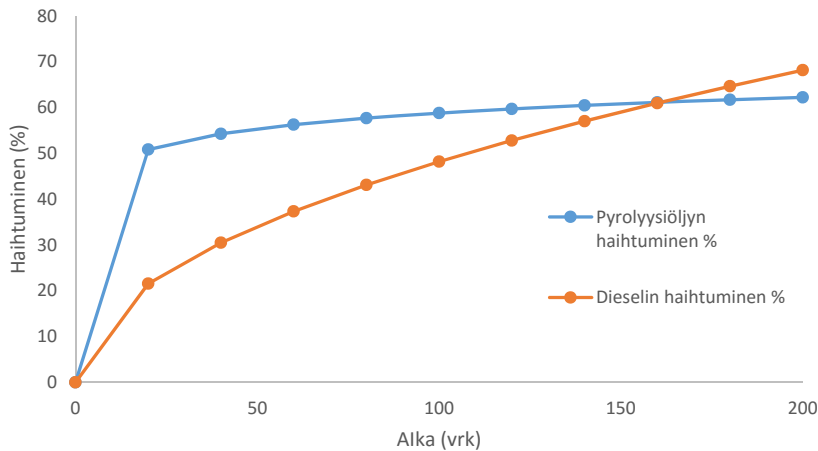
minen ei ole lineaarista ajan suhteen kuten yksittäisten aineiden (esim. vesi). Öljyjen haihtuminen hidastuu ajan kuluessa, kun helposti haihtuvien yhdisteiden osuus pienenee. Öljyjen haihtuminen perustuu diffuusioon, eikä esimerkiksi tuulen nopeudella ole vaikutusta haihtumisnopeuteen. Veden haihtumisessa tuulen nopeudella sen sijaan on suuri merkitys, sillä ilman tuulta vesihöyry kyllästää aivan veden pinnalla olevan ilmakerroksen ja haihtuminen hidastuu. Lämpötila vaikuttaa sekä veden että öljyjen haihtumiseen.

Pyrolyysiöljy on perinteisten öljyjen tapaan lukuisten yhdisteiden seos. Pyrolyysiöljyn sisältämien yhdisteiden kiehumispisteissä on suurta vaihtelua, jopa 400 °C (Lederlin 2002). Hallet & Clark (2006) mukaan pyrolyysiöljy sisältää n. 10 % happoja, 20 % aldehydejä ja ketoneja, 25 % vettä ja 45 % pyrolyyttistä ligniiniä. Kevyet komponentit, eli hapot, aldehydit ja vesi, haihtuvat samanaikaisesti. Toisaalta osa kevyistä yhdisteistä voi haihtumisen sijaan polymerisoitua raskaimmiksi yhdisteiksi öljyn ikääntyessä. Ligniinin haihtuvuus on erittäin vähäistä.

Öljyjen haihtumista voidaan arvioida niiden tislautuvuuden perusteella (kaava 1, Fingas 2013). Pyrolyysiöljyn tislautuvuus on heikko, sillä se alkaa hajota yli 100 °C lämpötilassa (Bridgwater 2012). Pyrolyysiöljy kuitenkin sisältää helposti haihtuvia yhdisteitä, joiden kiehumispiste on alle 100 °C. Tislautuvuus loppuu 250–280 °C lämpötilassa, jonka jälkeen jäljelle jää 35–50 % massasta (Qiang ym. 2009). Pyrolyysiöljyn tislautuvuus 180 °C:ssa on n. 30 % (Lederlin 2002). Kaavan 1 mukaan laskettuna 50 % pyrolyysiöljystä haihtuu 20 vrk aikana, jonka jälkeen haihtuminen oleellisesti hidastuu (kuva 1). Tislautuvuusaineistoon perustuen pyrolyysiöljyn haihtumisen voidaan arvioida olevan aluksi voimakkaampaa kuin esim. dieselin haihtumisen, mutta dieselin haihtuminen jatkuisi pidempään. Myös pyrolyysiöljyn höyrynpaine on suurempi (n. 2,4 kPa 20 °C:ssa) kuin dieselin (< 1 kPa 40 °C:ssa), mikä viittaa pyrolyysiöljyn dieseliä voimakkaampaan haihtuvuuteen. ÄLYKÖ-hankkeen demonstraatiokokeet vahvistivat, että pyrolyysiöljyn haihtuminen on aluksi nopeampaa kuin dieselin, mutta kokeissa pyrolyysiöljystä vain noin 35 % haihtui huoneenlämmössä.

$$\text{haihtuminen \%} = 0,165(\%D) \ln(t) \quad (1)$$

D Tislautuvuus 180 °C:ssa (%)
t Aika (min)



KUVA 1. Pyrolyysiöljyn ja dieselin haihtuminen Fingas (2013) mukaan arvioituna.

Kulkeutuminen maaperässä

Vuototilanteessa öljyt kulkeutuvat maaperässä tyypillisesti ns. veteen liukene-mattomana faasina (Non-Aqueous Phase Liquid, NAPL). Öljy täyttää maa-huokosten vapaan ilmatilan jättäen jälkeensä ns. jäännöspitoisuuden. Tästä jäännösöljyfaasista liukenee ja haihtuu pikkuhiljaa vesiliukoisia ja haihtuvia yh-disteitä maaperään ja jäännösöljy voikin pitkään toimia näiden haitta-aineiden päästölähteenä.

Pyrolyysiöljy poikkeaa tavanomaisista öljyistä, sillä se ei ole täysin homogeenistä vaan siitä erottuu faaseja sekä kemiallisen koostumuksen että korkean vesipitoi-suuden vuoksi (Oasmaa & Peacocke 2010). Pyrolyysiöljy sisältää vettä n. 25 % ja vesiliukoinen fraktio muodostaa yhteensä n. 60 % öljystä (Sipilä ym. 1998, Vispute 2011). Veteen liukenematon fraktio sisältää erityisesti pyrolyyttistä lig-niiniä ja sen viskositeetiksi on määritetty jopa 50 000 cP (Vispute 2011), kun koko pyrolyysiöljyn viskositeetti on 121 cP (Fortum 2015b). Pyrolyysiöljyn faa-sien erottumista ja faasien erilaista käyttäytymistä maaperässä on vaikea arvioida laskentamalleilla. Tavanomaisiin öljyihin verrattuna sadanta ja kulkeutuminen vajoveden mukana ovat kuitenkin todennäköisesti suuremmissa roolissa pyro-lyysiöljyn kulkeutumisessa. Toisaalta heikosti kulkeutuva osuus todennäköises-ti pidättyy pintamaahan. Näin ollen pyrolyysiöljyvuodon sattuessa on tärkeää huomata, että mahdollisesti pintamaahan jäävän veteen liukenemattoman osan lisäksi vesiliukoinen fraktio voi kulkeutua nopeastikin syvemmälle maaperään ja pohjaveteen.

NAPL-faasin maksimikulkeutumissyvyys voidaan karkeasti arvioida vuotaneen tilavuuden (27 m³), vuodon pinta-alan (20 m²), maalajikohtaisen pidätyskapasiteetin ja aineen viskositeetista riippuvan kertoimen avulla (Kaava 2, Halmemies 2003 mukaan). Maksimikulkeutumissyvyys kertoo, voiko öljy saavuttaa pohjaveden pinnan. Vaikka pyrolyysiöljy sisältää merkittävästi vettä ja vesiliukoisia yhdisteitä, maksimikulkeutumissyvyydellä voidaan arvioida kuinka syvälle maaperään tuote voi kulkeutua ilman sadannan vaikutusta. Kulkeutumissyvydeksi pyrolyysiöljylle hiekassa saatiin jopa 22,5 m. Laskukaava on tarkoitettu kuivaan maahan ja ns. ”worst case scenario”-tilanteeseen. Tämä yksinkertainen laskennallinen arvio ei huomioi esimerkiksi horisontaalista leviämistä, joka lisääntyy erityisesti märässä maassa kapillaarivoimien vaikutuksesta (Malk ym. 2014). Kaava ei myöskään huomioi haihtumista, biohajoamista tai maaperän kerroksellisuutta (esim. orgaaninen pintamaa ja kasvillisuus pidättää enemmän öljyä kuin alla oleva hiekkamaa). Maksimikulkeutumissyvyuden saavuttaminen voi viedä useita vuosia. Arvion perusteella pyrolyysiöljyn voidaan olettaa kuitenkin hyvin todennäköisesti kulkeutuvan mallinnettavassa skenaariossa 5 metrin syvyydessä olevaan pohjaveteen.

$$h_{\max} = V / (A \times R \times f) \quad (2)$$

h_{\max}	Maksimikulkeutumissyvyys (m)
V	Vuotanut tilavuus (m ³)
A	Pinta-ala, jolle NAPL on vuotanut (m ²)
R	Maaperän pidätyskyky (maalajikohtainen jäännössaturaatio) (m ³ /m ³)
f	Ainekohtainen viskositeettifaktori

Kulkeutumisnopeutta maaperässä voidaan karkeasti arvioida maaperän vedenläpäisykyvyn, huokoisuuden ja pidätyskapasiteetin sekä aineen viskositeetin perusteella (kaava 3, Halmemies 2003). Monifaasivirtaus maaperässä on kuitenkin paljon tätä monimutkaisempi prosessi. Tämän vuoksi pyrolyysiöljyn kulkeutumisista arvioitiin myös ns. ”screening”-tason HMTECM (Hazardous Materials Transportation Environmental Consequence Model) -mallilla (Yoon ym. 2009, Marruffo ym. 2012), joka on kehitetty erityisesti kuljetusonnettomuuksien ympäristövaikutusten arviointiin. HMTECM-mallia on käytetty aiemmin myös Helsingin yliopiston RIMA-projektissa erilaisten kuljetusonnettomuuksien simulointiin (Dahl ym. 2013). Pyrolyysiöljyn kulkeutumis aika 5 metrin syvyydessä olevaan pohjaveteen hiekkamaassa vaihteli laskentatavasta riippuen 24-48 päivän välillä, kun dieselillä vastaava kulkeutumis aika oli vain 18-33 tuntia. Maalajilla on erittäin suuri merkitys kulkeutumisnopeuteen öljyn ominaisuuksien lisäksi.

Sorassa tai hyvin karkeassa hiekassa pyrolyysiöljykin voi laskennallisten arvioiden mukaan kulkeutua pohjaveteen alle vuorokaudessa (taulukko 2).

Vaikka pyrolyysiöljyn laskennallinen kulkeutumisaika pohjaveteen on hiekka-
maassa viikkoja, on vahinkotilanteessa syytä varautua pyrolyysiöljyn vesiliukoi-
sen fraktion nopeampaan kulkeutumiseen. Vesi kulkeutuu hiekassa kaavan 2
mukaan laskettuna 5 metrin syvyydessä olevaan pohjaveteen n. 6 tunnissa. Maa-
perä pitäisi pyrkiä poistamaan ennen kuin pyrolyysiöljy on ehtinyt syvemmälle
kuin maata on mahdollista kaivaa.

$$v_s = k \times g / v \times i / (\theta - R) \quad (3)$$

vs	Kulkeutumisnopeus maaperässä
k	Vedenläpäisevyys (m ²)
g	Gravitaatiokiihtyvyys (9,81 m/s ²)
v	Aineen kinemaattinen viskositeetti (m ² /s)
i	Hydraulinen gradientti (1)
θ	Huokoisuus
R	Maan pidätyskapasiteetti öljyille

TAULUKKO 2. Pyrolyysiöljyn ja dieselin kulkeutumisajat 5 m syvyydessä olevaan pohjaveteen kolmessa maalajissa. Kulkeutumisajat on laskettu kaavan 3 mukaan ja HMTECM-mallilla. Kaavan 3 mukaan lasketut kulkeutumisajat ovat lyhyemmät.

	Pyrolyysiöljy	Diesel
Karkea hiekka/sora	6-14 h	<1-2 h
Hiekka	24-48 d	18-33 h
Siltti	>5 v	75 vrk - >5 v

Koska pyrolyysiöljyn ja sen eri faasien käyttäytymistä maaperässä oli vaikea mallintaa laskennallisesti, ÄLYKÖ-hankkeessa toteutettiin demonstraatiokoe, jossa pyrolyysiöljyn kulkeutumista kahdessa maalajissa testattiin laboratorio-olosuhteissa. Laboratoriokokeet vahvistivat oletuksen, että veteen liukenematon osuus pyrolyysiöljystä pidättyy hyvin voimakkaasti pintamaahan eikä se todennäköisesti kulkeudu vahinkotilanteessa pohjaveteen. Sen sijaan vesiliukoinen fraktio kulkeutui maapatsaan läpi laboratoriokokeessa. Koejärjestelyssä maahan lisättiin vettä öljyn lisäämisen jälkeen mallintamaan vesisade-olosuhdetta. Demonstraati-

tiokokeen tulokset on kuvattu tarkemmin artikkelissa ”*Demonstraatiokokeet biopolttoaineiden käyttäytymisestä vedessä ja maaperässä*”.

Kulkeutuminen pohjavedessä

Pyrolyysiöljystä pohjaveteen kulkeutuu todennäköisesti erityisesti pyrolyysiöljyn sisältämä vesiosuus ja siihen liuenneet yhdisteet ja nämä yhdisteet muodostavat todennäköisimmän riskin pohjavedelle. Vesiliukoinen fraktio kulkeutuu pohjaveden virtauksen nopeudella. Veden virtausnopeus maaperässä vaihtelee tavallisesti välillä 0,01–10 m/vrk, mutta virtausnopeuksissa voi olla suuria vaihteluja samassakin pohjavesimuodostumassa maaperäkerrostumien epäjatkuvuuden ja heterogeenisyyden vuoksi (Ympäristöhallinto 2013). Pohjaveden virtausnopeus voidaan myös laskea kaavalla 4 (Ympäristöministeriö 2014), jolloin pohjaveden virtausnopeudeksi hiekassa saadaan noin 1,4 m/vrk. Kulkeutumisaika kilometrin päässä olevalle vedenottamolle olisi tällöin noin 2 vuotta. Kuitenkin pohjaveden virtausnopeuden ollessa esim. 10 m/vrk, kulkeutumisaika vedenottamolle olisi vain n. 3 kk.

Veteen liuenneiden yhdisteiden kulkeutumista hidastaa sitoutuminen maaperän partikkeleihin. Sitoutumisesta johtuvaa kulkeutumisen hidastumista voidaan arvioida kaavoilla 5-7. Pyrolyysiöljylle ei ole määritetty hiili-vesi jakautumiskerrointa (KOC). Pyrolyysiöljyn vesiliukoiseen fraktion pääkomponentit (Vispute 2011) ja niiden KOC-arvot on kuitenkin esitetty taulukossa 3. KOC-arvon perusteella vesiliukoisien fraktion sisältämien yhdisteiden kulkeutuminen pohjaveden virtaukseen nähden voi hidastua 0-25 %. Pyrolyysiöljyn vesiliukoisien fraktion sisältämät yhdisteet ovat helposti biohajoavia (taulukko 3), joten todennäköisesti ne ehtivät hajota ennen kulkeutumista vedenottamolle, mutta vaikutusta pohjaveden laatuun on kuitenkin ilman kokeellista tutkimustietoa vaikea varmuudella arvioida.

$$v_{gw} = iK/\theta \quad (4)$$

v_{gw}	Pohjaveden virtausnopeus
i	Pohjaveden pinnan gradientti (0,02)
K	Vedenjohtavuus (pohjavedessä yleensä kaksinkertainen pystysuuntaiseen vedenjohtavuuteen verrattuna)
θ	Tehollinen huokoisuus pohjavesivyöhykkeessä (0,25 hiekassa, 0,35 sorassa)

$$K_d = K_{OC} \times f_{OC} \quad (5)$$

- K_d Maa-maavesi –jakautumiskerroin (orgaaniset aineet)
 K_{OC} Orgaaninen hiili – vesi –jakautumiskerroin (l/kg)
 f_{OC} Orgaanisen hiilen määrä maassa (hiekaista mitattu arvo 0,0025)

$$R = 1 + \frac{K_d \times \rho_s}{\theta} \quad (6)$$

- R Hidastumiskerroin
 K_d Maa-maavesi –jakautumiskerroin (orgaaniset aineet)
 ρ_s Maan tilavuuspaino (mitattu kosteasta hiekasta 1,4 kg/l)
 θ Kokonaishuokoisuus

$$v_{R-gw} = \frac{v_{gw}}{R} \quad (7)$$

- v_{R-gw} Hidastunut kulkeutumisenopeus pohjavedessä
 v_{gw} Pohjaveden virtausnopeus (Kaava 4)
 R Hidastumiskerroin (Kaava 6)

TAULUKKO 3. Pyrolyysiöljyn vesiliukoisien fraktion pääkomponentit (ja osuudet fraktiossa) Visputen (2011) mukaan sekä yhdisteiden KOC- ja biohajoavuus-arvot.

Yhdiste	KOC	Biohajoavuus ^b
Levoglukosaani (18,8 %)	0,1697-10 ^b	Päiviä-viikkoja
Sokerit (glukoosi ja ksyloosi) (yht. 18,2 %)	0,01658-10 ^b (glukoosi) 2 ^a (ksyloosi)	Päiviä-viikkoja
Etikkahappo (8,8 %)	1,0 ^{a*}	Päiviä-viikkoja
Hydroksiasetoni (6,5 %)	1,896 ^b	Viikkoja
Furfuraali ja 2-furanoni (yht. 4,8 %)	40 ^a (furfuraali) 6 ^a (2-furanoni)	Viikkoja
Guaiakolit (1,5 %)	40 ^a	Viikkoja
Hydroksiasetaldehydi (1,4 %)	0,2414-1 ^b	Viikkoja
Tunnistamattomat (40 %)		

^aHSDB-tietokanta

^bEPISuite v4.11

Tavanomaiset öljyt ovat vettä kevyempiä ja muodostavat kelluvan linssin pohjaveden pinnalle. Pyrolyysiöljyn veteen liukenematon fraktio sen sijaan on vettä tiheämpää (ns. Dense Non-Aqueous Phase Liquid, DNAPL), joten mikäli tämä fraktio saavuttaisi pohjaveden, se jatkaisi kulkeutumistaan kohti pohjavesimuodostuman pohjaa jättäen maahuokosiin jäännöspitoisuuden. Pyrolyysiöljy voi kulkeutua myös kallion halkeamissa. (Kueper ym. 2003.) Tämä veteen liukenematon fraktio voi olla hyvin pysyvä pohjavedessä ja mahdollisesti siitä voi pikkuhiljaa liueta yhdisteitä pohjaveteen. Kuten aiemmin on todettu, veteen liukenemattoman fraktion kulkeutuminen pohjaveteen on korkean viskositeetin vuoksi kuitenkin epätodennäköistä.

LÄHTEET

Bridgwater, A. 2012. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and Bioenergy* 38: 68-94.

Dahl, M., Lepikkö, K., Malk, V., Simpanen, S. 2013. Kemikaalionnettomuuksien riskinhallinta ja pilaantuneiden alueiden kunnostus. Unigrafia, Helsinki. ISBN 978-952-10-9641-9 (PDF).

EPISuite™ Estimation Program Interface v4.11. U.S. Environmental Protection Agency.

Fingas, M. 2013. Modeling Oil and Petroleum Evaporation. *Journal of Petroleum Science Research* 2(3): 104-115

Fingas, M. 2015. Vegetable oil spills: oil properties and behavior. *Handbook of Oil Spill Science and Technology*, edited by Merv Fingas. Wiley, USA. ISBN: 978-0-470-45551-7

Fortum 2015a. Kestävästi tuotettu bioöljy. Saatavissa <http://www.fortum.com/countries/fi/yritysasiakkaat/bio%C3%B6ljy/pages/default.aspx>. Viitattu 15.3.2016.

Fortum 2015b. Nopean pyrolyysin bioöljy. Fortum Otso®. Käyttöturvallisuustiedote. 8.4.2015.

Hallet, W. & Clark, N. 2006. A model for the evaporation of biomass pyrolysis oil droplets. *Fuel* 85: 532-544.

Halmemies, S., Gröndahl, S., Nenonen, K. & Tuhkanen, T. 2003. Estimation of the Time Periods and Processes for Penetration of Selected Spilled Oils and Fuels in Different Soils in the Laboratory. *Spill Science & Technology Bulletin* 8(5-6): 451-465.

HSDB-tietokanta (Hazardous Substances Databank). Poimittu 26.1.2016. Saatavissa <http://toxnet.nlm.nih.gov/newtoxnet/hsdb.htm>

Kueper, B., Wealthall, G., Smith, J., Leharne, S., Lerner, D. 2003. An illustrated handbook of DNAPL transport and fate in the subsurface. UK Environment Agency. Environment Agency R&D Publication 133.

Lederlin, T. 2002. A Model of Bio-Oil Evaporation for Combustion Simulation. Carleton University, Ottawa, Canada.

Malk, V., Barreto Tejera, E., Simpanen, S., Dahl, M., Mäkelä, R., Häkkinen, J., Kiiski, A. & Penttinen, O-P. 2014. NAPL migration and ecotoxicity of conventional and renewable fuels in accidental spill scenarios. *Environ Sci Pollut Res* 21:9861–9876.

Marruffo, A., Yoon, H., Schaeffer, D., Barkan, C., Saat, M. & Werth, C. 2011. NAPL Source zone Depletion Model and Its Application to Railroad-Tank-Car Spills. *Ground Water* 1-6.

Neste 2017. Neste Futura Diesel -5/-15. Tuotetiedote. 1.1.2017.

Oasmaa, A. & Peacocke, C. 2010. Properties and fuel use of biomass derived fast pyrolysis liquids. VTT Publications 731.

Qiang, L., Wen-Zhi, L. & Xi-Feng, Z. 2009. Overview of fuel properties of biomass fast pyrolysis oils. *Energy Conversion and Management* 50: 1376–1383.

Sipilä, K., Kuoppala, E., Fagernäs, L. & Oasmaa, A. 1998. Characterization of Biomass-based Flash Pyrolysis Oils. *Biomass and Bioenergy* 14(2): 103-113.

Vispute, T. 2011. Pyrolysis Oils: Characterization, Stability Analysis, and Catalytic Upgrading to Fuels and Chemicals. University of Massachusetts - Amherst. Dissertations. Paper 349.

Ympäristöministeriö 2014. Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta. Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2014. ISBN 978-952-11-4327-4 (PDF).

Ympäristöhallinto 2013. Kaivon sijainti. Saatavissa: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennushanke/Talotekniset_jarjestelmat_LVI/Vedenhankinta_kaivosta/Kaivon_sijainti. Viitattu 15.2.2016.

Yoon, H., Werth, C., Barkan, C., Schaeffer, D. & Anand, P. 2009. An environmental screening model to assess the consequences to soil and groundwater from railroad-tank-car spills of light non-aqueous phase liquids. *Journal of Hazardous Materials* 165: 332–344.

DEMONSTRAATIOKOKKEET BIOPOLTTOAINEIDEN KÄYTTÄYTYMISESTÄ VEDESSÄ JA MAAPERÄSSÄ

Vuokko Malk & Mariia Zhaurova

Biopolttoaineiden ympäristökäyttäytymisestä onnettomuus- tai vuototilanteessa on vasta vähän tutkimustietoa olemassa. Eniten tutkimustietoa on kasviöljyjen, biodieselin ja bioetanolin ympäristökäyttäytymisestä, ja näistä tuotteista on maailmalta kertynyt kokemusta myös oikeista onnettomuustilanteista. Useimmiten biopolttoaineet ovat toksisuudeltaan vaarattomampia ja ympäristössä helpommin biohajoavia kuin perinteiset öljytuotteet. Ne voivat kuitenkin aiheuttaa vesieliöiden tahriintumista kuten perinteiset öljytkin. Nopeasta biohajoamisesta seuraava hapettomuus voi aiheuttaa yllättäviä haittavaikutuksia. Kirjallisuudesta löytyy myös viitteitä esimerkiksi joidenkin tuotteiden erilaisesta dispersoitumisesta tai polymerisoitumisesta fossiilisiin öljyihin verrattuna, mikä voi merkittävästi vaikuttaa vahingon torjuntaan. Eri tuotteet voivat olla ominaisuuksiltaan hyvin erilaisia. Kirjallisuusselvityksen tuloksia on esitelty tarkemmin artikkelissa ”*Biopolttoaineiden käyttäytyminen ja vaikutukset ympäristössä vahinkotilanteessa*”.

Suomi on edelläkävijä uusien biopolttoaineiden kehityksessä ja tuotannossa. Suomessa tuotetaan erityisesti uusiutuvaa dieseliä, bioetanolia ja pyrolyysiöljyä. Tuotteille on olemassa käyttöturvallisuustiedotteisiin ja rekisteröintiin vaadittavat tutkimustiedot aineiden ominaisuuksista, käyttäytymisestä ja turvallisesta käsittelystä. Soveltavaa tutkimusta näiden tuotteiden ympäristökäyttäytymisestä ja torjunnasta vahinkotilanteessa on kuitenkin vielä hyvin vähän tai ei lainkaan saatavilla.

ÄLYKÖ-hankkeessa toteutettiin laboratoriomittakaavan demonstraatiokokeita, joiden tarkoituksena oli havainnollistaa erilaisten öljyjen ja biopolttoaineiden käyttäytymistä makeassa vedessä ja maaperässä ja selvittää mahdollisia lisätutkimustarpeita. Demonstraatiokokeet toteutettiin Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa.

Demonstraatiokoe makeassa vedessä

Demonstraatiokokeessa havainnollistettiin eri öljytuotteiden ja biopolttoaineiden käyttäytymistä, kuten kellumista/vajoamista, dispersoitumista, emulgoitumista ja haihtumista järvivedessä eri lämpötiloissa.

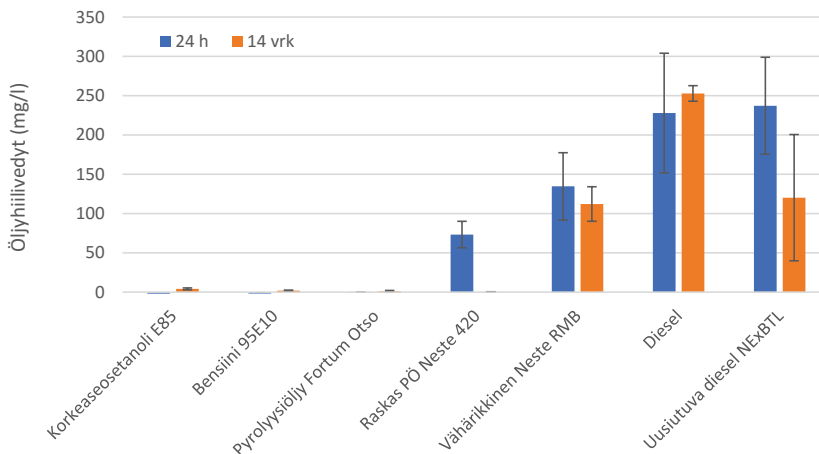
Koe toteutettiin litran lasiastioissa, joissa oli 600 ml luonnon makeaa vettä. Veteen kaadettiin 20 ml polttoainetta. Testissä mukana olleet biopolttoaineet olivat uusiutuva diesel NExBTL, korkeaseosetanoli (E85) ja pyrolyysiöljy Fortum Otso®. Biopolttoaineiden käyttäytymistä verrattiin fossiilisiin polttoaineisiin: kokeessa mukana olivat diesel, bensiini 95E10, raskas polttoöljy Neste 420 ja vähärikkinen laivapolttoaine Neste RMB. Pyrolyysiöljy saatiin kokeeseen Fortum Oyj:ltä ja NExBTL, Neste 420 ja Neste RMB Neste Oyj:ltä. Muut polttoaineet haettiin jakeluasemalta. Jokaiselle polttoaineelle tehtiin kaksi rinnakkaista käsittelyä.

Polttoaineen lisäyksen jälkeen polttoaine-vesiseoksia sekoitettiin magneettisekoittajalla 24 tuntia huoneenlämmössä. Lämpötilan vaikutusta polttoaineiden käyttäytymiseen selvitettiin jatkamalla sekoitusta 24 tuntia +4 °C:ssa ja seisottamalla 2 tuntia -20 °C:ssa. Koetta jatkettiin 14 vuorokautteen asti sekoittamalla seoksia ravistelijassa huoneenlämmössä. Tämän jälkeen polttoaineiden annettiin haihtua kannet auki vetokaapissa ilman sekoitusta. Monien vaiheiden tarkoituksena oli saada yleiskäsitys eri polttoaineiden käyttäytymisestä ja niiden välisistä eroista, ei niinkään tutkia tarkasti yksittäistä ilmiötä, kuten dispersoitumista, haihtumista tai biohajoamista.

Kokeen kaikki vaiheet valokuvattiin. Haihtuvien yhdisteiden pitoisuus (VOC), pH, lämpötila ja paino mitattiin kokeen alussa ja kaikkien edellä kuvattujen kokeen vaiheiden yhteydessä. Haihtuvien yhdisteiden mittausta tehtiin PID-mittarilla (Ion Science ProCheck Tiger) koeastioiden ilmatilasta. Öljyhiilivetyjen kokonaispitoisuus (TPH, total petroleum hydrocarbons) määritettiin InfraCal 2 ATR-SP -analysaattorilla (Wilks Enterprise) 24 tunnin ja 14 vuorokauden jälkeen. Vesinäytteet (100 ml) otettiin pipetillä öljykalvon alapuolelta.

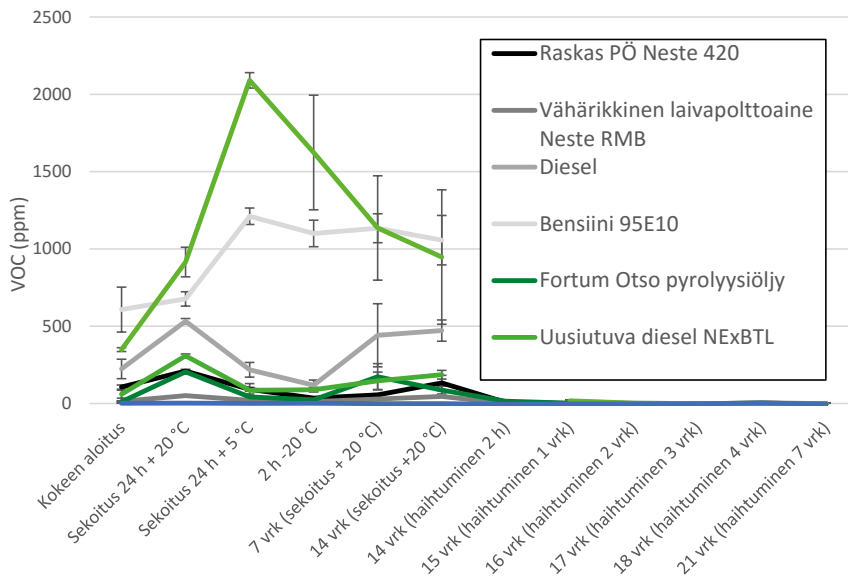
Veteen kaadettaessa suurin osa testatuista polttoaineista muodosti öljykalvon veden pinnalle. Pyrolyysiöljy poikkesi muista polttoaineista, sillä se liukeni osaksi veteen ja osaksi painui pohjaan. Pyrolyysiöljy myös laski veden pH:ta. Korkeaseosetanolin etanoli-osuus sekoittui veteen, ja vesi muuttui sameaksi. Bensiinifraktio muodosti ohuen kalvon veden pinnalle.

Sekoitettaessa polttoaineet dispersoituivat veteen ja öljykalvo emulgoitui. Polttoaineiden välillä oli kuitenkin eroa siinä, kuinka voimakkaasti öljy pysyi dispersoituneena veteen sekoituksen lopettamisen jälkeen. Lämpötilan vaikutuksessa käyttäytymiseen havaittiin myös eroja polttoaineiden välillä. Vedestä mitattu öljyhiilivetyypitoisuus oli 24 tunnin jälkeen korkein dieselillä ja NExBTL:llä (kuva 1). Bensiinillä, E85:llä ja pyrolyysiöljyllä TPH-pitoisuutta ei pystytty InfraCal-analysaattorilla määrittämään, koska analysaattori ei mittaa haihtuvia yhdisteitä ja pyrolyysiöljy ei sisällä öljyhiilivetyjä.



KUVA 1. Vesinäytteistä määritetyt kokonaisöljyhiilivetyypitoisuudet (TPH, total petroleum hydrocarbons) eri polttoaineilla makean veden demonstraatiokokeessa.

Koeastioiden ilmatilasta mitattujen VOC-pitoisuuksien perusteella tuotteiden haihtuvuus 24 tunnin jälkeen oli: korkeaseosetanoli > bensiini > diesel > uusiutuva diesel NExBTL > raskas polttoöljy Neste 420 ja pyrolyysiöljy > Neste RMB. Bensiinillä ja korkeaseosetanolilla VOC-pitoisuudet pysyivät korkealla kylmässäkin, kun taas muilla polttoaineilla pitoisuudet laskivat kylmässä. Bensiini ja korkeaseosetanoli myös haihtuivat kokonaan, kun koeastiat pidettiin avoimina vetokaapissa kokeen lopussa (kuva 2). Seuraavaksi on kuvattu tarkemmin eri polttoaineiden käyttäytymistä kokeessa.



KUVA 2. PID-mittarilla mitatut haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet makean veden demonstraatiokokeessa eri polttoaineilla.

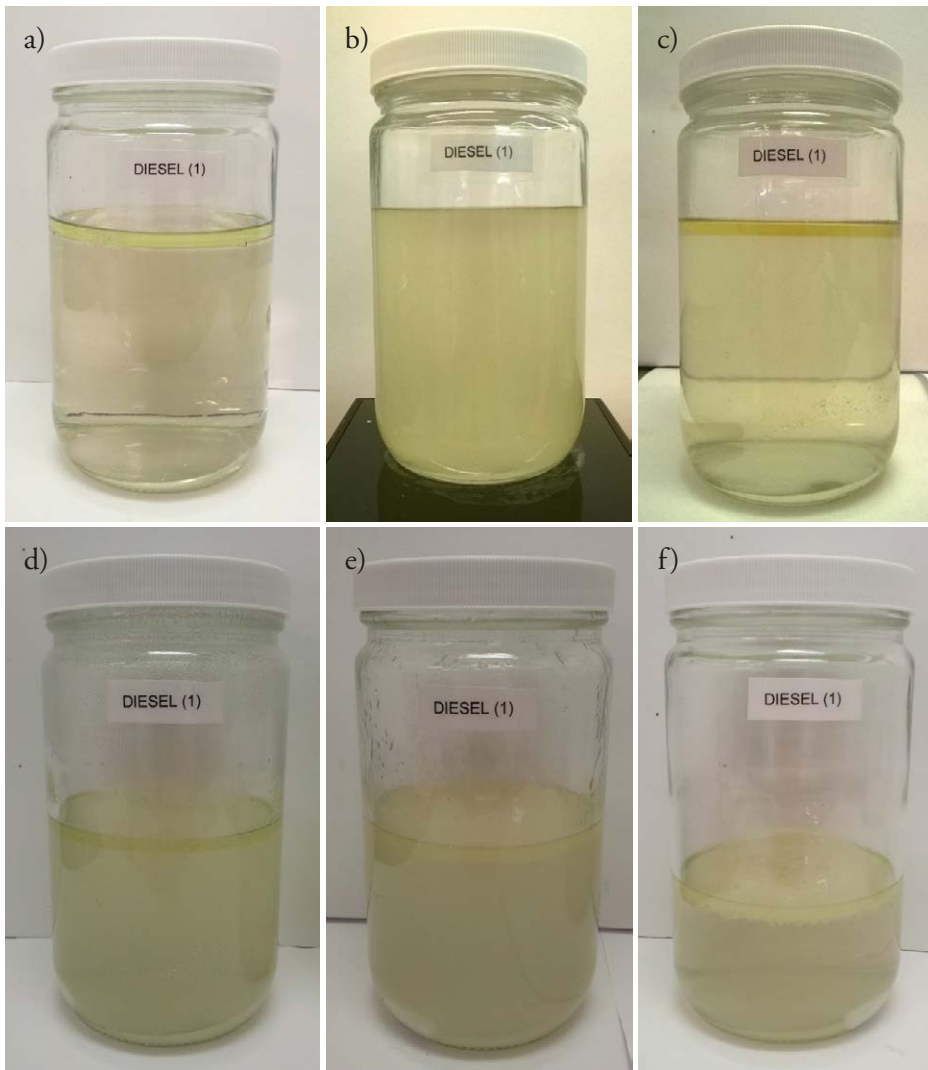
Diesel

Veteen kaadettaessa diesel muodosti kalvon veden pinnalle. Huoneenlämmössä sekoitettaessa diesel sekoittui veteen. Vuorokauden sekoittamisen (magneettisekoitus) jälkeen diesel nousi nopeasti takaisin kalvoksi veden pinnalle ja kalvo näytti samalta kuin kokeen alussa. InfraCal-analysaattorilla määritetty TPH-pitoisuus oli 228 ppm. VOC-pitoisuus testiastian ilmatilassa PID-mittarilla mitattuna oli 24 tunnin sekoituksen jälkeen 532 ppm.

Kylmässä (+5 °C:ssa) sekoittamisen jälkeen vesi oli sameampaa huoneenlämpöön verrattuna, eli kylmässä diesel pysyi voimakkaammin veteen dispersoituneena. Öljykalvo oli myös hieman emulgoituneempi kuin huoneenlämmössä. Kokeen perusteella ei voida varmasti sanoa, johtuuko voimakkaampi dispersoituminen/emulgoituminen lämpötilasta vai sekoituksen kestosta. Pakkasessa öljykalvo pysyi sulana jään päällä. VOC-pitoisuudet laskivat kylmässä.

Kahden viikon sekoituksen jälkeen (ravistelija) vesi näytti samealta. TPH-pitoisuus vedessä (253 ppm) oli hieman korkeampi kuin 24 tunnin jälkeen. Öljykalvo oli selvästi emulgoitunut.

Kokeen jälkeen koeastioita pidettiin avonaisina vetokaapissa viikon ajan. Veden pinnalla oli edelleen selvä emulgoitunut öljykalvo, ja vesi näytti samealta.



KUVA 3. Dieselin käyttäytyminen makeassa vedessä: a) 1 vrk: 5 minuuttia öljyn lisäämisen jälkeen, b) 1 vrk: magneettisekoituksessa, c) 2 vrk: 5 minuuttia 24 tunnin magneettisekoituksen jälkeen, d) 3 vrk: 5 minuuttia 24 tunnin magneettisekoituksen jälkeen +5 °C:ssa, e) 14 vrk: 5 minuuttia 12 vuorokauden ravistelijassa sekoituksen jälkeen, f) 21 vrk: haihtunut kansi auki vetokaapissa viikon (kuvat Mariia Zhaurova).

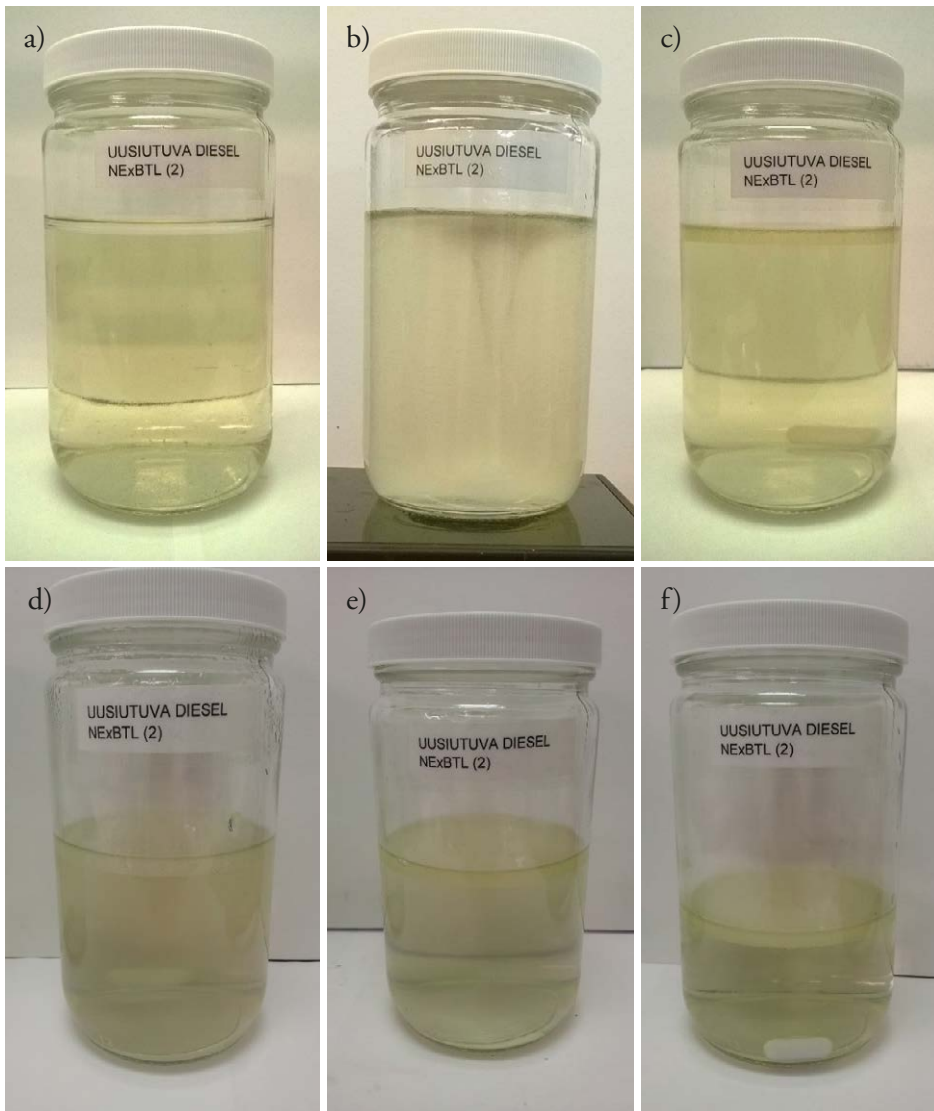
Uusiutuva diesel NExBTL

Uusiutuva diesel NExBTL käyttäytyi pääpiirteissään dieselin tavoin. NExBTL on väritöntä nestettä, kun dieselissä taas on kellertävä sävy. Dieselin tavoin NExBTL muodosti veteen kaadettaessa kalvon veden pinnalle, sekoittui veteen magneettisekoituksessa ja nousi nopeasti takaisin kalvoksi veden pinnalle 24 tunnin sekoituksen jälkeen. InfraCal-analysaattorilla määritetty TPH-pitoisuus oli 237 ppm eli lähes sama kuin dieselillä.

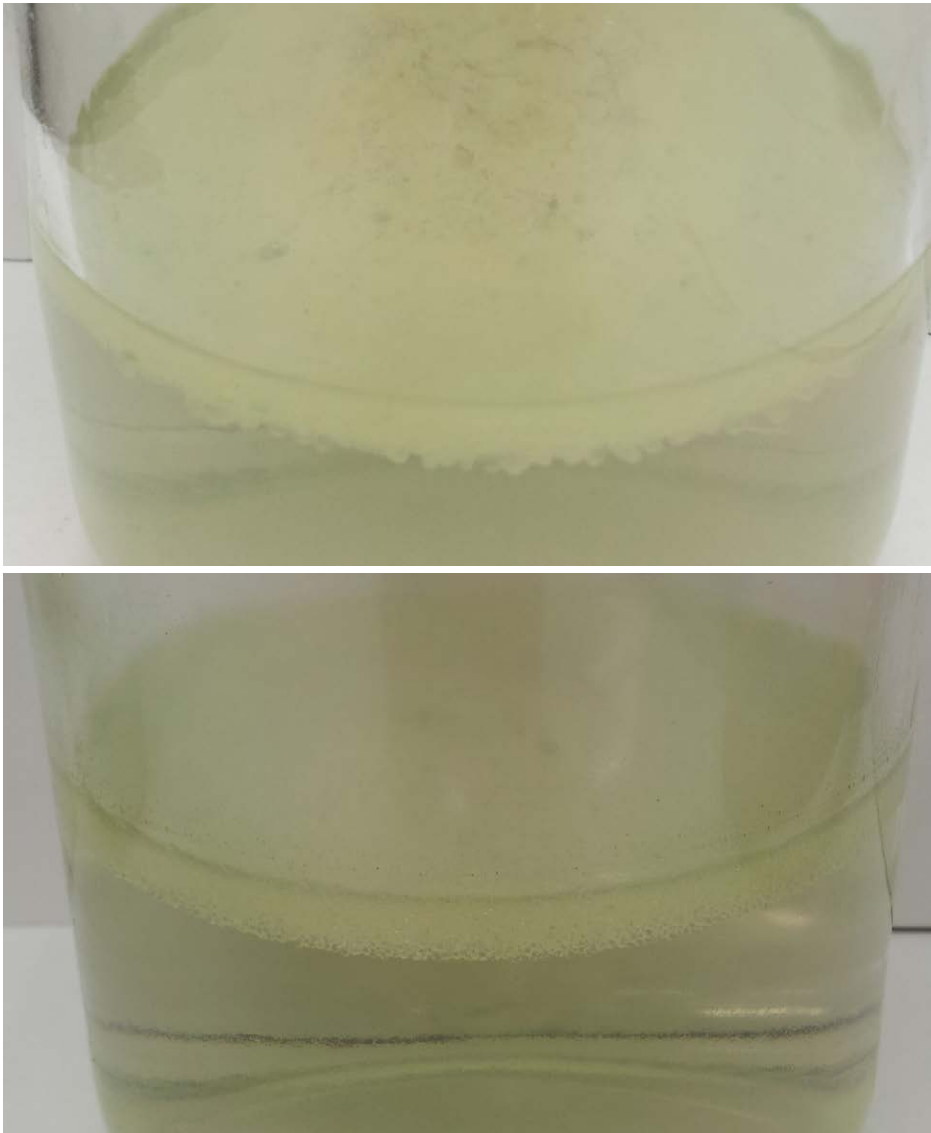
Myös NExBTL dispersoitui ja emulgoitui kylmässä eli +5 °C:ssa voimakkaammin kuin huoneenlämmössä, mutta kokeen perusteella ei voida varmasti sanoa, johtuuko ero lämpötilasta vai sekoituksen kestosta. Kahden rinnakkaisen käsittelyn välillä oli eroa veteen sekoittumisessa, mutta molemmissa vesi oli kirkkaampaa kuin dieselillä. Pakkasessa NExBTL pysyi sulana jään päällä, mutta voimakkaammin emulgoituneessa rinnakkaisessa käsittelyssä vesikuplat öljykalvossa jäätyivät.

Kokeen jatkuessa vesi oli kaikissa vaiheissa kirkkaampaa NExBTL:n kuin dieselin tapauksessa. Öljykalvo emulgoitui kuten dieselilläkin, mutta emulsion rakenteessa oli eroa öljyjen välillä (kuva 4). TPH-pitoisuus vedessä 14 vuorokauden jälkeen oli 47–193 ppm eli alhaisempi kuin 24 tunnin sekoituksen jälkeen, mutta rinnakkaisten käsittelyiden välillä oli huomattava ero pitoisuudessa. Pitoisuus oli myös alhaisempi kuin dieselillä. Kokeen perusteella ei voida varmasti sanoa, johtuuko alhaisempi pitoisuus erilaisesta dispersoitumisesta vai esimerkiksi biohajoamisesta.

VOC-pitoisuus testiastian ilmatilassa PID-mittarilla mitattuna oli 24 tunnin sekoituksen jälkeen 309 ppm ja koko kokeen ajan alhaisempi kuin dieselillä. VOC-pitoisuudet laskivat kylmässä kuten dieselilläkin. Kokeen jälkeen koeastioita pidettiin avonaisina vetokaapissa viikon ajan. Veden pinnalla oli edelleen selvä emulgoitunut öljykalvo kuten dieselillä, mutta vesi oli kirkkaampaa.



KUVA 4. Uusiutuvan NExBTL-dieselin käyttäytyminen makeassa vedessä: a) 1 vrk: 5 minuuttia öljyn lisäämisen jälkeen, b) 1 vrk: magneettisekoituksessa, c) 2 vrk: 5 minuuttia 24 tunnin magneettisekoituksen jälkeen, d) 3 vrk: 5 minuuttia 24 tunnin magneettisekoituksen jälkeen +5 °C:ssa, e) 14 vrk: 5 minuuttia 12 vuorokauden ravistelijassa sekoituksen jälkeen, f) 21 vrk: haihtunut kansi auki vetokaapissa viikon (kuvat Mariia Zhaurova).



KUVA 5. Dieselin (ylhällä) ja NExBTL:n (alhaalla) erot emulgoituneen kalvon rakenteessa (kokeen 21. vrk) (kuvat Mariia Zhaurova).

Bensiini

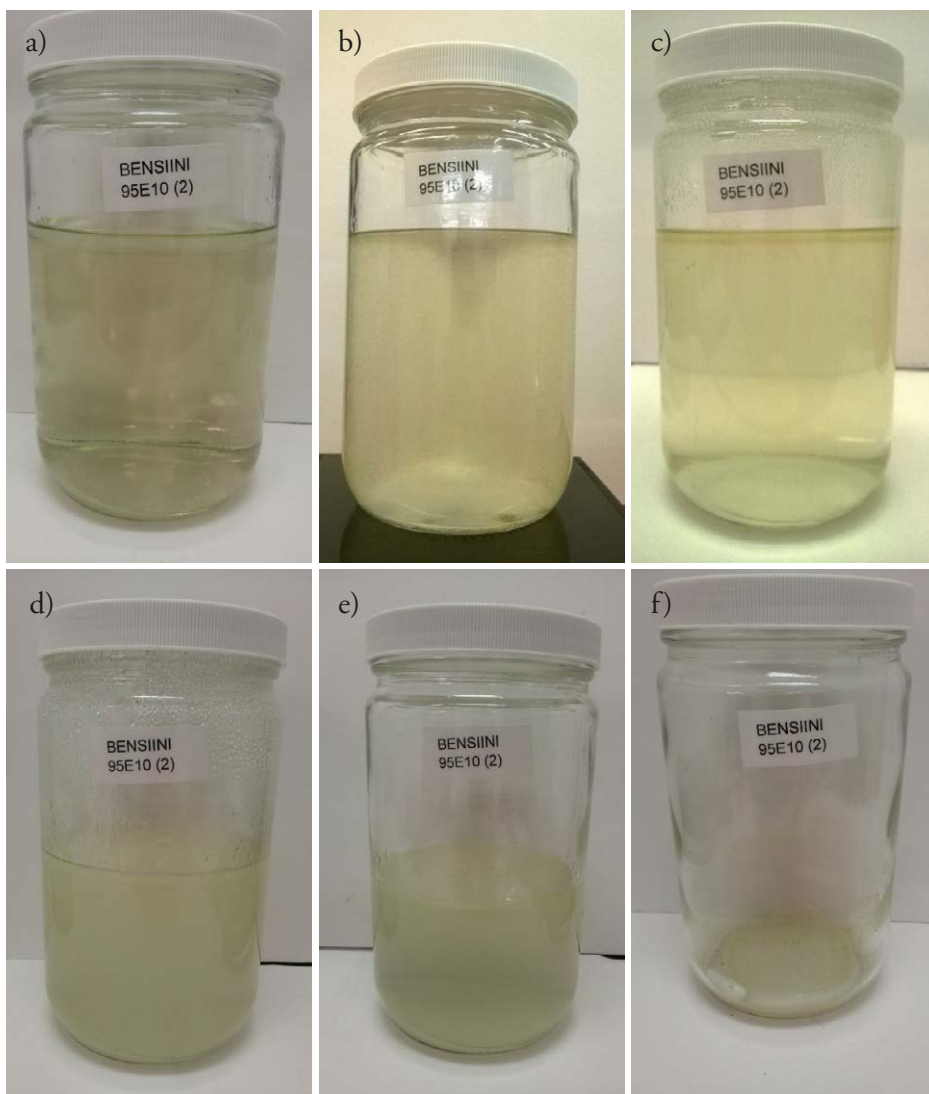
Veteen kaadettaessa bensiini muodosti kalvon veden pinnalle. Huoneenlämmössä sekoitettaessa bensiini sekoittui veteen. Vuorokauden sekoittamisen (magneettisekoitus) jälkeen bensiini nousi takaisin kalvoksi veden pinnalle. Rinakkaisten käsittelyiden välillä oli kuitenkin eroa: toinen näytti samalta kuin kokeen alussa, toisessa puolestaan oli havaittavissa hieman emulgoitumista,

kalvo oli kellertävämpi ja vesi sameampaa. InfraCal-analyssaattorilla määritetty TPH-pitoisuus oli negatiivinen, sillä analyssaattori ei mittaa bensiinin sisältämiä haihtuvia >C5-C10 hiilivetyjä. Haihtuvat hiilivedyt olisi pitänyt määrittää vedestä esim. kaasukromatografisesti todellisen pitoisuuden selvittämiseksi.

Rinnakkaiset näytteet erosivat myös kylmäkäsittelyssä. Toinen pysyi kirkkaana kylmässäkin, toisessa dispersoituminen ja emulgoituminen vahvistuivat. Pakkassa bensiini pysyi sulana jään päällä.

Kahden viikon sekoituksen jälkeen (ravistelija) bensiini oli yhä veteen sekoittuneena 5 minuuttia sekoituksen lopettamisen jälkeen ja vesi oli sameaa. Veden pinnalla oli emulgoitunut öljykalvo. Tässä vaiheessa rinnakkaisten käsittelyiden välillä ei ollut enää suurta eroa.

VOC-pitoisuus testiastian ilmatilassa PID-mittarilla mitattuna oli 24 tunnin sekoituksen jälkeen 677 ppm. VOC-pitoisuudet pysyivät korkeina kylmässäkin. Kokeen jälkeen koeastioita pidettiin avonaisina vetokaapissa viikon ajan. Tänä aikana bensiini ja vesi haihtuivat koeastiasta kokonaan.



KUVA 6. Bensiinin käyttäytyminen makeassa vedessä: a) 1 vrk: 5 minuuttia öljyn lisäämisen jälkeen, b) 1 vrk: magneettisekoituksessa, c) 2 vrk: 5 minuuttia 24 tunnin magneettisekoituksen jälkeen, d) 3 vrk: 5 minuuttia 24 tunnin magneettisekoituksen jälkeen +5 °C:ssa, e) 14 vrk: 5 minuuttia 12 vuorokauden ravistelijassa sekoituksen jälkeen, f) 21 vrk: haihtunut kansi auki vetokaapissa viikon (kuvat Mariia Zhaurova).

Korkeaseosetanoli E85

Veteen kaadettaessa korkeaseosetanoli muutti veden heti sameaksi pinnasta, toisin kuin esimerkiksi bensiini tai diesel. Tämä johtuu etanolin sekoittumisesta veteen. Pinnalle jäi ohut bensiinifraktion muodostama öljykalvo.

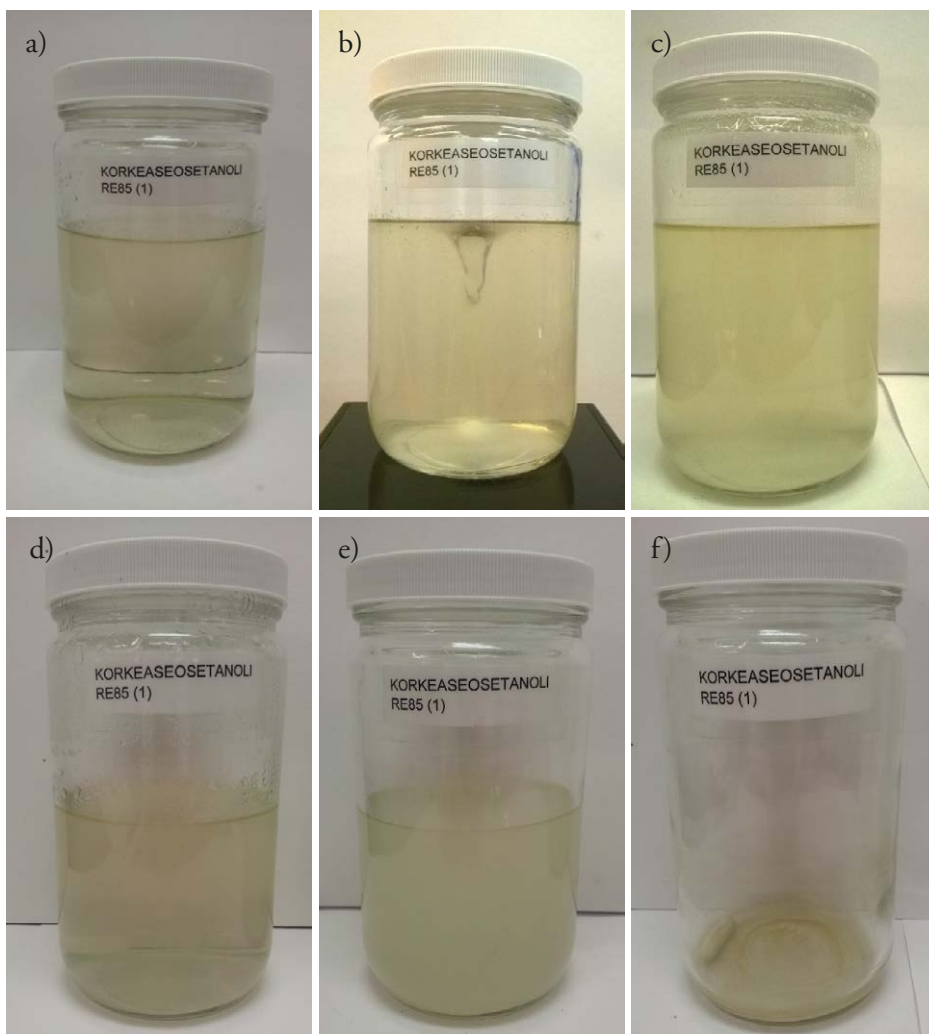
Huoneenlämmössä sekoitettaessa korkeaseosetanoli sekoittui veteen ja vesi näytti samealta. Vuorokauden sekoittamisen (magneettisekoitus) jälkeen pinnalle erottui öljykalvo, mutta vesi pysyi sameana ja jopa sameampana kuin bensiinikäsittelyssä. InfraCal-analysaattorilla määritetty TPH-pitoisuus oli negatiivinen, sillä analysaattori ei mittaa bensiinin sisältämiä haihtuvia >C5-C10 hiilivetyjä. Haihtuvat hiilivedyt ja etanoli olisi pitänyt määrittää vedestä esim. kaasukromatografisesti todellisen pitoisuuden selvittämiseksi.

Korkeaseosetanolin käyttäytymisessä ei havaittu merkittävää eroa kylmässä ja huoneenlämmössä. Korkeaseosetanoli pysyi veteen sekoittuneena ja sameana kylmässä, eikä ohuessa öljykalvossa havaittu silminnähtäviä muutoksia. Pakkassa öljykalvo pysyi sulana jään päällä.

Kahden viikon sekoituksen jälkeen (ravistelija) öljykalvo muuttui emulgoitumisen myötä värittömämmäksi ja huomaamattommaksi.

VOC-pitoisuus testiastian ilmatilassa PID-mittarilla mitattuna oli 24 tunnin sekoituksen jälkeen 915 ppm eli korkein testatuista polttoaineista. VOC-pitoisuudet pysyivät korkeina ja jopa kohosivat kylmässäkin. Pitoisuuksien kohoaminen johtui todennäköisesti pidemmästä sekoitusajasta. Kokeen jälkeen koeastioita pidettiin avonaisina vetokaapissa viikon ajan. Vesi kirkastui, kun koeastioita seisoitettiin ilman sekoitusta, mutta pysyi hieman sameana toisin kuin esimerkiksi bensiinikäsittelyssä, jolloin vesi muuttui kirkkaaksi. Viikon aikana korkeaseosetanoli ja vesi haihtuivat koeastiasta kokonaan.

Erikoista korkeaseosetanolin käyttäytymisessä oli, että vesi pysyi sameana koko kokeen ajan. Olisi voinut olettaa, että etanolin liuetessa veteen vesi olisi ollut kirkasta. Testi kokeiltiin tehdä myös hanavedessä. Kuten luonnonvesikin, alussa hanavesi muuttui sameaksi etanolin sekoittuessa veteen. Vuorokauden sekoituksen jälkeen vesi oli kuitenkin aivan kirkasta hanavesitestissä, eli veden sameus liittyy luonnonveden hanavedestä poikkeaviin ominaisuuksiin.



KUVA 7. Korkeaseoasetanoli E85:n käyttäytyminen makeassa vedessä: a) 1 vrk: 5 minuuttia öljyn lisäämisen jälkeen, b) 1 vrk: magneettisekoituksessa, c) 2 vrk: 5 minuuttia 24 tunnin magneettisekoituksen jälkeen, d) 3 vrk: 5 minuuttia 24 tunnin magneettisekoituksen jälkeen +5 °C:ssa, e) 14 vrk: 5 minuuttia 12 vuorokauden ravistelijassa sekoituksen jälkeen, f) 21 vrk: haihtunut kansi auki vetokaapissa viikon (kuvat Mariia Zhaurova).

Raskas polttoöljy

Raskas polttoöljy on viskositeetiltaan selvästi paksumpaa muihin testattuihin polttoaineisiin verrattuna. Sen tiheys on myös lähempänä veden tiheyttä, mutta veteen kaadettaessa raskas polttoöljy muodosti kuitenkin kalvon veden pinnalle. Huoneenlämmössä sekoitettaessa raskas polttoöljy sekoittui veteen. Vuorokauden sekoittamisen (magneettisekoitus) jälkeen se nousi takaisin kalvoksi veden pinnalle, mutta viiden minuutin seisotuksen jälkeen vedessä oli selvästi havaittavissa öljypisaroita. InfraCal-analysaattorilla määritetty TPH-pitoisuus oli 73 ppm. Pitoisuus oli pienempi kuin esimerkiksi dieselillä, mutta ei voida varmasti sanoa, johtuuko ero analytiikasta vai erilaisesta sekoittumisesta veteen.

Kylmässä sekoitettaessa raskas polttoöljy takertui koeastioiden seinämille, mikä johtuu todennäköisesti öljyn jähmettymisestä. Pakkasessa raskas polttoöljy oli kumimaisena mattona jään päällä tai koeastian seinämillä.

Kahden viikon sekoituksen jälkeen (ravistelija) raskas polttoöljy oli vatkautunut palloiksi ja uponnut koeastian pohjalle. Osa öljystä oli edelleen takertuneena koeastioiden seinämille. Vesi näytti kirkkaalta.

VOC-pitoisuus testiastian ilmatilassa PID-mittarilla mitattuna oli 24 tunnin sekoituksen jälkeen 210 ppm eli oletetusti vähemmän kuin esimerkiksi dieselillä. VOC-pitoisuudet laskivat kylmässä. Kokeen jälkeen koeastioita pidettiin avonaisina vetokaapissa viikon ajan. Tänä aikana vesi haihtui osittain koeastioista, mutta öljy oli edelleen palloina tai seinämille takertuneena eikä silminnähtäviä muutoksia havaittu.



KUVA 8. Raskaan polttoöljyn Neste 420:n käyttäytyminen makeassa vedessä: a) 1 vrk: 5 minuuttia öljyn lisäämisen jälkeen, b) 1 vrk: magneettisekoituksessa, c) 2 vrk: 5 minuuttia 24 tunnin magneettisekoituksen jälkeen, d) 3 vrk: 5 minuuttia 24 tunnin magneettisekoituksen jälkeen +5 °C:ssa, e) 14 vrk: 5 minuuttia 12 vuorokauden ravistelijassa sekoituksen jälkeen, f) 21 vrk: haihtunut kansi auki vetokaapissa viikon (kuvat Mariia Zhaurova).

Vähärikkinen laivapolttoaine Neste RMB

Vähärikkisen laivapolttoaineen Neste RMB:n käyttäytyminen vedessä muistutti dieselin käyttäytymistä. Vuorokauden magneettisekoituksen jälkeen vesi näytti sameammalta kuin dieselillä, mutta InfraCal-analysaattorilla mitattu TPH-pitoisuus, 135 ppm, oli kuitenkin alhaisempi kuin dieselillä.

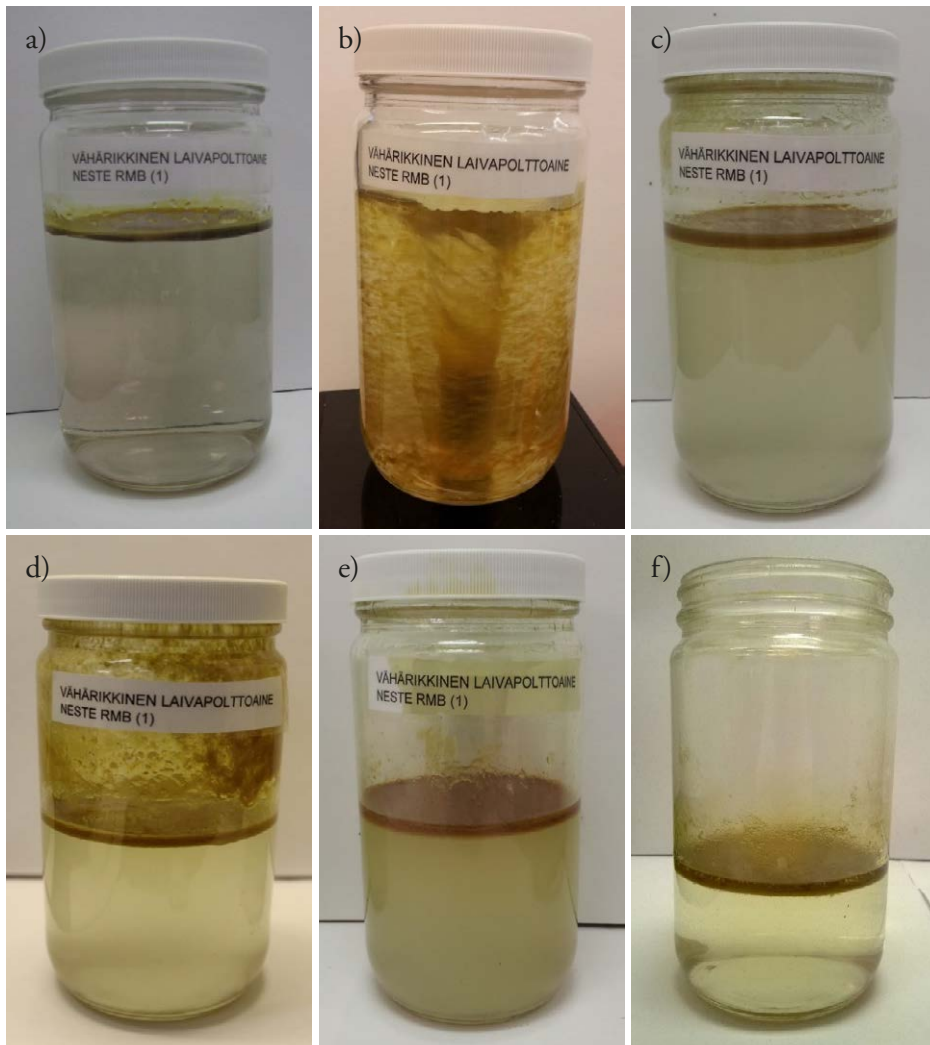
Kylmässä Neste RMB muuttui vaaleammaksi ja jähmettyi silmännähtävästi sekä takertui koeastian seinämille. Öljykalvo emulgoitui sekoituksessa, mutta kalvossa ei havaittu selvää muutosta huoneenlämpöön verrattuna. Pakkasessa öljykalvo muuttui huokoiseksi ja rakeiseksi ja jäätty toisin kuin muilla testatuilla polttoaineilla. (Kuva 9.)

Kahden viikon sekoituksen jälkeen Neste RMB näytti melko samalta kuin vuorokauden sekoituksen jälkeen. Veden TPH-pitoisuus oli 112 ppm eli samalla tasolla tai hieman pienempi kuin 24 tunnin sekoituksen jälkeen.

VOC-pitoisuus koeastian ilmatilassa oli 24 tunnin sekoituksen jälkeen 51 ppm ja koko kokeen ajan alhaisin kaikista testatuista polttoaineista. Kokeen jälkeen koeastioita pidettiin avonaisina vetokaapissa viikon ajan. Tänä aikana vesi kirkastui, mutta viikon jälkeen öljykalvo oli edelleen jäljellä eikä siinä havaittu silmännähtäviä muutoksia.



KUVA 9. Vähärikkinen laivapolttoaine Neste RMB jähmettyi kylmässä (+5 °C:ssa) sekoitettaessa, ja öljykalvo jäätty pakkasessa (kuvat Mariia Zhaurova).



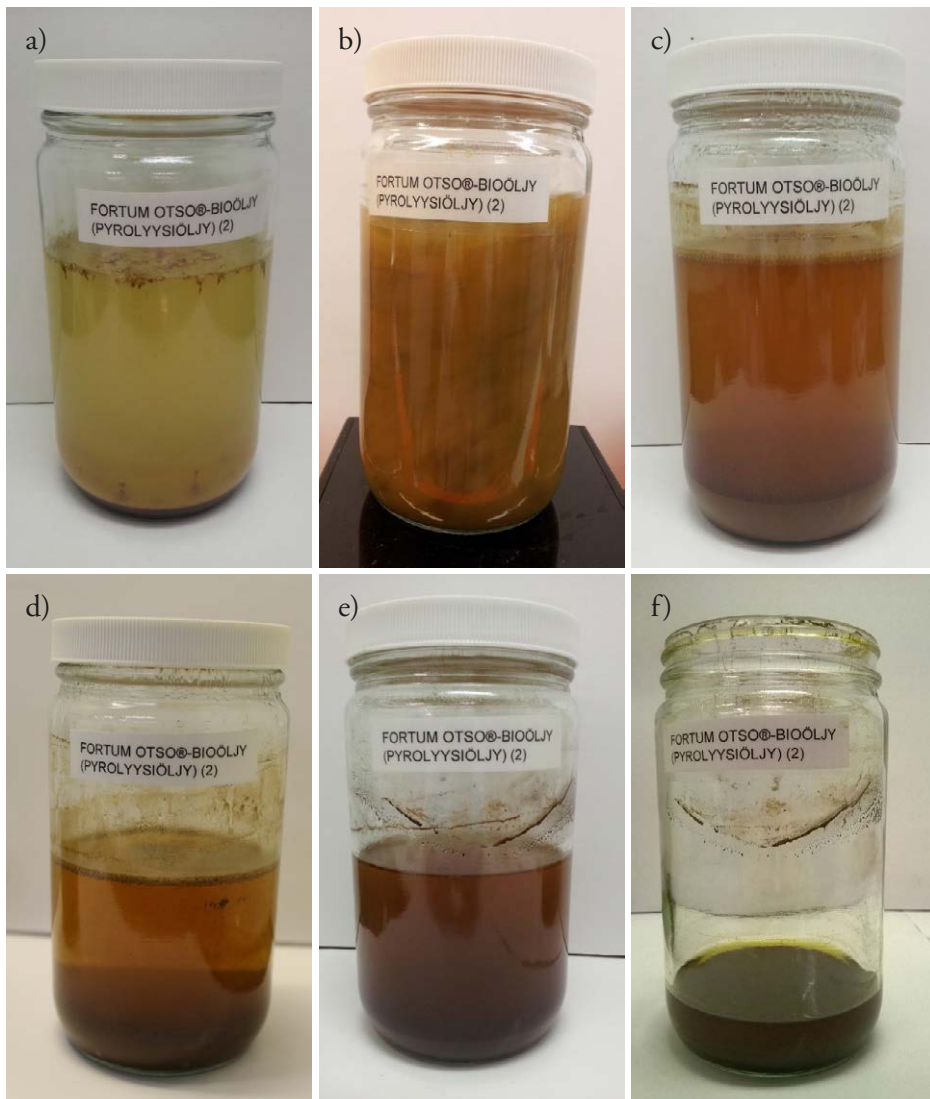
KUVA 10. Vähärikkisen laivapolttoaineen Neste RMB:n käyttäytyminen makeassa vedessä: a) 1 vrk: 5 minuuttia öljyn lisäämisen jälkeen, b) 1 vrk: magneettisekoituksessa, c) 2 vrk: 5 minuuttia 24 tunnin magneettisekoituksen jälkeen, d) 3 vrk: 5 minuuttia 24 tunnin magneettisekoituksen jälkeen +5 °C:ssa, e) 14 vrk: 5 minuuttia 12 vuorokauden ravistelijassa sekoituksen jälkeen, f) 21 vrk: haihtunut kansi auki vetokaapissa viikon (kuvat Mariia Zhaurova).

Pyrolyysiöljy

Pyrolyysiöljyn käyttäytyminen vedessä poikkesi selvästi muista testatuista polttoaineista. Veteen kaadettaessa se osittain liukeni ja osittain painui pohjaan. Sekoittaessa vesiliukoinen ja veteen liukenematon fraktio sekoittuivat keskenään. Sekoituksen loputtua veteen liukenematon faasi painui uudelleen pohjalle. Pyrolyysiöljy ei sisällä öljyhiilivetyjä, joten InfraCal-analysaattorilla mitattu TPH-pitoisuus oli negatiivinen. Veden pH laski pyrolyysiöljykäsittelyssä viidestä-kuudesta noin kolmeen. Muilla polttoaineilla veden pH:ssa ei havaittu muutosta.

Pyrolyysiöljyn käyttäytymisessä ei havaittu merkittävää eroa +5 ja +22 °C:ssa. Pakkasessa pyrolyysiöljy jäätyi veden mukana. Kahden viikon sekoituksen aikana väri muuttui tummemmaksi, mutta muutoin pyrolyysiöljyn käyttäytymisessä ei havaittu muutoksia.

VOC-pitoisuus 24 tunnin sekoituksen jälkeen, 205 ppm, oli samalla tasolla raskaan polttoöljyn VOC-pitoisuuden kanssa. Kokeen jälkeen koeastioita pidettiin avonaisina vetokaapissa viikon ajan. Tänä aikana vesi haihtui osittain astiasta, mutta erityisesti veteen liukenematon ja vettä raskaampi faasi oli jäljellä koeastian pohjalla.

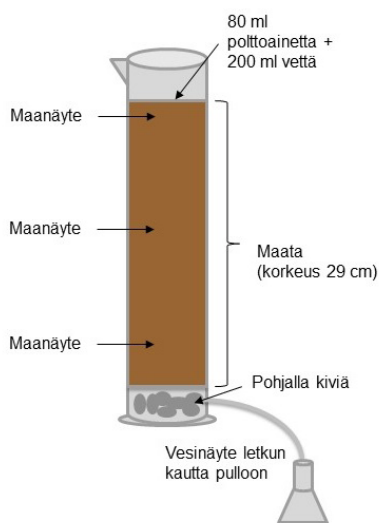


KUVA 11. Pyrolyysiöljy Fortum Otson käyttäytyminen makeassa vedessä: a) 1 vrk: 5 minuuttia öljyn lisäämisen jälkeen, b) 1 vrk: magneettisekoituksessa, c) 2 vrk: 5 minuuttia 24 tunnin magneettisekoituksen jälkeen, d) 3 vrk: 5 minuuttia 24 tunnin magneettisekoituksen jälkeen +5 °C:ssa, e) 14 vrk: 5 minuuttia 12 vuorokauden ravistelijassa sekoituksen jälkeen, f) 21 vrk: haihtunut kansi auki vetokaapissa viikon (kuvat Mariia Zhaurova).

Demonstraatiokoe maaperässä

Polttoaineiden kulkeutumista maaperässä demonstroitiin kolonnikokein (kuva 12). Työ toteutettiin Mariia Zhaurovan opinnäytetyönä (Zhaurova 2016). Kahden litran muovisten mittalasiin (halkaisija 97 mm) pohjalle laitettiin kiviä. Verkon päälle täytettiin maapatsas (korkeus 29 cm). Koe tehtiin kahdessa eri maalajissa: hiekassa (raekokojakauma 0 mm 1,6 %, 0,063 mm 7,6 %, 0,2 mm 78 %, 0,6 mm 11,7 %, 2 mm 0,7 %, kosteus 4,5 %, LOI 0,6 %) ja orgaanisessa maassa (raekokojakauma 0 mm 14,1 %, 0,063 mm 31,1 %, 9,2 mm 21,9 %, 0,6 mm 18,8 %, 2 mm 13,4 %, kosteus 20,1 %, LOI 5,6 %). Maapatsaan päälle kaadettiin 80 ml polttoainetta. Testattavat polttoaineet olivat diesel, uusiutuva diesel NExBTL ja pyrolyysiöljy Fortum Otso. Nollanäytteenä käytettiin hanavettä. Jokaiselle polttoaineelle (ja vedelle) tehtiin kaksi rinnakkaista käsittelyä.

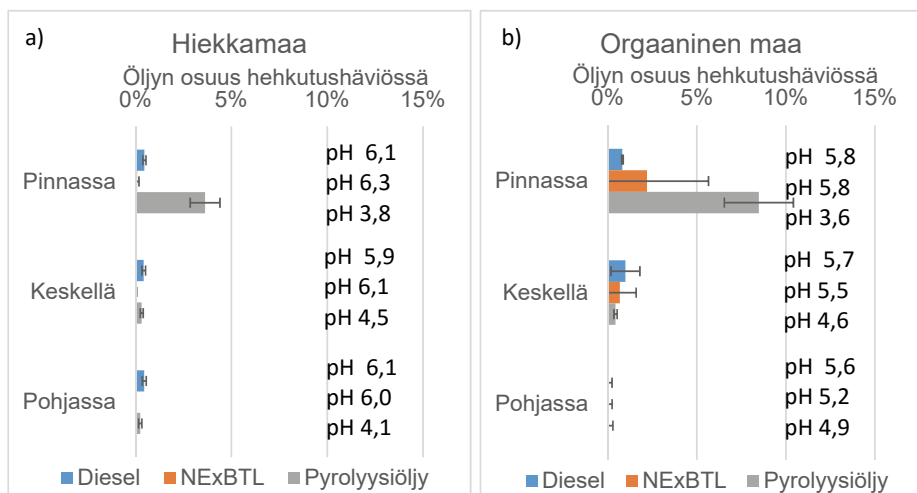
Vuorokauden jälkeen maapatsaan päälle kaadettiin 2 x 200 ml vettä tunnin välein. Veden lisäyksen tarkoituksena oli demonstroida vesisateen vaikutusta polttoaineiden kulkeutumiseen. Maan läpi kulkeutunut öljy ja vesi kerättiin näytepulloon kolonnin alaosassa (kivikerroksessa) olevan reiän ja letkun kautta. Kolonni purettiin kahden vuorokauden jälkeen ja maapatsaasta otettiin näytteet pinnasta (0–3,3 cm:n syvyydeltä), keskeltä (12–15,5 cm:n syvyydeltä) ja pohjalta (25–29 cm:n syvyydeltä).



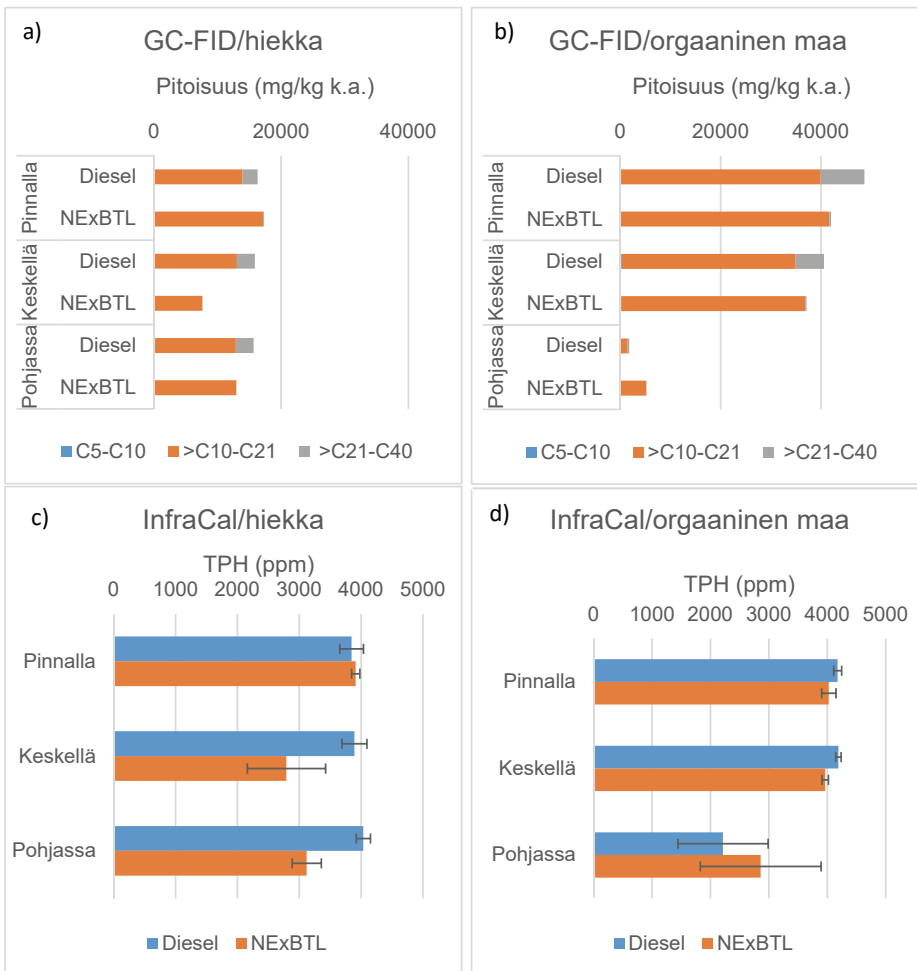
KUVA 12. Maaperädemostraatiokokeen koejärjestely (kuvat Vuokko Malk ja Mariia Zhaurova).

Kokeen aikana tarkkailtiin polttoaineiden käyttäytymistä. Haihtuvien yhdisteiden (VOC) pitoisuudet mitattiin PID-mittarilla (Ion Science ProCheck Tiger) maapatsaiden päältä kokeen aikana sekä maa- ja vesinäytteistä. Öljyhiilivetyjen kokonaispitoisuus määritettiin dieselin ja NExBTL:n maa- ja vesinäytteistä InfraCal 2 ATR-SP -analysaattorilla (Wilks Enterprise). Diesel- ja NExBTL-maanäytteiden hiilivetypitoisuus (>C10-C40) määritettiin myös GC-FID-tekniikalla akkreditoidussa laboratoriossa (ALS Finland). Pyrolyysiöljyn pitoisuuksia ei pystytty määrittämään, koska koetta tehtäessä ei ollut tietoa pyrolyysiöljylle soveltuvasta analytiikasta. Pyrolyysiöljylle soveltuvaa analytiikkaa selvitettiin myöhemmin testinäytteiden avulla. Lisäksi maanäytteistä määritettiin kosteus ja orgaanisen aineen määrä hehkutushäviönä, ja pH mitattiin sekä maa- että vesinäytteistä.

Maaperädemostraatiokoe osoitti eroja kulkeutumisessa eri öljytuotteiden ja maalajien välillä. Kaikki polttoaineet pidättyivät voimakkaammin orgaaniseen maahan kuin hiekkamaahan sekä hehkutushäviön että öljyanalyyseiden perusteella (kuvat 13 ja 14). Rinnakkaisten toistojen välillä oli jonkin verran vaihtelua tuloksissa. Ensimmäisessä toistossa vettä kertyi vähemmän näytepulloihin. Ero johtui koejärjestelystä. Toisella toistokerralla näytepullot olivat alempana kolonniin nähden. Toiston 2 tuloksia voidaan pitää luotettavampina.



KUVA 13. Öljyn osuus hehkutushäviössä ja pH kolonnikokeen eri syvyyksiltä otetuissa maanäytteissä a) hiekkamaassa ja b) orgaanisessa maassa.



KUVA 14. Öljyhiilivetytitoisuudet diesel- ja NExBTL-näytteissä. a–b) GC-FID-tekniikalla akkreditoidussa laboratoriossa määritetyt pitoisuudet. (Pitoisuudet 2. rinnakkaisissa näytteissä.) c–d) InfraCal-analysaattorilla määritetyt pitoisuudet (tuorepainoa kohden). Huomioi eri mitta-asteikot kuvissa.

Pyrolyysiöljy pidättyi pintamaahan voimakkaammin kuin diesel ja NExBTL. Pyrolyysiöljy muodosti ”kuoren” maan pinnalle (kuva 15). Pyrolyysiöljy myös laski selvästi maaperän pH-arvoa erityisesti hiekkamaassa (kuva 13), jossa happamat yhdisteet pääsivät kulkeutumaan syvemmälle maahan kuin orgaanisessa maassa, jossa pidättyminen pintamaahan oli voimakkaampaa.

Voimakkaasta pintamaahan pidätyksestä huolimatta pyrolyysiöljyä kuitenkin kulkeutui huomattavasti veden mukana myös maan läpi vesinäytteisiin. Hiekan läpi kulkeutunut vesi oli mustaa ja läpinäkymätöntä, kun taas orgaanisen maan läpi kulkeutunut vesi oli vaaleampaa ja läpinäkyvää (kuva 16). Vesinäytteiden pH oli myös alhaisempi nollanäytteeseen tai diesel- ja NExBTL-näytteisiin verrattuna (taulukko 1).



KUVA 15. Pyrolyysiöljyn pidentyminen pintamaahan (kuvat Mariia Zhaurova).



Vesi

Diesel

NExBTL

Pyrolyysiöljy



KUVA 16. Vesinäytteet eri öljytuotteilla saastutetun a) hiekkamaan ja b) orgaanisen maan läpi kulkeutuneesta vedestä (kuvat Mariia Zhaurova). (Kuvat 2. rinnakkaisesta toistosta.)

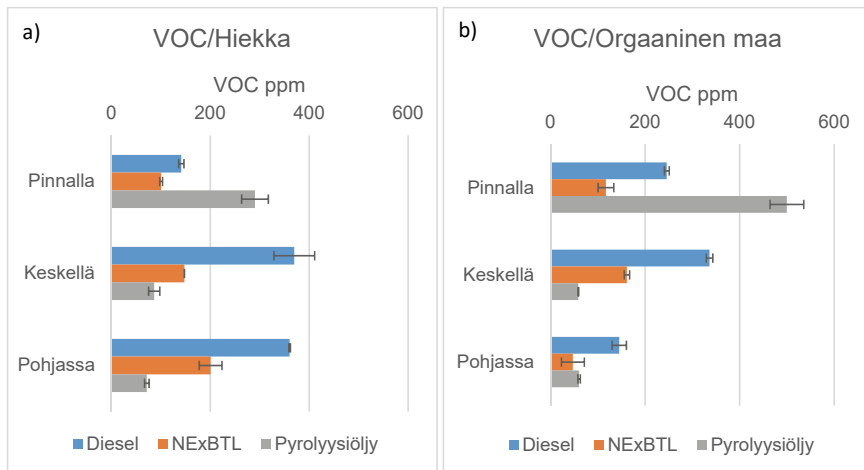
TAULUKKO 1. PID-mittarilla mitatut haihtuvien yhdisteiden pitoisuudet (VOC), InfraCal-analysaattorilla määritetyt öljyhiilivetyypitoisuudet (TPH) sekä pH maaperän läpi kulkeutuneissa vesinäytteissä.

	VOC		TPH		pH	
	Toisto 1	Toisto 2	Toisto 1	Toisto 2	Toisto 1	Toisto 2
Vesi						
Hiekka	-0,6	-0,8	-0,1	-0,9	7,3	7,2
Orgaaninen maa	-0,4	-0,6	-0,7	-0,6	6,8	6,6
Diesel						
Hiekka	14,5	25,4	118,9	68,3	7,2	7,0
Orgaaninen maa	-0,1	0,5	0,7	11,7	6,5	6,7
NExBTL						
Hiekka	2,9	73,4	59,9	436,0	7,1	7,0
Orgaaninen maa	-0,3	3,3	0,0	4,5	5,8	6,7
Pyrolyysiöljy						
Hiekka	91,2	127,4	x	x	3,4	3,7
Orgaaninen maa	7,6	15,6	x	x	4,4	4,9

Diesel ja uusiutuva NExBTL-diesel käyttäytyivät maaperässä pääsääntöisesti samalla tavalla. NExBTL:n kulkeutuminen oli tässä koejärjestelyssä hieman voimakkaampaa dieseliin verrattuna. Sekä diesel että NExBTL imeytyivät nopeasti hiekkaan ja orgaaniseen maahan. Kun maapatsaan päälle lisättiin vettä vuorokausi öljyn lisäyksen jälkeen, vesi imeytyi nopeammin NExBTL-maahan kuin diesel-maahan, sillä todennäköisesti dieselin hieman voimakkaampi pidättymisen maan huokosiin hidasti veden imeytymistä. NExBTL:n vesinäytteisiin kertyi öljyfaasia, mutta diesel-vesinäytteissä vastaavaa öljyfaasia ei ollut.

Suurimmassa osassa maanäytteistä NExBTL-pitoisuudet olivat jonkin verran alhaisempia kuin dieselpitoisuudet (kuvat 13–14), mikä osoittaa, että NExBTL pidätti maahan hieman vähemmän kuin diesel. Tämä johtuu todennäköisesti NExBTL:n alhaisemmasta viskositeetista (käyttöturvallisuustiedotteen mukaan 2,6 mm²/s 40 °C:ssa) dieseliin (≤4,5 mm²/s 40 °C:ssa) verrattuna. Dieselin ja NExBTL:n väliset erot pitoisuuksissa olivat havaittavissa sekä hehkutushäviössä, ulkopuolisessa laboratoriossa GC-FID-tekniikalla määritetyissä pitoisuuksissa että InfraCal-analysaattorilla määritetyissä pitoisuuksissa. InfraCalilla määritetyt pitoisuudet olivat selvästi alhaisemmat GC-FID-analyysiin verrattuna, mutta on huomattava, että InfraCal-pitoisuudet on annettu tuorepainoa kohti. Kai-

kissa dieselnäytteissä oli korkeammat raskaan fraktion >C₂₁-C₄₀ pitoisuudet kuin NExBTL-näytteissä, mikä osoittaa tuotteiden hieman erilaisen kemiallisen koostumuksen (kuva 14). NExBTL:n VOC-pitoisuudet olivat alhaisemmat kuin dieselillä (kuva 17) johtuen NExBTL:n heikommasta haihtuvuudesta ja alhaisemmasta höyrynpaineesta.



KUVA 17. PID-mittarilla määritetyt VOC-pitoisuudet a) hiekassa ja b) orgaanisessa maassa.

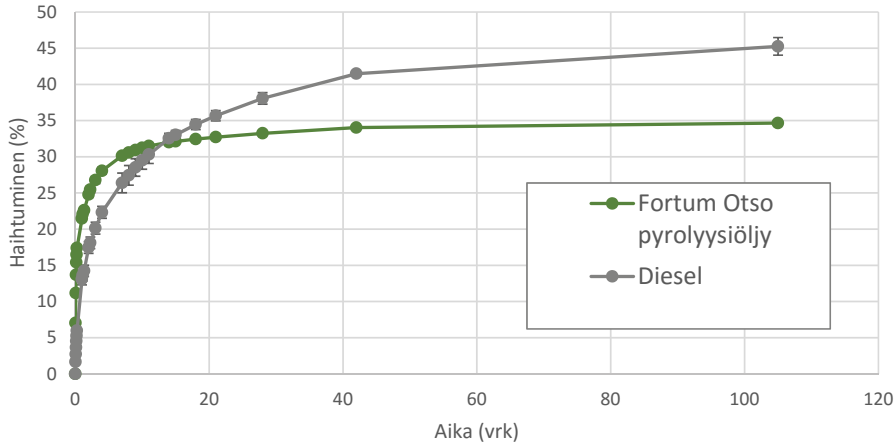
Dieselin ja pyrolyysiöljyn haihtuminen

Yleisesti ajatellaan, että diesel haihtuu vuototilanteessa nopeasti ympäristöstä. Kirjallisuuden ja tieteellisten tutkimusten perusteella (esim. Fingas 2015) haihtuminen ei kuitenkaan välttämättä ole aina niin nopeaa kuin yleisesti ajatellaan ja haihtuminen voi vaihdella diesel-laatuojen välillä huomattavasti. Pyrolyysiöljyn haihtumisesta taas ei löydetty lainkaan tutkimustietoa normaaleissa ympäristön lämpötiloissa. Dieselin ja pyrolyysiöljyn haihtumista demonstroitiin yksinkertaisin laboratorionkokein.

Kokeet toteutettiin huoneenlämmössä vetokaapissa. Dieselin ja pyrolyysiöljyn haihtumista petrimaljoilla seurattiin punnitsemalla öljyn määrä eri ajankohtina. Ensimmäinen koe tehtiin 20 ml:n tilavuudella dieseliä ja pyrolyysiöljyä. Petrimaljan halkaisija oli 9 cm, jolloin öljykalvon paksuus oli 3,1 mm.

Vetokaappiolosuhteissa pyrolyysiöljy haihtui petrimaljoilta alussa dieseliä nopeammin. Kahden viikon jälkeen sekä dieseliä että pyrolyysiöljyä oli haihtunut

hieman yli 30 %, minkä jälkeen dieselin haihtumisprosentit olivat suurempia kuin pyrolyysiöljyn. Kaiken kaikkiaan pyrolyysiöljystä haihtui kokeen aikana noin 35 %. (Kuva 18.)



KUVA 18. Dieselin ja pyrolyysiöljyn haihtuminen petrialjoilla.

Toisessa kokeessa dieselin haihtumista haluttiin testata tarkemmin. Kokeissa haluttiin testata öljymäärän / öljykalvon paksuuden, eri diesel-laaturien sekä vesiympäristön vaikutusta haihtumiseen.

Petrialjalle mitattiin 10 ml dieseliä, jolloin öljykalvon paksuus oli 1,6 mm. Testattavat diesel-laadut olivat jakeluasemalta haettu diesel (sama kuin ensimmäisessä kokeessa) sekä Neste DIR -5/15 -diesel. Öljyjen haihtumista petrialjoilla seurattiin punnitsemalla öljyn määrä eri ajankohtina. Lisäksi koe toteutettiin seisovassa ja liikkuvassa vedessä. Litran lasiastioihin mitattiin 500 ml vettä ja 10 ml Neste DIR -5/15 -dieseliä. Astiat pidettiin avoimina vetokaapissa. Liikkuvan veden testissä vesi-öljyseosta sekoitettiin magneettisekoittajalla. Haihtumista seurattiin punnitsemalla ja erottamalla öljyfaasi vedestä erotussuppilossa 24 tunnin sekä 7 vuorokauden jälkeen.

Sekä öljymäärällä / kalvon paksuudella että diesel-laadulla oli vaikutusta haihtumisnopeuteen. Vuorokauden jälkeen haihtumisprosentti oli 13–28 % ja 7 vuorokauden jälkeen 26–42 %. Neste DIR -5/15 -diesel haihtui nopeammin kuin jakeluaseman diesel. Haihtuminen oli prosentuaalisesti tarkasteltuna nopeampaa, kun öljymäärä oli pienempi ja kalvo ohuempi.

Seisovassa vedessä Neste DIR -5/15 -dieselin haihtumisprosentti vuorokauden jälkeen oli noin 21 % ja viikon jälkeen noin 44 %. Magneettisekoittajalla sekoitettaessa haihtumisprosentti vuorokauden jälkeen oli noin 20 % ja viikon jälkeen noin 40 %. Tässä kokeessa haihtuminen oli siis käytännössä samalla tasolla kuin petrimaljoilta tai seisovasta vedestä haihtuminen, vaikka veden liike olisi voinut nopeuttaa haihtumista edistämällä haihtuvien yhdisteiden diffuusiota dieselkalvon pinnalle. Haihtuminen määritettiin erottamalla öljy vedestä erotussupplilolla ja punnitsemalla. Menetelmä on suuntaa-antava. Vedessä oli myös dispersoituneena ja liuenneena öljyä, eli kokeessa ”hävinyt” öljy ei ole pelkästään haihtunut ja haihtumisprosentit voivat olla yliarvioita. Lisäksi varsinkin sekoituksessa öljykalvo oli emulgoitunut (etenkin toisessa kahdesta rinnakkaisesta käsittelystä), eli öljykalvon mukana saattoi erottua myös vettä, mikä voi myös aiheuttaa tulosten yliarviota.

Bioöljyn ja -polttoaineiden analytiikka ympäristönäytteistä

Vahinkotilanteessa tarvitaan pitoisuusmäärytyksiä, jotta ympäristön pilaantuneisuutta, riskejä ja kunnostustarvetta voidaan arvioida. Uusiutuvalle dieselille soveltuvat samat öljyhiilivetyanalyysit (esim. GC-FID >C10-C40, PetroFLAG, InfraCal) kuin fossiilisille öljyille sen samankaltaisen kemiallisen koostumuksen vuoksi. Korkeaseosetanolille soveltuvat samat kaasukromatografiset analyysit kuin bensiinille (>C5-C10), ja lisäksi näytteistä voidaan analysoida etanoli. Pyrolyysiöljyn analytiikka ympäristönäytteistä on hankalampaa, sillä sen kemiallinen koostumus poikkeaa huomattavasti fossiilisista öljyistä eikä pyrolyysiöljyn pitoisuuksia ympäristönäytteissä voida analysoida samoilla kemiallisilla analyyseillä kuin öljyhiilivetyjä. Pyrolyysiöljylle soveltuvaa analytiikkaa selvitetiin testinäyttein. Analyysit teetettiin NabLabs Oy:llä Oulussa, jossa on tehty pyrolyysiöljyanalytiikkaa Suomessa. Pyrolyysiöljyä ei kuitenkaan aiemmin ole analysoitu maa- tai vesinäytteistä.

Maaperätestinäytteet valmistettiin lisäämällä hiekkaan pyrolyysiöljyä 11600 mg/kg (maan tuorepainoa kohden). Vesitestinäytteet valmistettiin lisäämällä järvivedeen pyrolyysiöljyä noin 460–480 mg/l. Maa- ja vesinäytteitä tehtiin kaksi rinnakkaista. Näyteastioita sekoitettiin sekoittajassa noin vuorokausi. NabLabs Oy analysoi näytteistä metanolin, fenolin ja kresolit Headspace-GC/MS-menetelmällä, orgaaniset hapot HPLC-menetelmällä ja vapaat hartsihapot GC-menetelmällä.

Näytteissä havaittiin eniten metanolia, jota oli maanäytteissä 225–234 mg/kg ja vesinäytteissä 9,3–9,5 mg/kg. Myös fenolia ja kresoleita havaittiin kaikissa näytteissä (yhteensä maanäytteissä noin 14–19 mg/kg ja vesinäytteissä noin 1,4 mg/kg). Muurahaishappoa ja etikkahappoa oli maanäytteissä kumpaakin noin 40–57 mg/kg, mutta vesinäytteissä näitä yhdisteitä ei havaittu. Hartsihaposta dehydroabietiinihappoa havaittiin kaikissa näytteissä (maanäytteissä 2,2–2,7 mg/kg ja vesinäytteissä 0,075–0,14 mg/kg).

Pyrolyysiöljyn kokonaismäärä näytteissä voidaan laskea analysoitujen pitoisuuksien perusteella käyttäen hyödyksi tietoa pyrolyysiöljyn koostumuksesta. Esimerkiksi metanolin osuus pyrolyysiöljyssä on eri öljyissä keskimäärin 1,65 massa-%. Pyrolyysiöljyn koostumus vaihtelee öljyn raaka-aineen mukaan. (NabLabs Oy 2017.)

Analytiikan suorittanut laboratorio (NabLabs Oy) totesi tulosten perusteella, että pyrolyysiöljyn määrä maa- ja vesinäytteissä on paras laskea metanolin, muurahaishap- ja etikkahapon sekä hartsihapojen (abietiinihappo ja dehydroabietiinihappo) summan keskiarvona. Hartsihapot lasketaan yhteen, koska abietiinihappo hapettuu dehydroabietiinihapoksi ajan kuluessa. Näiden yhdisteiden pitoisuuksien perusteella laskettuna pyrolyysiöljymäärät maanäytteissä olivat 12 900–13 100 mg/kg ja vesinäytteissä 450–590 mg/kg. Pitoisuudet vastaavat suhteellisen hyvin näytteisiin lisättyä pyrolyysiöljyn määrää. Fenolien ja rasvahappojen perusteella lasketut pyrolyysiöljyn määrät olivat sen sijaan selvästi liian suuret. Maaperässä voi olla näitä yhdisteitä luonnostaan. (NabLabs Oy 2017.)

Pyrolyysiöljynäytteille kokeiltiin myös PetroFLAG- ja InfraCal-kenttämittareita. Näihin testimaanäytteisiin lisätty pyrolyysiöljypitoisuus oli 5400 mg/kg. InfraCalilla määritetyt TPH/TOG-pitoisuudet olivat 77–121 mg/kg ja PetroFLAGilla määritetyt pitoisuudet 44–69 mg/kg eli huomattavan alhaisia maahan lisättyyn pyrolyysiöljymäärään verrattuna. Puhtaassa maassa vastaavat taustapitoisuudet olivat InfraCalilla mitattuna 29–37 mg/kg ja PetroFLAGilla mitattuna 19–25 mg/kg. InfraCal yritettiin myös kalibroida pyrolyysiöljylle, mutta selvää kalibrointisuoraa ei saatu muodostettua. Näillä kenttämittareilla ei siis voida luotettavasti havaita pyrolyysiöljyä maanäytteistä. Ion Science ProCheck Tiger PID-mittarilla mitattu VOC-pitoisuus maanäytteissä oli 90 ppm (puhtaassa maassa 0 ppm). PID-mittarin todettiin myös muissa demonstraatiokokeissa havaitsevan pyrolyysiöljyn haihtuvat VOC-yhdisteet maa- ja vesinäytteistä.

Johtopäätökset

Demonstraatiokokeet havainnollistivat hyvin eri öljytuotteiden ja biopolttoaineiden väliset erot ympäristökäyttäytymisessä. Kokeet osoittivat esimerkiksi pyrolyysiöljyn liukenevan osin veteen ja osin painuvan järvivedessä pohjaan, mikä on haasteellista torjuntatoimenpiteiden kannalta. Maaperässä pyrolyysiöljyn veteen liukenemattoman fraktion havaittiin pidättyvän voimakkaasti maaperän pintakerrokseen, mutta kokeen perusteella vesiliukoinen faasi voisi kulkeutua vahinkotilanteessa pohjaveteen. Fossiilista öljystä huomattavasti poikkeavan kemiallisen koostumuksen vuoksi pyrolyysiöljyn maa- ja vesinäytteille eivät sovellu samat kemialliset analyysit kuin perinteisille öljyille.

Uusiutuva diesel käyttäytyi pääpiirteissään perinteisen dieselin tavoin, kuten voitiin olettaa tuotteiden samankaltaisten fysikaalis-kemiallisten ominaisuuksien perusteella. Kokeissa kuitenkin havaittiin uusiutuvan dieselin kulkeutumisen maaperässä olevan hieman voimakkaampaa perinteiseen dieseliin verrattuna. Myös dispersiökäyttäytymisessä vedessä ja vesipitoisuuksissa havaittiin pieniä eroja uusiutuvan dieselin ja perinteisen dieselin välillä. Erojen tarkemmaksi tutkimiseksi pitäisi tehdä tarkempia laboratorioanalyysijä ja enemmän rinnakkaisia toistoja.

Demonstraatiokokeet osoittivatkin useita lisätutkimustarpeita. Näissä kokeissa ei esimerkiksi tutkittu lainkaan biohajoamista. Tuotteille on ilmoitettu aktiivilietetestin mukainen biohajoavuus käyttöturvallisuustiedoissa, mutta biohajoamista pitäisi tutkia luonnollisemmissa olosuhteissa oikeassa maaperässä, vedessä ja sedimentissä eri lämpötiloissa ja happiolosuhteissa. Torjunta- ja kunnostustoimenpiteiden kannalta olisi oleellista tietää, kuinka nopeasti biopolttoaineet hajoavat luonnollisesti ympäristössä. Pyrolyysiöljyn vettä raskaamman fraktion vaikutuksia pohjasedimenttiin sekä eri faasien ekotoksisuutta pitäisi myös tutkia. Koska pyrolyysiöljyn vesiliukoinen fraktio voi kulkeutua pohjaveteen, olisi tulevaisuudessa hyvä tutkia tarkemmin pyrolyysiöljyn vesiliukoisten yhdisteiden käyttäytymistä ja hajoamista pohjavesiolosuhteissa.

LÄHTEET

Fingas, M. 2015. Oil and Petroleum Evaporation. Handbook of Oil Spill Science and Technology, edited by Merv Fingas. Wiley, USA. ISBN: 978-0-470-45551-7.

NabLabs Oy 2017. Tutkimustodistus 32978-2016. 17.2.2017.

Zhaurova, M. 2016. Biofuels behavior in soil. Bachelor's thesis. Environmental Engineering. Mikkeli University of Applied Sciences.

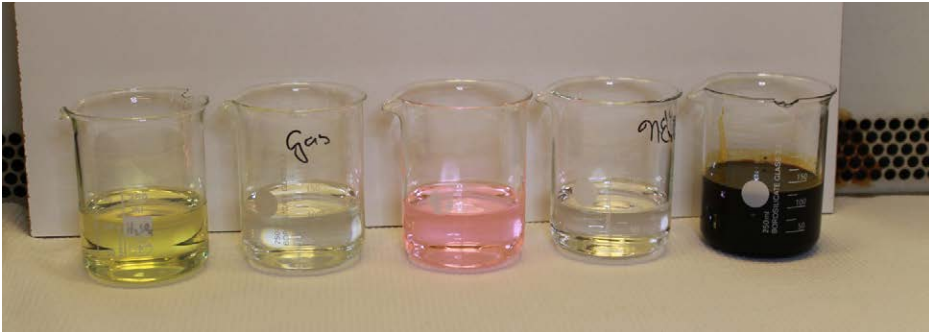
BIOÖLJYT JA -POLTTOAINEET ÖLJYNTORJUNNAN NÄKÖKULMASTA

Justiina Halonen & Vuokko Malk

Öljyntorjunnalla tarkoitetaan öljyn leviämisen estämistä, rajaamista, ohjaamista ja öljyn keräämistä veden tai maa-aineksen pinnalta, sekä likaantumisalttiina olevien kohteiden, kuten rantaviivan, suojaamista. Torjuntaan kuuluu lisäksi likaantuneen alueen karkeapuhdistus, eli irtonaisen öljyn kerääminen ja sen hallittu kuljettaminen siten, ettei uudelleen öljyyntymisen tai vahingon laajenemisen vaaraa enää ole (Öljyvahinkojen torjuntalaki 1673/2009).

Vahingon rajoittamista tehdään vesistöissä öljyntorjuntapuomeilla ja maa-alueella esimerkiksi patoamalla. Irtonainen öljy skimmeröidään, imetään tai pumpataan pois. Kun öljykerroksen paksuus ohenee niin, ettei kerääminen ole tehokasta, käytetään imeytysaineita poistamaan viimeisetkin öljyt. Pienemmissä päästömissä saatetaan käyttää pelkästään imeytysaineita. Maaöljyvahingoissa, ja myös vesistöissä nopeasti kiinteytyvän öljyn vahingoissa, käytetään mekaanista poistoa. Kiinteytyvän, pohjaan vajoavan öljyn keräämiseen voidaan käyttää myös nuottaa. Pesuteknisiä menetelmiä käytetään huuhtelemaan rantamateriaaliin tarttunut öljy takaisin vesistöön siihen puomitetulle alueelle, josta öljy kerätään talteen.

Konventionaaliset öljyntorjuntamenetelmät on suunnattu pääsääntöisesti vettä kevyempien, kelluvien ja veteen liukenemattomien aineiden hallintaan. Bioöljyn, eli pyrolyysiöljyn, ja muiden biopolttoaineiden kuten bioetanolin ja korkeaseosanolin ominaisuudet ja käyttäytyminen kuitenkin poikkeavat näissä kohdin fossiilista polttoaineista. Osittain samat torjunta- ja keräysmenetelmät vaikuttavat käyttökelpoisilta, osin eivät. Biopolttoaineista onkin harhaanjohtavaa puhua yhtenä tuoteryhmänä niiden suurten keskinäisten ominaisuuserojen vuoksi.



KUVA 1. Biopolttoaineilla ja uusiutuvilla polttoaineilla on huomattavia keskinäisiä ominaisuuseroja. Kuvan polttoaineet ovat vasemmalta oikealle lueteltuna diesel, bensiini, korkeaseosetanoli E85, NExBTL ja pyrolyysiöljy (kuva Vuokko Malk 2016).

Bioöljy - eli pyrolyysiöljy - ei sanan varsinaisessa merkityksessä ole öljyä, vaan kemikaali. Biopolttoaineisiin ei myöskään sovelleta öljyvahinkojen torjuntalakia (1673/2009). Torjuntalakia sovelletaan ainoastaan aluskemikaalivahinkoihin, ja muiden kemikaalivahinkojen torjunnassa noudatetaan pelastuslakia (379/2011). (Jätealan huoltovarmuustoimikunta 2015, 4.)

Tämä artikkeli pohjautuu kirjallisuusselvitykseen. Torjuntamenetelmien osalta on lisäksi tarkasteltu ÄLYKÖ-hankkeessa toteutettujen laboratoriokokeiden tuloksia. Biopolttoaineille soveltuvista torjunta- ja keräysmenetelmistä on saatavilla vain vähän tietoa, ja siksi menetelmien käyttökelpoisuutta ja materiaalien kestävyttä tulisi tutkia lisää demonstraatiokokeilla.

Torjuntaan vaikuttavat ominaisuudet

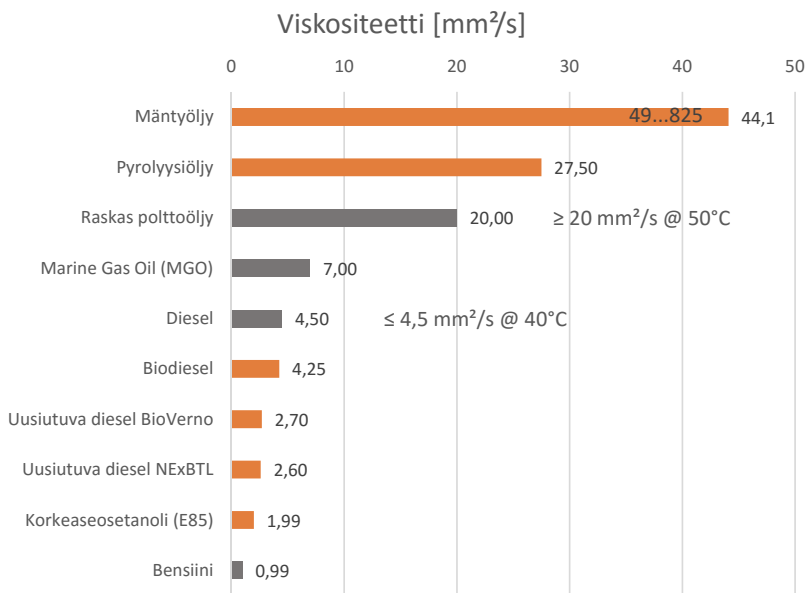
Torjuttavan aineen ominaisuudet vaikuttavat torjuntastrategian ja torjuntamenetelmän valintaan, torjuntahenkilöstön suojautumiseen, sekä vahinkojätteen turvalliseen käsittelyyn ja kuljettamiseen. Torjunnan kannalta oleellisia ominaisuuksia ovat aineen viskositeetti, jäähmepiste, sekoittuminen veteen (dispersio ja emulgoituminen), haihtuminen, sekä tiheys ja sen muuttuminen ajan myötä.

Viskositeetti

Viskositeetti kuvaa nesteen kykyä vastustaa virtaamista. Korkean viskositeetin öljyt ovat jähmeitä, eivätkä juoksevia kuten alhaisen viskositeetin öljyt. Lämpö-

tilan laskiessa öljyn viskositeetti nousee, toisten enemmän, toisten vähemmän, riippuen öljyn koostumuksesta. Viskositeetti ja sen muuttuminen vaikuttavat merkittävästi öljyn leviämiseen vedessä, ja siihen, millaiseen kerrospaksuuteen öljylautta asettuu. (Fingas 2013, 35; IMO 2005 9.)

Kuvassa 2 on esitetty bioöljyn ja biopolttoaineiden keskimääräinen kinemaattinen viskositeetti. Vertailun vuoksi kaaviossa on esitetty myös raskaanpolttoöljyn, laivadieselin - eli Marine Gas Oilin (MGO), dieselin, ja bensiinin vastaavat arvot. Kuvasta on nähtävissä, että mäntyöljy ja pyrolyysiöljy ovat vertailun fossiilisia polttoaineita jähmeämpiä. Biodiesel, uusiutuvat dieselit ja korkeaseosetanoli sijoittuvat petrodieselin ja bensiinin välimaastoon. Taulukossa esitetyt arvot on annettu 40 asteessa. Biodieselin taipumus geeliytyä viileässä muuttaa sen vedessä tavallista dieseliä viskoosimmaksi (RRT & NWAC 2013, 49).



KUVA 2. Biopolttoaineiden kinemaattiset viskositeetit (40°C) verrattuna raskaan polttoöljyn, laivadieselin (MGO), dieselin ja bensiinin viskositeetteihin (Malk et al. 2015, 147; ECHA; Käyttöturvallisuustiedotteet).

Viskositeetti vaikuttaa keräystehokkuuteen tekniikoissa joiden käyttökelpoisuus riippuu öljyn sitkosta ja juoksevuudesta, kuten pumppauksessa ja skimmeröinnissä (Fingas 2013, 37; IMO 2014, 15). Harjakeräimet on suunnattu pääsääntöisesti raskaille öljyille, ja toimivat siksi hyvin muun muassa mäntyöljylle (ks.

kuva 3). Harjatekniologiaa on kehitetty myös kevyemmille ja juoksevimmille öljylaaduille (Bask 2016; Muhonen 2016), ja sen keräystehoa vielä dieseliäkin kevyempien biopolttoainelaatujen kanssa tulisi testata. Skimmerikerättävyyden lisäksi nesteen viskositeetilla on suora korrelaatio imeytystuotteiden keräystehoon (Cooper et al. 2008, 352; Hollebhone 2009, 27).



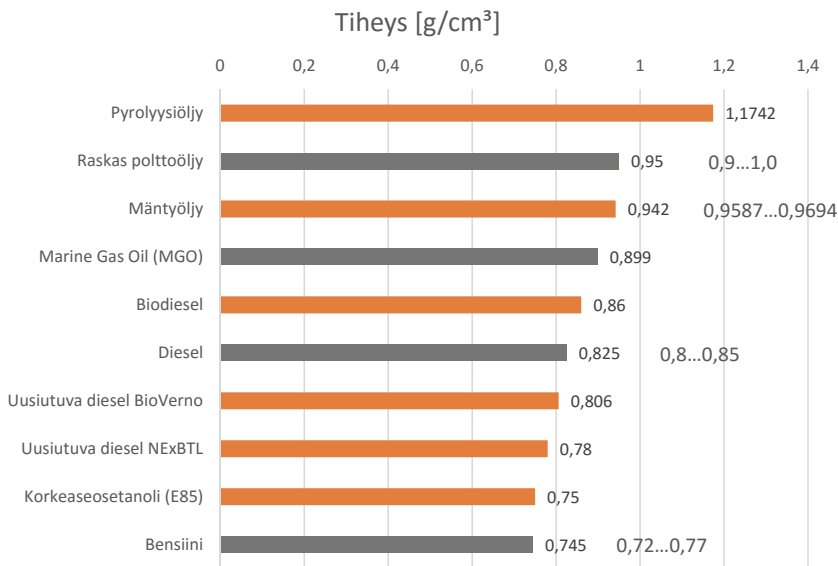
KUVA 3. Mäntyöljyn keräystä aluksen kiinteillä harjakeräimillä noin yhden asteen pakkasessa (kuva Juha Muhonen 2011).

Tiheys

Öljyn käyttäytyminen vedessä riippuu molempien suhteellisesta tiheydestä. Suurimmalla osalla öljyistä on pienempi tiheys kuin makealla vedellä (1.0) tai merivedellä (1.025), jolloin ne yleensä kelluvat. Kelluvat öljyt pysyvät alttiina säistymiselle, kun taas vettä raskaammat uppoavat öljyt ovat alttiina lähinnä liukenemiselle, mikä yleensä on vähäistä. Uponnut öljy hajoaa yleensä hitaasti. (Fingas 2013, 37; RRT & NWAC 2013, 42.)

Veteen vuotaneen öljyn tiheys kasvaa ajan kuluessa, kevyempien partikkeleiden haihtuessa. (Fingas 2013, 39). Öljy tulee ottaa mahdollisimman hyvin haltuun ennen kuin se uppoaa, sillä uponneen öljyn paikallistaminen on erittäin

vaikeaa, puhumattakaan sen keräämisestä. Biopolttoaineista pyrolyysiöljy on vettä tiheämpää (ks. kuva 4), ja sen veteen liukenematon fraktio vajoaa. Uponneen öljyn poistamiseen vedenpohjasta voidaan käyttää nuotta silloin kun se on pumpattavaksi liian jäykkää (Cedre 2004, 30; Colcomb et al. 2009, 8; RRT & NWAC 2013, 42). Esimerkiksi Kuopion Kelloniemen öljyvahingossa 2006 raskasta polttoöljyä nuotattiin vedenpohjasta tiheäsilmäisellä verkolla (Asikainen 2006; Koponen 2008). Vajonnut öljy saattaa liikkua pohjaa pitkin ja olla siirtynyt pois havaitusta paikasta siinä vaiheessa, kun torjuntakalusto saadaan paikalle (Colcomb et al. 2009, 2 ja 8). Siksi myös Kelloniemen tapauksessa öljyvahinkoalueen ympärille rakennettiin pohjaan asti ulottuva paalutettu pressu-puomitus (Asikainen 2006; Koponen 2008).



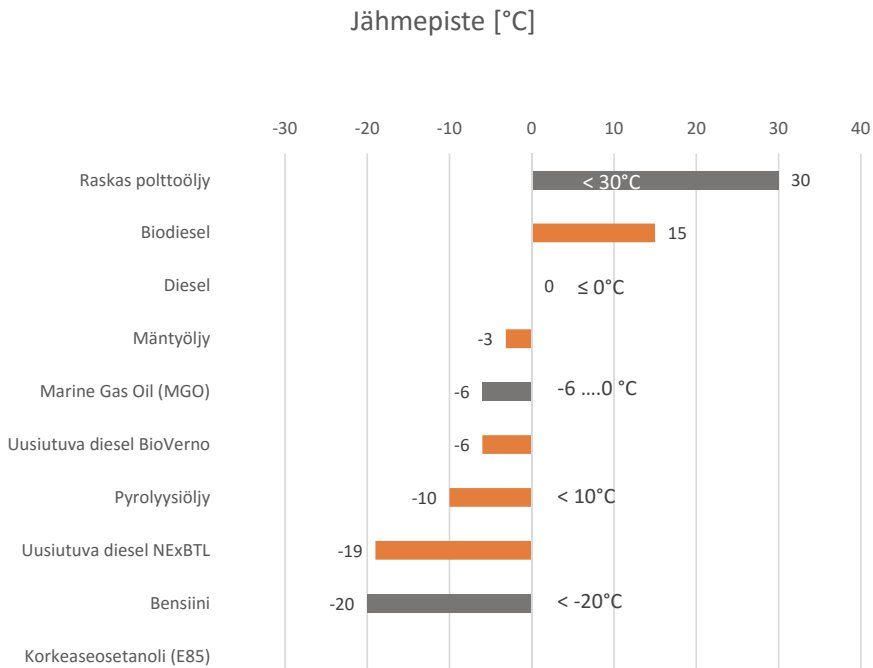
KUVA 4. Biopolttoaineiden suhteelliset tiheydet verrattuna raskaan polttoöljyn, laivadieselin (MGO), dieselin ja bensiinin tiheyteen (Malk et al. 2015, 147; ECHA; Käyttöturvallisuustiedotteet).

Jähmepiste

Jähmepiste on se lämpötila, jonka alapuolella öljy ei enää juokse. Jähmepiste riippuu öljyn vaha- ja asfalteenipitoisuudesta. Kun öljyn lämpötila laskee, vahapartikkelit kiteytyvät, jolloin öljyn juoksevuus vähenee ja öljy muuttuu nestemäisestä puoli-kiinteäksi tai kiinteäksi. (IMO 2005, 10; Fingas 2013, 40). Talviolosuhteissa jähmepisteellä on suuri merkitys: se kertoo esimerkiksi hyytykö öljy geelimäiseksi vai kiinteytykö se joutuessaan kylmään veteen (IMO

2014, 15). Veden lämpötilan ollessa öljyn jähmepistettä korkeampi, öljy on pumpattavaa. Jos jähmepiste on 5–10 astetta veden lämpötilan yläpuolella, öljy todennäköisesti kiinteytyy (Exxon Mobil 2008, 15-5). Syksyllä, kun vesi on lämpimämpää kuin ilma, alkaa öljyn viskositeetti kasvaa heti vedestä poistamisen jälkeen. Väliarastoinnissa saatetaan silloin tarvita lämmitystä öljyn käsitelävyyden säilyttämiseksi. Kun öljy on lämpötilaltaan jähmepisteensä alapuolella, on sen pumppaus ja imu tehotonta. Näissä tilanteissa käytetään mekaanista keräystä esimerkiksi ruoppaajalla tai kaivurilla. Vedenpohjasta ruoppaaminen ei yleensä ole kovin tehokasta, sillä talteen saadussa massassa on yleensä vain vähän öljyä, ja ruopatessa syntyvälle muulle materiaalille tulee järjestää sijoitus- ja käsittelypaikka (RRT & NWAC 2013, 42).

Biodieselin jähmepiste on korkea, ja vaihtelee 0...15 °C välillä sen lähtöainesta riippuen (Knothe 2010, 366), kun taas esimerkiksi MGO:n jähmepiste sijoittuu -6...0 °C:n välille, ja pyrolyysiöljyn jähmepiste on -10° C. Pyrolyysiöljy jäätyy noin -30 °C -asteessa (Bradley 2006, 52). Jäätyminen havaittiin myös ÄLYKÖ-hankkeen demonstraatiokokeen kylmätestissä, jossa pyrolyysiöljy jäätty veden mukana jo -20 °C lämpötilassa. Myös NExBTL:n vesipitoisempi emulsio jäätty.



KUVA 5. Biopolttoaineiden jähmepisteet verrattuna raskaan polttoöljyn, laivadieselin (MGO), dieselin ja bensiinin arvoihin. Korkeaseosetanolin jähmepiste ei ole määritettävissä. (ECHA; Käyttöturvallisuustiedotteet).

Samepiste on lämpötila, jossa ensimmäiset kiteet muodostuvat (Knothe 2010, 366). Samepiste voi olla huomattavasti jähmepistettä korkeampi. Esimerkiksi laivadieselin DMB-laadun samepiste on +12°C jähmepisteen ollessa -21°C. Samepistettä alemmassa lämpötilassa parafiinit alkavat kiteytyä ja vahamaisuus tukkii suodattimia. (Hartikka 2015.) Jähmepiste vaikuttaa öljyntorjuntaan, mutta myös samepisteellä on vaikutusta silloin, kun keräysjärjestelmässä on hienojakoisia filttäreitä, tai kun skimmeri on herkkä viskositeetin vaihteluille. Parafiinien kiteytymisen vaikutuksesta skimmerien keräystehokkuuteen ei ole varmaa tietoa, ja sitä tulisi arvioida kokeellisesti. Myös kylmäkeräysjärjestelmien tartuntaa tulisi testata.



KUVA 6. Laivadieselin DMA- ja DMB-laatujen parafiinien kiteytyminen samepisteessä (kuva Tuukka Hartikka 2015).

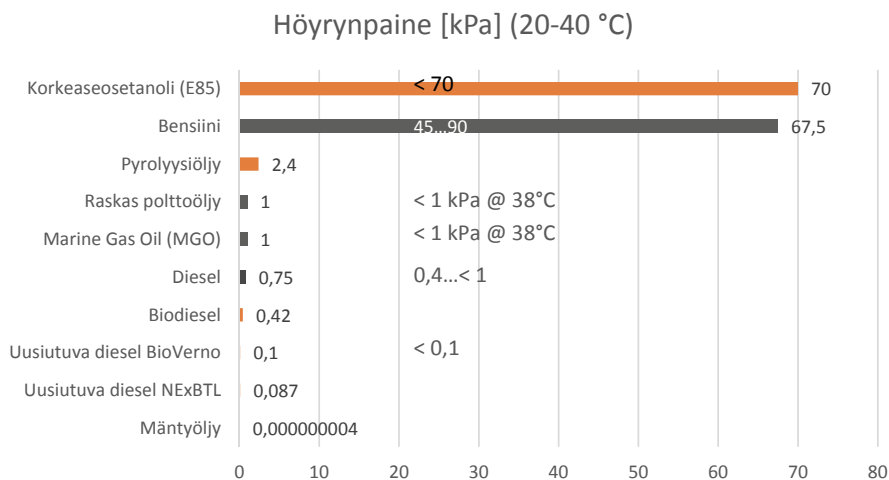
Liukeneminen

Liukenemisella ei perinteisillä fossiilisilla öljyllä ole öljyntorjunnan suhteen suurta merkitystä (Fingas 2013, 51), mutta biopolttoaineista osa liukenee öljyntorjunnan ulottumattomiin. Pyrolyysiöljy on tässä haastavin, sillä se sisältää itsessään 20–30 painoprosenttia vettä, ja liukenee veteen nopeasti. ÄLYKÖ-hankkeen demonstraatiokokeiden perusteella lämpötilalla ei havaittu olevan vaikutusta liukoisuuteen. Myös korkeaseosetanolin etanoli liukeni veteen erittäin nopeasti, mutta bensiiniosuudesta irtoavat hiilivedyt nousivat kalvoksi veden pinnalle. Biodiesel taas ei ole veteen liukeneva (DeMello et al. 2007). Demonstraatiokokeessa diesel

ja NExBTL nousivat sekoittamisenkin jälkeen takaisin kalvoksi vedenpinnalle. Mäntyöljy ei sekoitu veteen ja vettä hieman kevyempänä se leviää veden pinnalle.

Haihtuminen

Haihtuminen on merkittävin veteen tai maaperään jäävän öljyn määrään vaikuttava tekijä (Fingas 2013, 44). Bioetanoli ja korkeaseosetanoli E85 ovat haihtuvuudeltaan bensiinin kaltaisia. Vedessä, tai märässä maassa bioetanolin haihtuminen on heikompaa aineen korkean vesiliukoisuuden vuoksi. (ITRC 2011.) ÄLYKÖ-hankkeen demonstraatiokokeissa korkeaseosetanoli ja bensiini haihtuivat avoimesta astiasta kokonaan viikossa, diesel ja NExBTL eivät. Muilla kuin bensiinillä ja korkeaseosetanolilla kylmyys hidasti haihtumista. Biodiesel haihtuu heikommin kuin tavallinen diesel (DeMello et al. 2007), kun taas pyrolyysiöljy on höyrynpaineensa perusteella hieman tavallista dieseliä haihtuvampaa (kuva 7). Pyrolyysiöljyn haihtuvuus on alussa voimakasta, mutta hidastuu kevyempien yhdisteiden poistuttua (Qiang et al. 2009, 1376–1383).



KUVA 7. Biopolttoaineiden höyrynpaineet (ka) verrattuna raskaan polttoöljyn, laivadieselin (MGO), dieselin ja bensiinin arvoihin. (ECHA; Käyttöturvallisuustiedotteet).

Puomituksen tarkoituksena on rajata ja estää öljyä leviämstä, sekä samalla rikastaa sitä tehokkaasti kerättävään kerrospaksuuteen. Samalla lautan haihtuminen hidastuu, koska paksussa (> 4 mm) öljykalvossa haihtuvien yhdisteiden diffuusiomatka kalvon pinnalle on pidempi. Haihtuminen voi joissain tapauk-

sisä hidastua myös heikommin haihtuvien yhdisteiden, kuten vahojen ja hartisien, muodostaessa kuoren öljyn pinnalle. Tätä tapahtuu pääasiassa maalla, silloin kun öljy ei pääse veden kanssa kosketuksiin. (Fingas 2013, 45.) Kuoren syntyminen havaittiin myös ÄLYKÖ-hankkeen maaperädemostratiokokeissa pyrolyysiöljyllä.

Haihtuminen muuttaa öljyn ominaisuuksia merkittävästi. Haihtumisen merkitystä voidaan kuvata seuraavalla, fossiilisiin öljyihin kohdistuvalla esimerkillä: jos öljystä haihtuu 40 %, sen viskositeetti kasvaa tuhat-kertaiseksi, sen tiheys kasvaa kymmenkertaiseksi ja leimahduspiste 400 %:ia (Fingas 2013, 45). Samanlaiset ”peukalosäännöt” ovat vielä muodostamatta biopolttoaineille.

Dispersio ja emulsio

Emulsion muodostus on haihtumisen rinnalla tärkeä öljyn käyttäytymiseen vaikuttava mekanismi. Emulsiossa vesipisarat sekoittuvat öljyyn. Haihtuminen lisää emulsion muodostumisen mahdollisuutta (Fingas 2013, 48). Emulsoituminen vaikuttaa öljyntorjuntaan kahdella merkittävällä tavalla. Ensinnäkin se lisää nesteen viskositeettia, toisilla öljyillä jopa tuhatkertaiseksi, mutta esimerkiksi viskositeetiltään moottoriöljyn kaltaisilla kolmenkertaiseksi (Fingas 2013, 49). Toiseksi, emulsoituminen kasvattaa öljyn tilavuutta. Molemmat muutokset vaikeuttavat öljyn kerättävyyttä skimmereillä (Fingas 2013, 49), tai jopa estävät sen (RRT & NWAC 2013, 50). Emulsion muodostumisen myötä haihtuminen ja biohajoaminen hidastuvat, ja veteen liukeneminen pysähtyy (Fingas 2013, 49). Biopolttoaineiden biohajoamista on tarkasteltu tarkemmin artikkelissa ”*Biopolttoaineiden käyttäytyminen ja vaikutukset ympäristössä vahinkotilanteessa*”.

Dispersiossa öljypisarat sekoittuvat veteen. Dispersion muodostuminen riippuu öljyalaadusta, sen viskositeetista, pintajännityksestä, sekä sekoittumisenergian suuruuteen vaikuttavista tekijöistä kuten aallokosta. (Fingas 2013, 49-50; IMO 2005, 14.) Biodiesel dispersoituu veteen herkemmin kuin tavallinen diesel, ja myös sen taipumus muodostaa maitomaista emulsiota on merkittävä (DeMello et al. 2007; RRT & NWAC 2013, 49). ÄLYKÖ-hankkeen demostratiokokeen perusteella useimmilla polttoaineilla dispersoituminen ja emulgoituminen olivat voimakkaampia viileässä (+5°C) kuin huoneenlämmössä. Tämä on merkityksellinen havainto, sillä emulgoitumisherkkää öljyä neuvotaan esimerkiksi pesemään kylmällä vedellä, (ja toki pienellä paineella). Lämpimämmän veden käyttö biopolttoaineilla saattaisi siten vähentää dispersoitumisen tai emulgoitumisen riskiä.

Biopolttoaineiden torjunta

Biopolttoaineiden torjunta on vasta kehitysasteella, eikä sopivinta torjuntamenetelmää tiedetä (Hollebone et al. 2008, 929; Cooper et al. 2010, 1071; ITRC 2011, 1). Myöskään konventionaalisten torjuntamenetelmien toimivuudesta ole varmuutta (Cooper et al. 2008, 351). Biopolttoaineiden käyttäytymistä on tutkittu laboratoriotesteillä mm. Cooper et al. (2008) ja Hollebone & Yang (2009) ja tutkimus on kohdistunut pääasiassa soijapohjaisiin biodieseleihin ja etanoliin (ITRC 2011). Tässä artikkelissa esitetyt huomiot bioöljyjen ja -polttoaineiden torjunnasta pohjautuvat kirjallisuusselvitykseen, sekä biopolttoaineiden käyttäytymistä ja imeytysaineiden keräystehoa selvittäneisiin ÄLYKÖ-hankkeen demonstraatiokokeisiin. Molemmat demonstraatiokokeet on raportoitu omina artikkeleinaan tässä julkaisussa. Tehdyt selvitykset osoittivat vahvasti, että torjunta- ja keräysmenetelmien käyttökelpoisuuden varmentamiseksi tarvitaan lisää soveltavaa tutkimusta.

Biopolttoaineiden fossiilisista polttoaineista eroavat kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet saattavat heikentää nykyisten öljyntorjunta- ja keräysmenetelmien tehokkuutta. Käyttökelpoisuus voi heiketä kerättävyyden, mutta myös materiaalien kestävyden näkökulmasta. Biopolttoaineet saattavat vaurioittaa torjunta- ja keräyslaitteistojen muovi- ja kumiosia, kuten tiivisteitä ja letkuja, sekä syövyttää metalleja ja niiden seoksia. (Hollebone et al. 2008, 929; Parker 2010, 10; RRT & NWAC 2013, 50-51.)

Tutkimustietoa biopolttoaineille altistuneiden puomien kestävydestä ei löytynyt. Yleisemmät puomimateriaalit, PVC-muovi ja neopreeni, oli mainittu suojakäsineiden materiaalisoveltuvuutta arvioitaessa muutaman polttoainetyypin kohdalla. Tästä syystä ÄLYKÖ-hankkeen demonstraatiokokeisiin sisällytettiin puomimateriaalin altistuskoe. Kokeessa ei havaittu muutoksia puomin pintamateriaalissa, mutta öljyn pääseminen leikatun puominäytteen sisä rakenteisiin aiheutti rakenteen pettämisen. Koe ei siten kerro todellista materiaalikestävyttä, sillä torjuntatilanteessa altistus kohdistuu puomin pintaan sen keskiosassa. Altistusaika torjuntatilanteessa on lyhyt, mutta biopolttoaineen peseminen tarkasti pois välineistä voi olla vaikeaa. Tulisi selvittää, miten puomin saumoihin ja painanteisiin jäävät ainejäämät vaikuttavat materiaalin vetolujuuteen, ja näin saada esille pidempiaikaisen varastoinnin vaikutus puomin uudelleenkäyttökelpoisuuteen. Altistuskokeet olisivat tarpeen myös muille torjuntavälineille sekä erilaisille välivarastointijärjestelmille. Sen lisäksi, että biopolttoaineet haurastut-

tavat kumeja ja muoveja sekä syövyttävät tiettyjä metalleja, aiheutuu materiaalien yhteensopimattomuudesta myös muuta haittaa. Laitteistossa mahdollisesti olevat messinki-, pronssi-, kupari-, lyijy-, tina- ja sinkkiosat kiihdyttävät biopolttoaineiden hapettumista ja muodostavat liukenematonta sakkaa tai geeliä, mikä saattaa aiheuttaa pumppu- ja putkistotukoksia. (S.L. Ross Environmental Reseach Ltd 2010, 5; ITRC 2011, 33; RRT & NWAC 2013, 49.) Näiden ilmiöiden voimakkuutta ja merkitystä öljyntorjuntaoperaation keräys- ja siirtojärjestelmien mittaluokassa tulee selvittää.

Imeytysaineiden tehosta löytyi erilaisia, osin ristiriitaisiakin tietoja. ITRC:n mukaan (2011, 36) imeytyspuomit ja muut imeytysaineet ovat pääsääntöisesti suunniteltu imemään öljynkaltaisia aineita, ja eivät tästä syystä toimi biopolttoaineille. Vedessä biopolttoaineen liukeneminen tai alkoholin erottuminen edellyttää vettä absorboivan imeytysaineen tai -puomin käyttöä (ITRC 2011, 36), joka voi johtaa imeytystuotteen vajoamiseen. S.L. Ross Environmental Reseach Ltd:n (2010, 9) mukaan imeytysaineet tehoavat biodieseleihin, samoin kuin saman viskositeetin petroleumpohjaisiin dieseleihin. Imeytysteho vaikuttaa riippuvan pääasiassa siitä, onko imeytysaine synteettinen, orgaaninen vai epäorgaaninen. Cooper et al. (2010) toteuttamien imeytysainetestien (viisi eri imeytysainetta neljälle eri polttoainelaadulle; soijapohjainen biodiesel, taliöljy, hydrattu kasviöljy ja rapsiöljy, verrattuna dieseliin 5 ja 22 asteen lämpötiloissa) johtopäätöksenä todetaan, että imeytysaineet toimivat paremmin biodieselseoksille kuin perinteiselle dieselille, ja että imeytysaineiden keräystehokkuus kasvoi öljyn viskositeetin kasvaessa, sekä lämpötilan laskiessa (resultantti viskositeettiin). Testien mukaan synteettiset imeytysaineet voittivat orgaaniset aineet, jotka taas voittivat epäorgaaniset vastaavat. (Cooper et al. 2010, 1083.) Myös ÄLYKÖ-hankkeen demonstraatiokokeissa synteettiset imeytystuotteet toimivat keskimäärin paremmin useimmille testatuille polttoaineille. Tulokset on raportoitu artikkelissa ”Öljyntorjuntamateriaalien testaus biopolttoaineilla laboratoriossa”. Seuraavassa on koottu yhteen biopolttoaineittain havaintoja polttoaineen torjuntaan vaikuttavista ominaisuuksista sekä torjuntamenetelmistä.

Biodieselin ja muiden kasviöljyjen torjunta

Biodieselit ovat kasviöljyistä, esimerkiksi rapsiöljystä tai palmuöljystä, tai eläinrasvoista valmistettuja polttoaineita. Puhtaita biodieseleitä (B100) pidetään melko vaarattomina ympäristölle, eivätkä ne normaalilämpötilassa aiheuta vaaraa ihmisille heikon haihtuvuutensa takia. Alhainen höyrynpaine indikoi myös alhaista

syttymisriskiä. Kuitenkin biodieselseokset (<B20 eli 20 %:seen seossuhteeseen asti petrodieseleihin sekoitettuna) ovat syttyviä nesteitä. Sekoituksen petroleumosa aiheuttaa hengitettynä tai nieltynä karsinogeeniriskin. Suojautumisvälineeksi suositellaan öljyntorjunnassa muutoinkin käytettyjä PPE-varustetasoa. Käsineiksi soveltuvat neopreeni-, nitrili- tai PVA-käsineet. Hengityssuojain on välttämätön jos on mahdollisuus aerosolien tai öljysumun muodostumiseen. (S.L. Ross Environmental Reseach Ltd 2010, 3-4; RRT & NWAC 2013, 51.)

Biodieseleillä on erityisen korkea kemiallisen keuhkotulehduksen riski (RRT & NWAC 2013, 51). Öljysumua muodostuu erityisesti pesutekniikoita käytettäessä (ks. kuva 8). Pesutekniikoita on hyödynnetty fossiilisten polttoaineiden huuhtomisessa irti rantamateriaalista (Fingas 2013, 181). Nämä öljyt eivät ole vesiliukoisia - kuten ei biodieselkään - jolloin niiden kulkeutuminen veden mukana syvemmälle maaperään ei aiheuta suurta riskiä. Toisaalta biodieselin irrottaminen saattaa edellyttää liuottimien tai tensidien käyttöä (ITRC 2011, 76), jolloin likaantuneen maa-aineksen poisto lienee pesua järkevämpi vaihtoehto.



KUVA 8. Öljyn huuhtomisessa irti rannan maa-aineksesta syntyy vaara öljysumulle (kuva Mellinda Pascale 2010).

Pintavesissä rajoitus- ja imeytyspuomit toimivat biodieselille (ITRC 2011, 76). Suurin osa imeytysaineista kerää biodieseliiä samalla tehokkuudella kuin muita saman viskositeetin öljyjä (Cooper et al. 2008, 352; Hollebhone 2009, 27). Imeytysaineiden tehoa ei kuitenkaan ole testattu emulsoituneelle biodieselille, eikä lähellä jäähmepistettä olevalla biodieselille (Hollebone 2009, 27). Biodieselin hyytyminen geelimäiseksi kylmässä heikentää kerättävyyttä, ja voi aiheuttaa hait-

taa myös varastoinnissa. Biodiesel myös dispersoituu huomattavasti helpommin kuin petroleumdieselit, ja muodostaa valkoista, maitomaista emulsiota (Hollebone 2009, 16; S.L. Ross Environmental Reseach Ltd 2010, 9). Biodieselin emulsoitumisen arvioidaan estävän skimmerien käytön (RRT & NWAC 2013, 50), muutoin skimmerit keräävät biodieseliä hieman tavallista dieseliä paremmin (Hollebone 2009, 26). Erityisesti soijapohjaiset biodieselit soveltuvat hyvin skimmerillä kerätäväksi niiden suuremmasta viskositeettista johtuen (RRT & NWAC 2013, 50).

Cooper et al. (2008) testasivat rumpu- ja hihnaskimmerien soveltuvuutta biodieselin keräämiseen. Verrokkeina käytettiin tavallista dieseliä ja canola-öljyä. Rumpuskimmereistä toinen oli sileä ja toinen uritettu. Kokeessa testattiin kolmea eri pyörimisnopeutta ja kahta eri öljykerrospaksuutta. Biodieselin kerääminen oli tavallista dieseliä tehokkaampaa muilla kuin hihnaskimmerillä, joka suoriutui testissä muutoinkin muita heikommin. Testin suurin keräysteho saavutettiin uritetulla rumpuskimmerillä nopeammalla (30 rpm) pyörimisnopeudella. Myös sileällä rumpuskimmerillä pyörimisnopeuden lisääminen (20 rpm:stä 30 rpm:ään) kasvatti keräystehoa yli 500 %. Näkyvää eroa emulsion muodostumisessa dieselin ja biodieselin välillä ei havaittu. (Cooper et al. 2008, 355–359.)

Biodieselin yhteensopimattomuus tiettyjen metallien (messinki, pronssi, kupari lyijy, tina ja sinkki), kumiin, ja muovien kanssa tulee huomioida skimmerin valinnassa (Parker 2010, 10). Esimerkiksi Seattlessa vuonna 2007 sattuneessa biodieselvahingossa raportoitiin korroosiosta johtuvia vaurioita skimmereissä ja muissa varusteissa (RRT & NWAC 2013, 50–51). Joitakin materiaalien yhteensopimattomuudesta kieliviä havaintoja tehtiin myös imeytysainetestissä, mutta niiden syitä ei lähdetty arvailemaan, vaan todettiin lisätutkimusten tarve (Cooper et al. 2008, 360). Biodieseleiden torjunnassa on käytetty imeytysainien ja skimmerien lisäksi myös alipaineimua (Parker 2010, 10).

Yleisesti kasviöljyille soveltuu skimmerointi sekä imeytysaineet. Molemmat ovat testeissä keränneet kasviöljyjä, kuten canola-öljyä, samalla tehokkuudella kuin petroleumpohjaisia öljyjä kerätyn öljyn vesipitoisuuden ollessa jopa hieman alempi. (Fingas 2015, 88.) Esimerkiksi mäntyöljyä on kerätty harjaskimmerillä hyvin tuloksin myös alhaisissa lämpötiloissa (Muhonen 2014). Kiinteytyville kasviöljyille soveltuu nuokat, verkot ja manuaalinen keräys. Torjunta- ja keräystyössä on huomioitava huonovointisuutta aiheuttavat haihtuvat yhdisteet (Cedre 2004, 34). Nestemäisille kasviöljyille soveltuu puomit ja imeyttäminen. Lisäksi voidaan käyttää pesutekniikoita kylmällä vedellä ja matalalla paineella, joka vähentää emulsion muodostumisen riskiä.

TAULUKKO 1. Yhteenveto biopolttoaineille mahdollisesti soveltuvista torjunta- ja keräysmenetelmistä rinnastettuna muutamien fossiilisiin polttoaineisiin. Yhteensopivuus arvioitu aineiden ominaisuuksia selvittäneiden ÄLYKÖ-hankkeen laboratoriokokeiden ja kirjallisuuslähteiden perusteella. Menetelmien soveltuvuus tulee todentaa käytännön demonstraatiokokeilla.

Öljytyyppi/menetelmä	Puomitus vedessä	Skimmeröinti	Imeyttäinen vedessä	Imeyttäinen maalla	Pumppaus vedestä	Lammikoituneen nesteeseen pumppaus	Mekaaninen poisto
Mäntyöljy	3	3	2		2	2	2
Pyrolyysiöljy	0	0	0	2	1	2 ²	2
Raskas polttoöljy	3	3	1	1	3 ³	3 ²	3
Marine Gas Oil (MGO)	3	2	3	3	1	3	3 ¹
Diesel	3	2	3	3	1	3	3 ¹
Biodiesel	3	3 ³	3	3	3	3	3 ¹
Uusiutuvat dieselit	3	2	3	3	2	3	3 ¹
Korkeaseosetanoli (E85)	0	1	1	3	0	3	3 ¹
Bensiini	3	0	2	3	1	1	2

3- soveltuu
2- soveltuu kohtaisesti
1- soveltuu heikosti
0 - ei sovellu

¹ maa-ainekseen imeytyneenä

² viskositeetti-riippuvainen

³ ei emulsiolle

Öljy pestään veteen päin siihen puomeilla rajattuun alueeseen tai suojattuun maakuoppaan, josta öljy pumpataan pois. (Cedre 2004, 34.) Kasviöljyjen ajatellaan usein olevan vähemmän haitallisia ja toksisia, sekä muita öljyjä helpommin torjuttavissa ja puhdistettavissa. Tämä ei kuitenkaan pidä paikkaansa (Fingas 2015, 88). Vesistöön vuotaneen kasviöljyn on aiemmissa vahingoissa havaittu aiheuttaneen tahriintumista ja happikatoa, ja näin kalakuolemia (Fingas 2015, 86). Lisätietoa kasviöljyjen ympäristökäyttäytymisestä löytyy artikkelista ”*Bio-polttoaineiden käyttäytyminen ja vaikutukset ympäristössä vahinkotilanteessa*”.

Bioetanolin torjunta

Puhdas etanoli liukenee nopeasti veteen (Shaw 2011, 4-9; S.L. Ross Environmental Reseach Ltd 2010, 3). Korkeaseosetanolin liuetessa veteen saattaa syntyä torjuntamenetelmien kannalta kaksi erilaista osaa. Korkeaseosetanolin etanoli sekoittuu ja liukenee veteen erittäin nopeasti. Seoksesta irtoavat hiilivedyt jäävät kellumaan ja muodostavat veden kalvon pinnalle. (Hollebone & Yang 2009, ITRC 2011; Shaw 2011, 7-1.) Jos kalvoa muodostuu, sen poistamiseen voidaan kokeilla skimmereitä ja imeyttämistä (Shaw 2011, 7-10). Kalvon muodostumiseen vaikuttaa veden suolapitoisuus. Meriveden suolaisuus vähentää hiiliveytykomponenttien vesiliukoisuutta, jolloin seoksen hiilivedyt jäävät kellumaan veden pinnalle. Suolapitoisuuden kerrostumat myös estävät polttoainetta sekoittumasta koko vesipatsaaseen. (Shaw 2011, 4-10.) Saimaalla tätä ilmiötä ei voida odottaa. Makeassa vedessä etanolin hajoaminen on nopeampaa kuin merivedessä ja lisäksi veden virtaus nopeuttaa etanolin sekoittumista ja liukenemistä. Virtapaikoissa tapahtuva ”luonnollinen ilmastus” toisaalta vähentää etanolipitoisuutta vedessä. (Shaw 2011, 4-10.)

Vesistössä tapahtuvassa vahingossa veteen liukenevalle etanoliosuudelle ei ole paljoa tehtävissä. Etanolin voidaan antaa haihtua ja dispersoitua itsestään tai nopeuttaa näitä prosesseja sekoittamalla ja ilmastamalla eli lisäämällä hapetta. (Shaw 2011, 7-10.)

Fyysiset esteet, puomit, vallit, ja vesiliukoisille tuotteille soveltuvat imeytyspitkot, soveltuvat estämään etanolin valumista vesistöön, mutta niillä ei ole enää virkaa kun aine on jo päässyt veteen (Shaw 2011, 7-2 ja 7-7). Aikaisemmissa vahingoissa on kuitenkin käytetty pulputuspuomia hyvin tuloksin (Shaw 2011, 7-7). Ojaan esimerkiksi kivistä tehdyt padot eivät estä aineen leviämistä, mutta aiheuttamalla lisää pyörteilyä, ne ilmastavat ja nopeuttavat aineen haihtumista.

(Shaw 2011, 7–7). Samalla se lisää veden happipitoisuutta. Etanolin biohajoamisen aiheuttama hapenkulutus on osoittautunut aiemmissa vahingoissa suuremmaksi syyksi kalakuolemille kuin aineen toksisuus (Shaw 2011, E1).

Ilmastusta on käytetty suuremmilla vesialueilla proomun palopumppujen tai muun pumppukaluston ja rei'itetyn putkiston avulla (Shaw 2011, 7–7). On kuitenkin varottava ettei etanoli pääse pumppausjärjestelmään. Haasteena tehokkaassa ilmastuksen käytössä on sen pystyttäminen riittävän nopeasti.

Biohajoaminen alkaa vähentää etanolin määrää vedessä heti vuodon tapahduttua, kunhan veden lämpötila on yli 10 astetta. Huomionarvoista on, että lämpötila on sama kuin etanolin leimahduspiste. (Shaw 2011, 4–9.) Käyttöturvallisuustiedotteessa korkeaseosetanolin E85 leimahduspisteeksi arvioidaan noin 0 °C. Kylmiä olosuhteita lukuun ottamatta, etanolista aiheutuu siten merkittävä syttymisriski (ITRC 2011, 44; Shaw 2011, 7–2; S.L. Ross Environmental Research Ltd 2010, 3). Syttymisriski voi muodostua esimerkiksi sadevesikaivoissa tai jään alla, ja myös likaantuneesta maa-aineksesta voi haihtua riittävästi kaasuja syttymisriskin muodostumiseen (Shaw 2011, 7–4). Lisäksi korkeaseosetanolin nopean biohajoamisen hajoamistuotteena syntyy metaania. (Hollebone & Yang 2009; ITRC 2011, 41). Metaanin tuotanto voi alkaa viiveellä ja jatkua kuukausista vuosiin, senkin jälkeen kun aine on poistettu (ITRC 2011, 41). Syttymisriski on siten huomioitava kaikissa torjuntatyön vaiheissa, myös kerätyn maa-aineksen välivarastoinnissa. Syttyneen bioetanolin sammuttaminen vedellä johtaa etanolin nopeampaan leviämiseen ja liukenemiseen. Biopolttoaineen paloissa käytettävät sammutusvaahdot on oltava soveltuvia alkoholipohjaisille polttoaineille (ITRC 2011, 35 ja 44; Shaw 2011, 7–1).

Etanolin ja etanoliseosten nopea liikkuminen maassa on estettävä sekä syvyysuunnassa että horisontaalisesti. Erityisesti sade- ja hulevesiviemärit on tukittava, sillä vesiliukoinen bioetanolikulkeutuu muutoin pitkälle. Jos bioetanolia pääsee viemäriin kautta jätevedenpuhdistamolle, se haittaa puhdistamon mikrobipohjaista puhdistusprosessia mm. lieteaktivointia (ITRC 2011, 36.)

Vesiliukoisuus edistää bioetanolin imeytymistä erityisesti kosteaan maahan. Lammikoitunut neste kerätään talteen pumpaamalla ja pienet vuodot imeytetään inerttiin imeytysaineeseen, kuten hiekkaan (Käyttöturvatieote E85; Shaw 2011, 7–4). Imeytyspuomit, jotka on suunniteltu öljyntyyppisille aineille, keräävät etanolialueita ja etanoliseoksia vain silloin, kun vettä ei ole läsnä. Jos vettä on, etanolin vesiliukoisuus edellyttää vettä sitovan absorbentin käyttöä. (ITRC

2011, 36.) Likaantunut maa-aines poistetaan mekaanisesti (Käyttöturvatieote E85; Shaw 2011, 7–4) tai yritetään maa-aineksen ilmastusta (Shaw 2011, 7–2). Maa-aineksen käänöllä voidaan lisätä etanolin haihtumista siten, että pitoisuudet laskevat biohajoamiselle suotuisampiin arvoihin (Shaw 2011, 7–5). Etanolivuodon torjuntataktiikaksi ehdotetaan myös hallittua polttoa (Shaw 2011, 7–1).

Pyrolyysiöljyn torjunta

Pyrolyysiöljyn leviämisen estäminen vesistössä on vaikeaa, todennäköisesti mahdotonta (Donnay 2015). Pyrolyysiöljy poikkeaa merkittävästi perinteisistä öljytuotteista, sillä se on hapan ja monimutkainen seos, joka koostuu ominaisuuksiltaan hyvin erilaisista yhdisteistä. Pyrolyysiöljyn vesiliukoinen osuus liukenee nopeasti veteen, kun taas vettä tiheämpi veteen liukenematon osuus painuu pohjalle. (Bradley 2006, 11.) Konventionaalinen veden pintakerroksissa kelluva öljypuomi ei siten rajoita pyrolyysiöljyn leviämistä. Tuotteen vajoavan osan keräämiseen soveltuvat uppoavan öljyn keräämiseen tarkoitettujen menetelmien huomioiden keräysvälineiden ja -säiliöiden korroosionkestävyys. (Donnay 2015.) Saimaalla pyrolyysiöljyn päätyminen vesistöön voi olla seurausta lähinnä maakuljetuksissa tapahtuvasta onnettomuudesta. Tällaisissa tapauksissa veteen vajoava öljy on todennäköisesti lähellä rantaa matalassa vesisyvytydessä, jolloin uponneen aineen poistaminen onnistuu mekaanisesti. ÄLYKÖ-hankkeen demonstraatiokokeiden perusteella pyrolyysiöljyn painavampi fraktio on hyvin kovaa ja kiinnittyy alustaansa tiukasti.

Veteen liukenevan osan poistamiseen ei oikein ole keinoja (Donnay 2015). Pyrolyysiöljyn vesiliukoinen osa liukenee nopeasti ja on hyvin biohajoavaa – siitä hajoaa 40–50 % 28 päivässä (Holteberg 2014, 5). Pyrolyysiöljyä ei ole määritetty toksiseksi, ja myös happamuus laimenee riittävän suuressa vesimassassa (Bradley 2006, 76). Pienissä vesistöissä vuodolla voi kuitenkin olla merkittäviä haittoja.

Lähdekirjallisuudessa pyrolyysiöljyn vuotoa pidettiin melko harmittomana, tai ainakin fossiilisten polttoaineiden vuotoja vaarattomampana. Esitettiin, että pyrolyysiöljy olisi hyvä laivapolttoaine juuri onnettomuuskäyttötymisensä vuoksi (Bengtsson et al. 2012, 460; Bradley 2006, 7), vaikkakin sen nopea biohajoaminen lisää sludgen ja biofilmin kasvua (Bengtsson et al. 2012, 460). Nähtiin eduksi, ettei pyrolyysiöljy leviä veden pinnalla, vaan erottuu pohjaan

vajoavaksi passiiviseksi fraktioksi sekä veteen liukenevaksi fraktioksi, joka on hyvin biohajoava ja ei-toksinen (Bradley 2006, 7). Valtamerillä vesimassa saattaa riittääkin happaman pyrolyysiöljyn riittävään laimenemiseen, mutta Saimaan vesistöissä seuraukset saattavat olla paikallisesti rankkoja.

Maalla tapahtuvassa pyrolyysiöljyn vahingossa voidaan käyttää maa-aineksen mekaanista poistoa, sillä pyrolyysiöljy pidättyy pintamaahan. Harjakeräinten, kuten harjakauhojen tai rock cleanerien käyttöä rajoittaa todennäköisesti pyrolyysiöljyn pintaan muodostuva kuori (ilmiöstä lisää kappaleessa Haihtuminen sekä ÄLYKÖ-hankkeen maaperä-demonstraatiokokeista kertovassa artikkelissa).

Pyrolyysiöljyn happamuus, pH 2–3 (ECHA), tulee huomioida keräys- ja välivarastointimateriaalien valinnoissa (Bradley 2006, 6 ja 75). Keräys- ja varastointivälineiden tulee olla haponkestäviä ja ruostumattomia (Fortum 2015a). Erittäin happaman tuotteen kanssa toimiessa on kiinnitettävä huomiota myös torjuntahenkilöstön suojautumiseen (Donnay 2015). Useilla nopean pyrolyysin bioöljyn komponenteilla on todettu olevan mutageenisia ja karsinogeenisiä ominaisuuksia, joista on torjujien lisäksi vaaraa myös vesiorganismeille (Holteberg 2014, 5).

Pyrolyysiöljyn pienissä vuodoissa imeyttämiseen suositellaan sahajauhoa tai vermikuliittia, myös montmorilloniitti käy. Kontaminoitunut maa-aines poistetaan. Pienet roiskeet voidaan poistaa 5 % -natriumhydroksidiliuoksella (NaOH). (Conversion and Resource Evaluation Ltd. 2006, 41.)

Uusiutuvien dieseleiden torjunta

Uusiutuvat dieselit, kuten Neste Oilin NExBTL ja UPM Kymmene Oyj:n BioVerno, ovat pääasiassa fysikaalis-kemiallisilta ominaisuuksiltaan tavallisen dieselin kaltaisia, mutta hieman heikommin haihtuvia, sekä nopeammin biohajoavia. (California Environmental Protection Agency; ECHA-tietokanta.) ÄLYKÖ-hankkeen demonstraatiokokeet osoittivat, että NExBTL muodosti veteen kaadettaessa kalvon veden pinnalle dieselin tavoin, ja nousi myös sekoituksen jälkeen nopeasti takaisin kalvoksi veden pinnalle. NExBTL:lle voisi siten toimia samat pintakeräys- ja torjuntamenetelmät kuin dieselille. Hieman tavallista dieseliä heikommin haihtuvana, NExBTL:n pintakalvo voisi säilyä pidempään kerättävänä, eikä NExBTL:n muita nopeammalla biohajoavuudellakaan ole tähän vaikutusta torjunnan alkuvaiheessa. NExBTL hajoa 82 % 28 päivässä (Neste Oil 2017).

Bioöljyjen ja-polttoaineiden välivarastointi öljyvahingossa

Biopolttoaineiden torjunnassa tulee kiinnittää erityistä huomioita keräästyössä ja vahinkojätteen välivarastoinnissa sattuvien toissijaisten vahinkojen välttämiseen. Vahinkoja voi aiheutua yhteensopimattomista materiaaleista, ja laiterikoista johtuvista vuodoista (ITRC 2011, 22). Skimmerien ja välivarastointisäiliöiden tulee olla korroosion kestäviä. Osa biopolttoaineista on happamia, kuten pyrolyysiöljy. Korroosiovaaraa lisää mm. biopolttoaineiden hygroskooppisuus. Geeliytyminen ja mikrobiologinen kasvu tukkii suodattimet, ja esimerkiksi paineenalennusventtiilit (ITRC 2011, 27–28). Biopolttoaineilla mikrobiologinen kasvu saattaa olla hyvinkin voimakasta. Lisäksi vuotovaaraa lisää kumitiivisteiden ja muiden muoviosien haurastuminen ja vuotaminen.

Jos tankissa käytetään nestepinnan päällä kelluvaa uimuria, on varmistuttava että sen materiaali kestää bioöljyä tai muita biopolttoaineita. Säiliöiden ylitäytön välttämiseksi nestepintaa on seurattava silmin. Ongelmia on esiintynyt myös öljynerotuskaivoissa ja ylivuotokaukaloissa, joista vesi eri faaseiksi erottamisen jälkeen johdetaan edelleen pois. Muiden öljyjen kanssa vesi erottuu omaksi faasikseen, mutta bioöljyn vesiliukoisuuden ja hygroskooppisuuden vuoksi niitä on vaikea erottaa. Tavalliset tankinpeilaus- ja vesivuotoanturit eivät siten välttämättä toimi. (ITRC 2011, 27–31.) Varastointiin liittyviä haasteita on raportoitu lähinnä biopolttoaineiden tuotannossa ja jakelussa. Haittojen merkittävyyttä torjuntatilanteen varastointiin tulee arvioida.

Maadoittamien ja pumppausnopeudet on huomioitava vaikkakin staattisen sähköön kertyminen ei ole biopolttoaineilla niin suuri ongelma kuin petroleumpohjaisilla tuotteilla, sillä niillä on suurempi sähkönsäilyvyys (ITRC 2011, 28). Kylmänä vuodenaikana on lisäksi oltava lämmitysmahdollisuus, sillä jähmettyminen tai geeliytyminen on osalla polttoaineista todennäköistä. (ITRC 2011, 24–26.)

Biodieselin välivarastointi

Suurin osa dieselöljyn varastointiin tarkoitetuista tankeista ja säiliöstä soveltuu myös puhtaan biodieselin varastointiin. Soveltuvia tankkimateriaaleja ovat mm. alumiini, teräs, teflon, ja useimmat lasikuidut. Tankeissa tulee kuitenkin välttää

lyijyjuotoksia ja sinkkipinnoitteita, samoin kuin kupariputkia ja messingistä, kuparista tai pronssista valmistettuja liittimiä ja venttiileitä. Polttoaine tai liitin vaihtaa väriä, ja metallin kanssa reagoiessa syntyvä liukenematon sakka tukkii filterit. Liittimet tulee vaihtaa ruostumattomasta teräksestä, hiiliteräksestä tai alumiinista valmisteluihin. (S.L. Ross Environmental Reseach Ltd 2010, 5.)

Puhtaat biodieselit haurastuttavat ja vuotavat läpi suodattimista, letkuista, tiivisteistä, tulpista, sekä muista pehmeistä muoveista, liimoista ja sideaineista. Filtereissä käytetyt sideaineet polypropyleeni, buna (kautsu), nitrilikumi- ja polyvinyylimateriaalit ovat erityisen arkoja puhtaalle biodieselille. Yhteensopivia materiaaleja ovat PTFE (teflon), viton, fluorikumi ja nailon. (S.L. Ross Environmental Reseach Ltd 2010, 5.)

Biodieselsekoitteet (<B20, eli alle 20 % seossuhteet) eivät reagoi pehmeiden muovien tai messinki-, kupari- ja sinkkikappaleiden kanssa yhtä voimakkaasti kuin puhdas biodiesel. Tavanomainen letkujen ja putkiyhteyksien tarkkailu vuotojen varalle riittää. (S.L. Ross Environmental Reseach Ltd 2010, 5.)

Pitkäkestoinen biodieselin tai sen sekoitusten varastointi johtaa hapettumiseen ja korroosiota lisäävien materiaalien, kuten orgaanisten happojen, veden ja metanolin, muodostumiseen (S.L. Ross Environmental Reseach Ltd 2010, 7). Biodieselit ovat myös yleisesti petroleumpohjaisia öljyjä alttiimpia mikrobiselle hajoamiselle. Maaperään joutuneelle polttoaineelle tämä on eduksi, sillä aine hajoaa nopeammin. Varastoitaessa tämä ominaisuus on kuitenkin haitallinen, sillä mikrobinen kontaminaatio säiliössä tukkii filterit ja putkiyhteudet. Mikrobikasvuston syntyminen ei ole tavatonta petroleumpohjaisten tuotteidenkaan kanssa, mutta ongelma vaikuttaa olevan huomattavasti suurempi biopolttoaineilla. Korroosiovaaraa lisää biopolttoaineiden hygroskooppisuuden ja mikrobiologisen kasvuston lisäksi petroleumtuotteita korkeampi sähkön johtavuus ja taipumus ruosteen, kuonan ja sedimenttien liottamiseen (S.L. Ross Environmental Reseach Ltd 2010, 8-9; ITRC 2011, 24–26.), ja tästä syystä pitkään, muutamia kuukausia varastoivat biodieselit tulee stabiloida (S.L. Ross Environmental Reseach Ltd 2010, 7).

Biodieselit, erityisesti yli 20 % seossuhteeseen, ovat hygroskooppisia eli kosteutta sitovia, ja voivat pidättää 1200–2500 ppm vettä. Tästä syystä myös kerätty biodiesel tulee sisältämään vettä, mikä nopeuttaa huomattavasti öljyn biohajoamista ja happamoitumista. Vesi biodieseliä sisältävässä tankissa johtaa erittäin happamien olosuhteiden muodostumiseen, mikä lisää metallien korroosiota ja

nopeuttaa mikrobikasvua. Vedestä ja mikrobikasvusta johtuvaa biodieselin varastosäiliön sisäistä korroosiota ei voida estää tavanomaisilla ruostesuojauksella, kuten katodisuojauksella. (S.L. Ross Environmental Reseach Ltd 2010, 9.)

Biodieselit toimivat myös liottimena. Jos öljynkeräykseen tai varastointiin käytetään laitteistoa tai säiliötä, jossa on aikaisemmin ollut raakaöljyä tai muuta saostuvaa öljyä, biodiesel liuottaa kerrostumat liikkeelle. Ilmiötä ei ole havaittu alle B5-seossuhteilla, mutta B20 tai korkeammat seossuhteet irrottavat saostumat nopeasti, etenkin silloin kun tankissa on huomattavasti sedimentoitunutta kerrostumaa. (S.L. Ross Environmental Reseach Ltd 2010, 7.) Liuotinominaisuutta on käytetty myös fossiilisten öljyjen torjunnassa siten että vahinkoöljyjä on pesty irti maa-aineksesta biopolttoaineilla (RRT & NWAC 2013, 50).

Torjuntaoperaatiossa tehokkaimpia keinoja biodieselin välivarastoinnissa esiintyvien ongelmien välttämiseen ovat hyväkuntoiset ja puhtaat terässäiliöt, sekä veden mukaan tulon estäminen öljyä kerätessä. (S.L. Ross Environmental Reseach Ltd 2010, 8.) Käsiteltävyyden takaamiseksi lämmitettävät tankit voivat olla tarpeen estämään biodieselin geelityminen kylmässä (ITRC 2011, 26; S.L. Ross Environmental Reseach Ltd 2010, 7).

Bioetanolin varastointi

Etanolin varastoinnissa on huomioitava hajoamistuotteena syntyvän metaanin vaaratekijät. Lisäksi etanolin hygroskooppinen taipumus lisää putkiston korroosiota. (ITRC 2011, 20 ja 41.) Etanolilla ja etanoliseoksilla on hyvä sähkönjohtokyky (Shaw 2011, 5-10). Maadoittaminen ja pumppausnopeudet on huomioitava vaikkakin staattisen sähkön kertyminen ei ole niin suuri ongelma kuin petroleumpohjaisilla tuotteilla (ITRC 2011, 28).

Pyrolyysiöljyn välivarastointi

Pyrolyysiöljyn syövyttävyyys ja happamuus tulee huomioida varastoinnissa ja kuljetuksessa. Välivarastointiatankit ja putkistot tulee olla ruostumatonta terästä (304 Stainless steel), PVC:tä, tai polytetrafluoroetyleenä (PTFE) eli teflonia (Bradley 2006, 7 ja 76). Fortumin Otsolle suositellaan käyttöturvallisuustiedotteessa ruostumatonta terästä (20M04, 304L, 316L, 403) ja HDPE-, PP-, PE- ja PTFE-muoveja.

TAULUKKO 2. Yhteenveto bioöljyille ja -polttoaineille soveltuvista (X) ja epäsoveltuvista (-) materiaaleista, siltä osin kun tietoa saatavilla.

Öljytyyppi/ materiaali	Ruostuma- ton teräs	Alu- miini	Kupari, mes- sinki, pronssi	Lyijy, sinkki, tina	PVC	PTFE	HDPE	PP	PE	EPDM	Suojakäsineet	Imeytysaine
Pyrolyysiöljy	X ¹	-	-	-	X	X	X	X	X	X	Nitriilikumi	Sahanpuru, vermikuliiitti
Biodiesel	X	X	-	-		X		-			Nitriilikumi, neopreeni, PVA	Synteettiset
Uusiutuvat dieselit												
Korkeaseos- etanoli (E85)											Nitriilikumi, neopreeni	vettäsitova

¹ < 20 vrk va-
rastointiin

Myös ruostumattomassa teräksessä (304L stainless steel, 316L stainless steel ja 409 stainless steel) on havaittu säröilyä ja pistekorroosiota noin 20 vuorokauden pyrolyysiöljylle altistuksen jälkeen (Keiser et al. 2013, 3). Korroosiotestit tehtiin 50 asteessa nopean pyrolyysin öljylle (Keiser et al. 2013, 3), joka on Suomessakin tuotetun pyrolyysiöljyn tuotantotapa (Fortum 2016).

Pyrolyysiöljy voi metallien syövyttämisen lisäksi haurastuttaa ja turvottaa epäsoivia tiivistemateriaaleja. Tiivistemateriaaleiksi soveltuu eteenipropeenikumi eli eteeni-propeeni-dieeni-monomeeri (EPDM) (Käyttöturvallisuustiedote nopean pyrolyysin bioöljy).

Pyrolyysiöljyn kerrostuminen ei ole merkittävä haitta lyhytaikaisessa varastoinnissa. Pitkäkestoisessa, useamman kuukauden varastoinnissa pyrolyysiöljy voi erottua kahteen faasiin, mutta palautuu sekoittamalla. (Bradley 2006, 7, 52 ja 76.) Pitkäaikaisessa varastoinnissa tankkeihin voi syntyä ali- tai ylipainetta (Käyttöturvallisuustiedote nopean pyrolyysin bioöljy).

Pyrolyysiöljyn jähmepisteen ollessa $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, voidaan öljyä varastoida pakkasesakin, mutta se muuttuminen hyvin jäykäksi estää pumpattavuuden. Tankkien pesuun voidaan käyttää etanolia tai metanolia. (Bradley 2006, 76.)

Yhteenveto ja tutkimustarpeet

Bioöljyjen ja -polttoaineiden torjuntaa vahinkotilanteessa on toistaiseksi tutkittu vähän ja tietoa biopolttoaineille soveltuvista keräysmenetelmistä on saatavilla niukasti. Osittain samat menetelmät vaikuttavat käyttökelpoisilta kuin petroleumpohjaisilla öljyillä. Skimmerit saattavat toimia jopa paremmin biodieselillä kuin tavallisella dieselillä. Toisaalta taas osa biopolttoaineista on erittäin alttiita emulgoitumaan, jolloin kerättävyys heikkenee. Lisäksi haasteita voivat aiheuttaa biopolttoaineiden vesiliukoisuus, geelityminen ja parafinien kiteytyminen. Materiaaliyhteensopivuudesta torjunta-, keräys- ja välivarastointivälineiden kanssa tulee myös varmistua. Biopolttoaineille soveltuvien torjunta- ja keräysmenetelmien käyttökelpoisuutta ja materiaalien kestävyyttä tulisi tutkia lisää demonstraatiokokeilla. Myös skimmerien ja imeytysaineiden soveltuvuutta biodieselille selvittänyt Cooper et al. (2008) tuo esille lisätutkimustarpeen materiaalien yhteensopivuudesta. Tutkimusta tulee laajentaa niin eri polttoainelaatujen, kuin torjunta- ja keräysmenetelmienkin suuntaan.

LÄHTEET

- Asikainen, E. 2006. Pohjois-Savon pelastuslaitos. Presentation. Power point -esitys, 30.5.2006.
- Bask, K. 2016. Meritaito Oy. Suullinen tiedonanto Öljyntorjunnan Demo Days -päivillä 1.6.2016 Puumalassa.
- Bengtsson, S., Fridell, E. & Andersson, K. 2012. *Environmental Assessment of Two Pathways towards the Use of Biofuels in Shipping*. Energy Policy 44. Sivut 451-463.
- Bradley, D. 2006. European Market Study for BioOil (Pyrolysis Oil). Tutkimusraportti. 15.12.2006. Climate Change Solutions. Ottawa, Kanada.
- California Environmental Protection Agency 2010. *Renewable diesel multimedia evaluation*. Draft FINAL Tier I Report. The University of California, Davis and The University of California, Berkeley.
- Cedre 2004. *Vegetable Oil Spills at Sea. Operational Guide*. Centre of Documentation, Research and Experimentation on Accidental Water Pollution. Ranska.
- Colcomb, K., Rymell, M. Lewis, A., Sommerville, M. & McVeigh, A. 2009. *Dealing with spilled oils that sink or are submerged at sea*. Artikkel. 10 sivua. Conference Proceedings. InterSpill. The European Oil Spill Conference and exhibition.
- Conversion and Resource Evaluation Ltd. 2006. *Transport, Storage and Handling of Biomass Derived Fast Pyrolysis Liquids. Compliance with All International Modes of Transport*. Report to Cirad-Foret Programme bois UPR Biomasse Energie TA 10/16. 14.6.2006.
- Cooper, D., Velicogna, D., Obenauf, A. & Brown, C. E. 2008. *Biodiesel Spill Response*. Artikkel. teoksessa Proceedings of the Thirty-first AMOP Technical Seminar on Environmental Contamination and Response, Volume 1. Calgary, Alberta, Kanada 3.-5.6.2008. Sivut 351-360.
- Cooper, D., Hollebone, B., Singh, N. & Tong, V. 2010. *Biofuels Spill Response – Sorbent Testing*. Artikkel. kokoelmateoksessa Proceeding of the Thirty-third AMOP Technical Seminar on Environmental Contamination and Response. Volume 2. Halifax, Nova Scotia, Kanada 7.-9.6.2010. Sivut 1071-1084.
- DeMello, J.A., Carmichael, C.A., Peacock, E.E., Nelson, R. K., Arey, J.S. & Reddy, C. M. 2007. *Biodegradation and environmental behavior of biodiesel mixtures in the sea: An initial study*. Marine Pollution Bulletin 54. Sivut 894-904. Saatavissa <doi:10.1016/j.marpolbul.2007.02.016>

Donnay, E. 2015. DG Environment, Marine Environment Service. Belgia. Sähköpostitiedonanto 24.11.2105.

ECHA (European Chemicals Agency) 2015. Rekisteröidyt aineet, -tietokanta. Saatavissa <<http://echa.europa.eu/fi/information-on-chemicals/registered-substances>>

Exxon Mobil 2008. *Oil Spill Response Field Manual*. Exxon Mobil Research and Engineering. USA.

Fingas, M. 2013. *The Basics of Oil Spill Cleanup*. CRS Press. ISBN 978-1-4398-6246-9.

Fingas, M. 2015. *Vegetable oil spills: oil properties and behavior*. Handbook of Oil Spill Science and Technology, edited by Merv Fingas. Wiley, USA.

Fortum 2016. *Kestävästi tuotettu bioöljy* www-dokumentti <<http://www.fortum.com/countries/fi/yritysasiakkaat/bio%C3%B6ljy/pages/default.aspx> Päivätty 18.10.2016> [Viitattu 13.1.2017]

Hartikka, T. 2015. *Uudet laivapolttoaineet*. Esitys 18.3.2015 Laivojen muuttuva ympäristötekniikka -koulutuspäivillä Espoossa.

Hollebone, B.P., Fieldhouse, B. & Landriault, M. 2008. *Aqueous solubility, dispersibility and toxicity of biodiesels*. International Oil Spill Conference IOSC Proceedings. Sivut 929-936. IOSC API Product No. L47190.

Hollebone; B. 2009. *Biofuels in the environment. A Review of Behaviors, Fates and Effects & Remediation Techniques*. Esitys Freshwater Spills Symposiumissa 2009. St Louis, Missouri.

Hollebone, B. & Yang, Z. 2009. *Biofuels in the Environment: A Review of Behaviours, Fates, Effects and Possible Remediation Techniques*. AMOP. Vancouver, BC, 127.

Holteberg, N. 2014. Mutagenic Potential of Spruce-derived fast Pyrolysis Oil measured by the Ames Salmonella assay. Norwegian University of Science and Technology, department of Biology, Environmental Toxicology and Chemistry.

IMO 2005. *Manual on Oil Pollution. Section IV. Combating Oil Spills*. International Maritime Organisation, London. ISBN 92-801-4177-5.

IMO 2014. *Guide to oil spill response in snow and ice conditions*. First draft 7.6.2014. Owens Coastal Consultant Ltd. DF Dickins Associates LLC.

ITRC (The Interstate Technology & Regulatory Council) 2011. *Biofuels: Release Prevention, Environmental Behavior and Remediation*. BIOFUELS-1. The Interstate Technology & Regulatory Council, Biofuels Team. Washington D.C.

Jätealan huoltovarmuustoimikunta 2015. *Häiriötilanteiden jätehuolto – ehdotuksia lainsäädännön ja jätehuollon järjestämisen kehittämiseksi*. Vahinkojätetyöryhmän raportti 18.5.2015. Helsinki.

Keiser, J.R., Brady, M. P., Connatser, R. M. & Lewis, S. A. 2013. *Degradation of Structural Alloys in Biomass-Derived Pyrolysis Oil*. Oak Ridge National Laboratory.

Knothe, G. 2010. *Biodiesel and renewable diesel: A comparison*. Artikkeliteoksessa *Progress in Energy and Combustion Science* 36, sivut 364-373. Saatavissa <doi:10.1016/j.pecc.2009.11.004>

Koponen, L. 2008. Pohjois-Savon ELY-keskus. CASE: Kuopion Kelloniemen öljyvahinko. Power Point-esitys EnSaCO Saimaa Öljyntorjunnan johtamiskurssilla Lappeenrannassa 29.10.2008.

Käyttöturvallisuustiedote Korkeaseosetanoli, E85. Päivätty 25.2.2014.

Käyttöturvallisuustiedote Marine diesel oil DMB-laatu (MDODMB); marine gas oil (MGODMA, MGO). Neste. Päivätty 14.7.2015.

Käyttöturvallisuustiedote Moottoribensiini 95 E10, 98 E5, rikitön, kesälaatu, talvilaatu; Neste Futura 95 E10, 98 E5, (BE95 E10, BE98 E5), BE95E5. Neste. Päivätty 13.5.2016.

Käyttöturvallisuustiedote Nopean pyrolyysin bioöljy. Fortum Otso®. Fortum. Päivätty 8.4.2015..

Käyttöturvallisuustiedote Raskas polttoöljy 40...420, vähärikkinen; Neste-raskaspolttoöljy LS 40...LS 420 (PORL40,...,PORL420, PORLS40...PORLS420). Neste. Päivätty 12.8.2016.

Malk, V., Sormunen, A. & Halonen, J. 2015. *Bioöljyjen käyttäytyminen ympäristössä ja torjunta vahinkotilanteessa*. Artikkeliteoksessa materiaalit ja ympäristöturvallisuus. Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä. Vuosijulkaisu 2015. Toim. Soininen, H.; Dufva, K. & Kontinen, K. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Sivut 142–153.

Muhonen, J. 2014. Lamor Corporation Ab. Haastattelu 25.9.2014, Porvoo.

Muhonen, J. 2016. Lamor Corporation Ab. Suullinen tiedonanto Öljyntorjunnan perehdytyspäivillä. 14.9.2016. Porvoo.

Neste Oil 2017. Neste uusiutuva diesel – suorituskykyinen ja vähähiilinen biopolttoaine. [www-dokumentti <https://www.neste.com/fi/fi/puhtaammat-ratkaisut/tuotteet/uusiutuvat-tuotteet/neste-uusiutuva-diesel>](https://www.neste.com/fi/fi/puhtaammat-ratkaisut/tuotteet/uusiutuvat-tuotteet/neste-uusiutuva-diesel) [Viitattu 13.1.2017]

Parker, H. 2010. *Biofuels – Response and Planning Considerations*. Esitys 13.4.2010 NRT RRT Co-Chairs Meeting, Mesa, Arizona. US Coast Guard.

RRT (Regional 10 Response Team) & NWAC (Northwest Area Committee) 2013. *Emerging Risks Task Force. Project overview*. Final. Saatavissa <www.rrt10nwac.com/files/factsheets/131217071637.pdf>

Shaw (Shaw's Environmental and Infrastructure Group) 2011. *Large Volume Ethanol Spills – Environmental Impacts and Response Options*.

S.L. Ross Environmental Research Ltd 2010. *Determine if Ohmsett is suitable for researching, testing and training in biofuel spill response*. Final report for US Department of the Interior. Ottawa, Ontario.

Öljyvahinkojen torjuntalaki 1673/2009.

Qiang, L., Wen-Zhi, L. & Xi-Feng, Z. 2009. *Overview of Fuel Properties of Biomass Fast Pyrolysis Oils*. Energy Conversion and Management 50.

ÖLJYNTORJUNTAMATERIAALIEN TESTAUS BIOPOLTTOAINEILLA LABORATORIOSSA

Vuokko Malk & Serge Ryndov

Nestemäisten biopolttoaineiden torjuntaa vahinkotilanteessa on tutkittu vasta vähän. Öljyntorjunnassa hyödynnetään mm. erilaisia öljypuomeja, imeytysmateriaaleja, skimmereitä, valuma- ja jäteastioita sekä pesuaineita joita markkinoilla on tarjolla monenlaisia. Eri öljytuotteet ja biopolttoaineet voivat erota huomattavasti ominaisuuksiltaan. Suomessa merkittävimpiä nestemäisiä biopolttoaineita ovat uusiutuva diesel, bioetanoli ja myös pyrolyysiöljy, jonka käyttäytymisestä ja torjunnasta on toistaiseksi saatavilla hyvin vähän tutkimustietoa. Tämän työn tarkoituksena oli testata Suomen markkinoilla olevien öljyntorjuntavälineiden, kuten imeytystuotteiden, öljypuomien ja säiliömateriaalien imukykyä ja soveltuvuutta eri biopolttoaineille perinteisiin fossiilisiin öljyihin verrattuna.

Testit toteutettiin osana ÄLYKÖ-hanketta ja ne kuuluivat Serge Ryndovin opinäytetyöhön. Testaukset tehtiin Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa syksyllä 2016. Marko Hintsala Knorring Oy:ltä osallistui työhön asiantuntijan roolissa.

Öljyntorjuntamateriaaleja

Öljyntorjunnassa käytetään erilaisia imeytystuotteita, joista yleisimpiä ovat imeytysmatot, -rouheet, puomit ja rannansuojamatot. Oikein valittujen tuotteiden avulla öljyä voidaan imeyttää niin maasta kuin vedestä. Imeytystuotteilla voidaan imeyttää jopa tuhansia litroja öljyä. Esimerkiksi Joutsenon öljyvahin-

gossa keväällä 2016 käytettiin neljä kilometriä rannansuojamattoa suojaamaan ranta-alueita öljyltä (Hintsala 2016).

Imeytystuotteet voidaan jakaa orgaanisiin, epäorgaanisiin ja synteettisiin materiaaleihin. Orgaaniset imeytysmatot valmistetaan kierrätysmateriaaleista, kuten tekstiiliteollisuuden ylijäämätekstiileistä (puhutaan ns. villakangasmatoista) (esim. OilStop-tuotteet, Eripro Oy) tai selluloosasta. Orgaanisia imeytystuotteita ovat myös turve, puuruuheet ja sammal. Ongelmana kuitenkin usein on, että turpeen kaltaiset materiaalit vajoavat vedessä pohjaan lyhyenkin ajan kuluessa. Niiden pois kerääminen on lisäksi hyvin hankalaa, toisinaan mahdotonta (Hintsala 2017).

Epäorgaanisista imeytystuotteista yleisimpiä ovat erilaisista maamineraaleista valmistetut rouheet (esim. kalsiumsilikaattihydraatista valmistettu Sorbix tai hiekasta, kalkista, sementistä ja vedestä valmistettu Absol) (Etra 2016, YTM 2016). Näitä imeytysrouheita on paljon käytössä teollisuudessa ja pelastuslaitoksilla, ja niitä käytetään erityisesti öljyn imeyttämiseen esimerkiksi asfaltilta. Rouheiden raekoko vaihtelee. Mitä pienempi raekoko, sitä suurempi imupinta-ala, mutta toisaalta sitä pölyävämpää tuote on. Nämä mineraalipohjaiset tuotteet ovat imukapasiteetiltaan varsin heikkoja. Yksi kilo mineraalipohjaista raetta imee noin 1 kilon öljyä. (Hintsala 2017.)

Synteettiset polypropeenista valmistetut imeytystuotteet ovat nykyisin yleisimpiä. Tuotteita on tarjolla varsin paljon (esim. Knorring Oy). Tuotteita valmistetaan eri resepteillä eri tarkoituksiin. Osa tuotteista on täysin vettä hylkiviä ja tarkoitettu ainoastaan veteen liukenemattomille öljyille (ns. ”Oil Only”). Osa taas imee myös vettä tai vesiliukoisia kemikaaleja ja liuottimia (ns. ”universal” tai ”chemical”-laadut). Eri tarkoituksiin tarkoitettut tuotteet on yleensä värikoodattu ja eri valmistajat käyttävät pitkälti samoja värejä. Oil only-tuotteet ovat yleensä sinisiä tai valkoisia, universal-tuotteet harmaita ja chem-tuotteet keltaisia. Markkinoilla on eripaksuisia mattoja, imeviä puomeja sekä imeytyslevyjä. Uutuutena Knorring Oy on kehittänyt litteän puomin, jonka imupinta-ala on perinteisiin pyöreisiin puomeihin verrattuna suurempi, ja öljyn karkaaminen puomin alta on paremmin estetty (Hintsala 2017).

Öljyntorjunnassa käytetään myös öljyn rajoittamiseen tarkoitettuja rajaavia puomeja sekä harjakeräimiä eli skimmereitä, joilla öljy voidaan kerätä veden pinnalta (esim. Meritaito Oy, Lamor Oy). Lisäksi öljyntorjuntaan on olemassa kelluvia säiliöitä (esim. KK-Module Oy), joilla skimmerillä kerätty öljy voidaan

kerätä ja kuljettaa maihin. Rantatorjunnassa rannalta käsin kerätty materiaali tai käytetyt imeytysmateriaalit voidaan pakata tarkoitusta varten suunniteltuihin säkkeihin tai monikäyttöastioihin. Nämä monikäyttöastiat toimivat samalla varastointi-, kuljetus- ja jäteastioina sekä lisäksi ne toimivat tarvittaessa valuma-astioina (esim. Knorring Oy).

Laboratoriotestausten toteutus

Öljynimeytysmateriaalien soveltuvuutta eri polttoaineille demonstroitiin laboratoriotesteillä. Materiaalien testaukseen on olemassa standardeja, kuten ASTM. Suomessa imeytystuotteita on vertailtu Pelastusopistolla Kauko Himangan opinnäytetyössä ”Öljynimeytysaineiden taloudellisuus ja käytettävyys pelastustoiminnassa” vuonna 2006 sekä Esa Kaikkosen toimesta 2014 aiheesta ”Imeytysmateriaalien soveltuvuus eräille kemikaaleille”. Marko Hintsala on toiminut ohjaajana ja asiantuntijana molemmissa opinnäytetöissä. Lisäksi Himangan työssä on mainittu myös Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksen vuonna 1995 julkaisema vertaileva tutkimus.

Tässä työssä toteutettiin sekä kvalitatiivisia että kvantitatiivisia öljynimukyvyyn mittauksia. Testeissä mukailtiin materiaalien testaukseen tarkoitettuja standardeja ja aikaisempia tutkimuksia (Himanka 2006, ASTM 1986, Bazargan ym. 2015, Cooper & Gausemel 1993, SAIC Canada 1999, Schrader 1990).

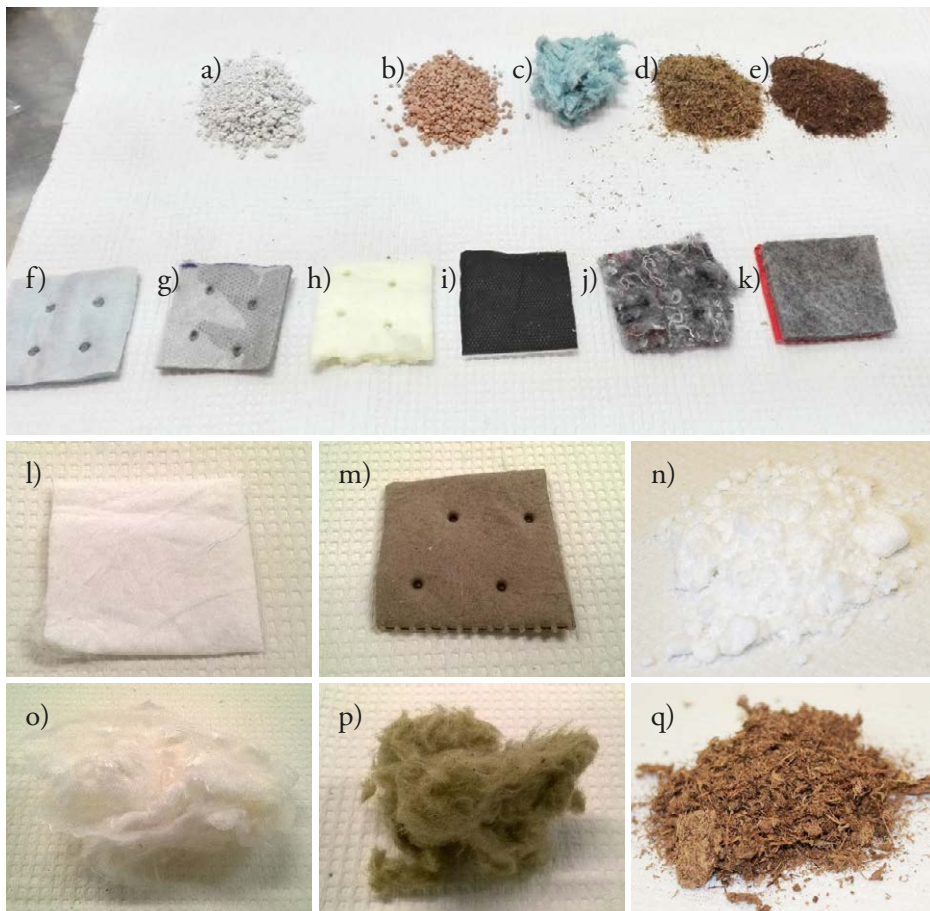
Testattavat polttoaineet olivat diesel, uusiutuva diesel NExBTL, bensiini 95E10, korkeaseosetanoli E85 sekä pyrolyysiöljy. Uusiutuva diesel NExBTL saatiin Neste Oyj:ltä ja pyrolyysiöljy Fortum Oyj:ltä. Muut polttoaineet haettiin jakeluasemilta.

Kvalitatiiviset testit imeytystuotteilla

Kvalitatiivisessa ”screening”-testissä testattiin 17 eri imeytystuotteen (kuva 1) toimivuutta eri polttoaineille sekä käyttäytymistä vedessä ja öljy-vesiseoksessa. Imeytysmateriaalit testeihin saatiin Knorring Oy Ab:lta, Etelä-Savon Pelastuslaitokselta ja Suomen ympäristökeskuksesta.

Ensimmäisessä testissä imeytystuotteenäytteiden päälle (imeytysmatot 5 cm x 5 cm, rouheet/turpeet 1 ruokalusikallinen) pipetoitiin 3 ml polttoainetta. Testissä seurat-

tiin polttoaineiden imeytymisnopeutta ja imeytystuotteiden imukykyä. Havainnot kirjattiin ja valokuvattiin. Toisessa testissä imeytystuotteet (imeytysmatot 4 cm x 4 cm, rouheet/turpeet 1 rkl) laitettiin veteen. Vettä sekoitettiin ravistelijassa 15 minuutin ajan. Tämän jälkeen tuotteet jätettiin veteen 24 tunnin ajaksi. Kolmannessa testissä imeytystuotteet laitettiin diesel-vesiseokseen. Öljykalvon paksuus oli noin 6 mm. Öljy-vesiseosta sekoitettiin ravistelijassa 15 minuutin ajan. Tämän jälkeen tuotteet jätettiin öljy-vesiseokseen 24 tunnin ajaksi. Havainnot kirjattiin ja valokuvattiin.



KUVA 1. Kvalitatiivisessa testissä testatut imeytystuotteet: a) vaalea imeytysrae, b) punertava imeytysrae (Imu Hirmu) c) Knorring Oil Only-imeytysrouhe, d) sammal/turve, e) suomalainen turve, f) Knorring Oil Only-matto, g) Knorring Universal-matto, h) Knorring Chem-matto, i) Knorring rannansuojamatto, j) villamatto, k) villapohjainen orgaaninen matto (Syke), l) valkoinen matto, m) ruskea pig-matto (oil only) n) ORSORB Original-imeytysrouhe, o) imeytystrasseli p) GreenOil-kivillä, q) VAPO turve (kuvat Serge Ryndov ja Vuokko Malk).

Kvantitatiivinen öljynimukyvyn mittaus

Kvantitatiivinen öljynimukyvyn mittaus tehtiin kahdelle imeytystuotteelle (Knorring Oil Only-matto ja Knorring Chem-matto). Mittaukset tehtiin pelkästään öljyssä ja öljy-vesiseoksessa. Imeytysmattopala (5 cm x 5 cm) upotettiin polttoaineeseen tai öljy-vesiseokseen 15 minuutin ajaksi. Öljy-vesiseoksessa oli 150 ml vettä ja noin 8 ml polttoainetta. Öljymäärä optimoitiin dieselin öljynimukyvyn mukaan, ja määrässä huomioitiin imeytysmattopalan paino. Staattisessa öljy-vesitestissä vettä ei sekoitettu. Dynaamisessa testissä öljy-vesiseosta sekoitettiin magneettisekoittajalla.

Imeytysmattopala nostettiin öljystä tai öljy-vesiseoksesta ja paino punnittiin yhden, kahden, kolmen, neljän, viiden ja 15 minuutin kuluttua. Kokeessa tehtiin kolme rinnakkaista toistoa (staattisessa ja dynaamisessa kokeessa kaksi rinnakkaista toistoa). Öljynimukyky laskettiin kaavalla (1).

$$\text{imukyky} = (\text{märkäpaino} - \text{kuivapaino}) / \text{kuivapaino} \quad (1)$$

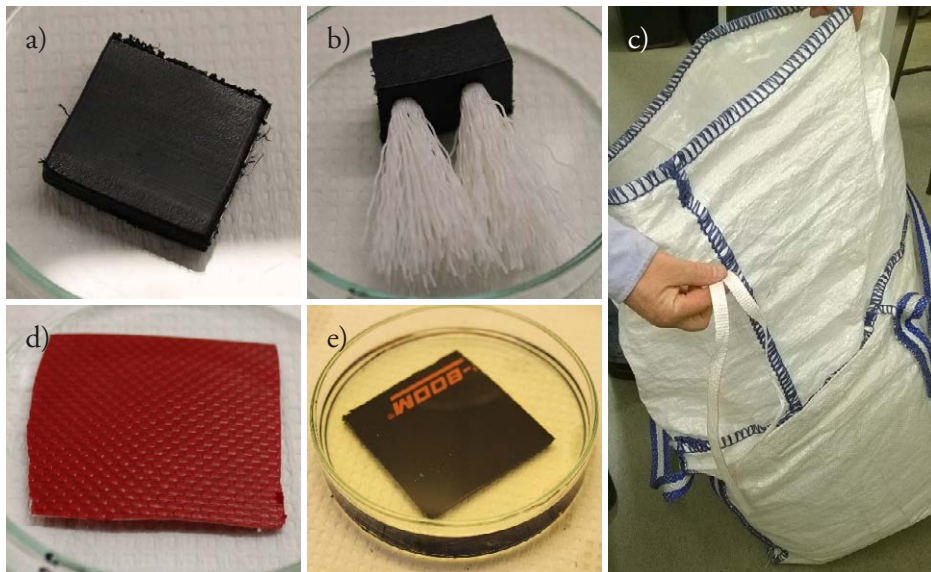
Öljy-vesiseoksesta määritettiin lisäksi veteen jäänyt öljypitoisuus (TPH, Total Petroleum Hydrocarbons) InfraCal 2 ATR-SP analysaattorilla. Analyysi tehtiin laitteen ohjeiden mukaisesti käyttäen uuttoliuottimena heksaania. TPH-pitoisuus määritettiin vain diesel- ja NExBTL-käsittelyistä, sillä InfraCal-analysaattorilla ei voida analysoida haihtuvien öljyjen kuten bensiinin ja korkeaseosetanolin pitoisuutta vedessä, eikä pyrolyysiöljy sisällä öljyhiilivetyjä. Haihtuvien yhdisteiden pitoisuus koeastioiden ilmatilassa määritettiin Ion Science ProCheck Tiger PiD-mittarilla diesel- ja NExBTL-käsittelyistä.

Materiaalien kestävyystestit

Öljyntorjunnassa käytettävien säkki-, puomi-, säiliö- ja harjamateriaalien kestävyyttä biopolttoaineille testattiin altistamalla materiaaleja polttoaineille yhden viikon ajan. Materiaalinäytteet saatiin testeihin öljyntorjunta-alan yrityksiltä ja Suomen ympäristökeskuksesta. Testatut materiaalit olivat: KK-module Oy:n säiliömateriaali, Knorring Oy Ab:n monikäyttöastia, Meritaito Oy:n harjakeräin, Lamor Oy:n öljypuomi ja Suomen ympäristökeskuksen avomeripuomi (kuva 2).

Materiaalinäytteet laitettiin lasisille petrimaljoille tai dekkoihin siten, että ne peittyivät öljyllä kokonaan. Astiat peitettiin altistuksen ajaksi haihtumisen es-

tämiseksi. Altistuksen jälkeen havainnoitiin materiaalien kestävyyttä ja mahdollisia altistuksen aiheuttamia muutoksia.



KUVA 2. Materiaalikestävyystestissä testatut materiaalit: a) KK-module säiliömateriaali, b) Knorring monikäyttöastia, c) Meritaito harjakeräin, d) Lamor öljypuomi ja e) Suomen ympäristökeskuksen avomeripuomi (kuvat Serge Ryndov ja Vuokko Malk).

Tulokset

Kvalitatiivisessa testissä imeytystuotteiden toimivuus eri polttoaineille pisteytettiin valokuvien perusteella (1=heikoin, 3=paras). Kuvat oli otettu muutama minuutti sen jälkeen, kun öljy oli pipetoitu imeytystuotteille. Pisteytys on suuntaa antava. Tulosten vertailun kannalta olisi ollut parempi, jos valokuvat olisi otettu tarkalleen yhtä pitkän ajan jälkeen öljyn lisäyksestä. Kuvassa 3 on esitetty esimerkki pisteytyksestä.

Dieselin, NExBTL:n, bensiinin ja korkeaseosetanolin E85 välillä havaittiin useimilla imeytystuotteilla vain pieniä eroja. Havaintojen perusteella E85 tuli joistakin imeytystuotteista nopeammin läpi kuin dieselit, vaikka läpi tulleen polttoaineen määrä on valokuvien perusteella useimmilla imeytystuotteilla lopulta melko sama. Pyrolyysiöljy poikkesi muista testatuista polttoaineista, sillä imeytyminen oli selvästi hitaampaa. Vettä hylkiviltä imeytystuotteilta pyrolyysiöljy ehtikin tässä koejärjestelyssä usein valua osittain pois näytepalan päältä ennen imeytymistä. Käytännössä nämäkin imeytystuotteet kuitenkin todennäköisesti tehoavat pyrolyysiöljyyn, kun imeytystuote laitetaan vuotaneen öljyn päälle.

Synteettiset imeytystuotteet toimivat keskimäärin parhaiten useimmille testatuille polttoaineille. Syken villapohjainen orgaaninen matto tehoi hyvin kaikkiin testattuihin polttoaineisiin kuivalla pinnalla, mutta matto imi vettä ja upposi vesitestissä. Epäorgaaniset rakeet näyttivät toimivan tässä testissä huonosti. Ne voivat kuitenkin toimia paremmin tilanteessa, jossa imeytystuote laitetaan öljyn tai kemikaalin päälle kuin tässä testissä, jossa öljy sitä vastoin pipetoitiin imeytystuotteen päälle. Rouheen rakenteesta voi olla myös hyötyä joissain tilanteissa, joissa rouhe voi tunkeutua pieniin rakoihin ja estää öljyn kulkeutumisen esim. maaperässä. ORSORB-imeytysrouhe ja GreenOil-kivivilla tehoavat melko hyvin ja tasaisesti kaikkiin polttoaineisiin (Taulukko 1).

TAULUKKO 1. Imeytystuotteiden toimivuus eri polttoaineille kvalitatiivisessa testissä. Pisteytys imukyky (1=heikoin, 3=paras). Pisteytys on suuntaa antava. Imeytystuotteiden kirjaimet, ks. kuva 1.

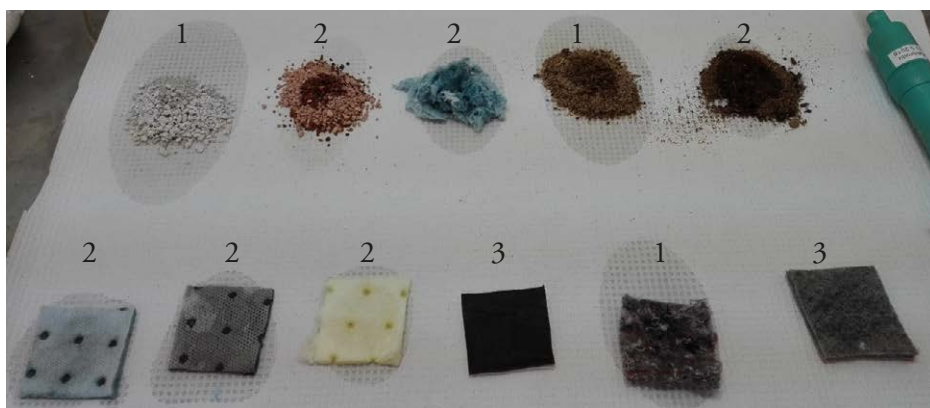
	Diesel	Uusiutu- va diesel NExBTL	Korkea-se- os-etanoli E85	Bensiini 95 E10	Pyrolyy- si-öljy
Vaalea imeytysrae (a)	1	1	1	1/3	2
Punertava imeytysrae (Imu Hirvu) (b)	1	1	2	1-2	2
Knorring OIL ONLY -imeytysrouhe (c)	3	3	2	3	2*
Sammal/turve (d)	2	1	1	1-2	2*
Suomalainen turve (e)	2	2	2	2	1*
Knorring OIL ONLY-matto (f)	2-3/2	2/2-3	2/2-3	2-3	2*
Knorring UNIVERSAL-matto (g)	1/2-3	2	2/2-3	2	3
Knorring CHEM-matto (h)	2-3/2	2	2/2-3	2-3	3
Knorring rannansuojamatto (i)	3	3	3	3	1*
Villamatto (j)	1	2	3	3	2*
villapohjainen orgaaninen matto (Syke) (k)	3	3	3	3	3
Valkoinen matto (l)	1	1	2	1	2
Ruskea pig-matto (OIL ONLY) (m)	2	2	3	3	1*
ORSORB Original-imeytysrouhe (n)	3	2	3	2	2
Imeytstrasseli (o)	3	3	1-2	1	2*
GreenOil-kivivilla (p)	3	3	2	3	2*
VAPO turve (q)	2	1	3	1	2

*Polttoaine valuu pois imeytystuotteen päältä.

Osa tuotteista testattiin kahdesti. Taulukossa esitetty pisteytysarvio molemmista toistoista.

Vedessä Oil Only-matto ja rannansuojamatto pysyivät täysin kuivana 24 tunnin ajan. Universal-matto ja erityisesti Chem-laadun matto sekä villamatto kelluivat veden pinnalla mutta imivät jonkin verran vettä. Toinen villapohjainen imeytysmatto (matto k, kuva 1) upposi vedessä, ja ORSORB sekoittui osittain veteen. Turpeet kelluivat pääosin vedessä, mutta ajan kuluessa osa turpeesta vajosi pinnan alle ja pohjalle. Vesi-diesel-seoksessa kaikki imeytysmatot absorboivat dieselin, mutta kelluivat veden pinnalla. Turpeet absorboivat dieselin ja kelluivat öljy-vesiseoksessa paremmin kuin pelkässä vedessä.

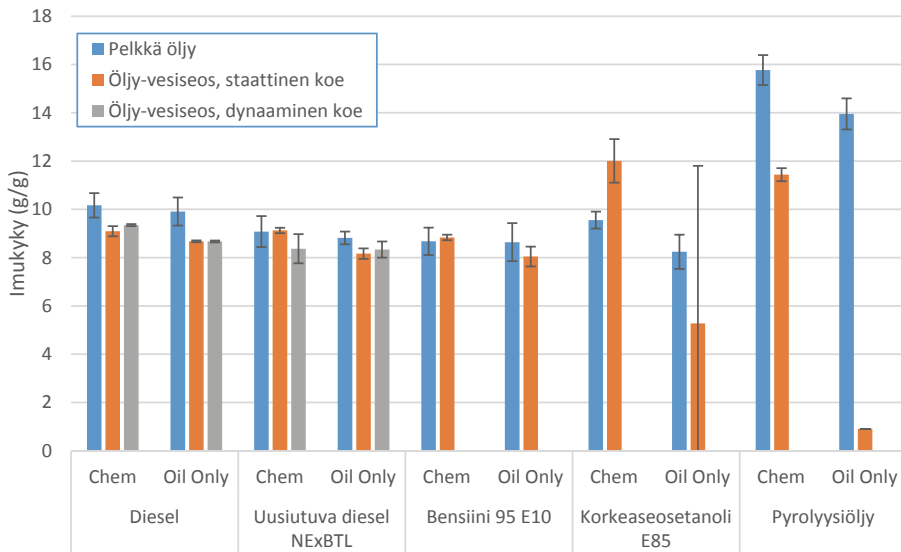
Lähtökohtaisesti veteen sopivat ainoastaan Oil Only-laatuluokan imeytystuotteet. Kaikki muut tuotteet imevät vettä siinä määrin, että niiden käyttöä ei suositella vedestä öljyn imeyttämiseen tai märissä olosuhteissa. Vesipohjaisiin kemikaaleihin tai vesiliukoisiin polttoaineisiin taas tulee käyttää esim. Universal tai Chem-laatuluokan tuotteita. (Hintsala 2017.)



KUVA 3. Kvalitatiivisen testin tulosten pisteyttäminen, esimerkkinä E85. (1=heikoin, 3=paras) (kuva Serge Ryndov).

Knorringin Chem- ja Oil Only-imeytysmattojen kvantitatiivisesti mitattu öljynimukyky (g/g) vaihteli jonkin verran eri polttoaineilla (kuva 4). Imukykyä vertailtiin yksi minuutti öljystä nostamisen jälkeen, jolloin imeytymätön ylimääräinen öljy ehti tippua näytelepalasta, mutta haihtuminen ei ehtinyt vaikuttaa tuloksiin. Pyrolyysiöljy imeytyi korkeamman tiheydensä ja viskositeettinsa ansiosta sekä Chem-että Oil Only-matoilla huomattavasti muita testattuja polttoaineita paremmin. Uusiutuvan dieselin öljynimukyky oli alhaisempi kuin dieselin ja bensiinin vielä tätä alhaisempi. Tulokset selittyvät kuitenkin polttoaineiden tiheyseroilla. Dieselillä, NExBTL:llä ja bensiinillä imeytyminen oli Oil Only ja Chem-matoilla lähes sama, mutta korkeaseosetanolilla ja pyrolyysiöljyllä Chem-maton imukyky oli parempi.

Öljy-vesiseoksessa mitatut imukykyarvot olivat dieselillä, NExBTL:llä ja bensiinillä alhaisemmat tai samalla tasolla kuin pelkässä öljyssä mitatut arvot sekä Oil Only- että Chem-laadun matoilla (kuva 4). Staattisen ja dynaamisen testin välillä ei ollut selvää eroa. Pelkässä öljyssä mitattuja arvoja alhaisemmat imeytyvyysarvot selittyvät todennäköisesti sillä, että öljy-vesitesteissä matto ei uponnut kokonaan öljyyn, kuten pelkällä öljyllä tehdyssä testissä. Öljymäärä oli optimoitu öljy-vesitesteissä dieselin imukyvyn perusteella.

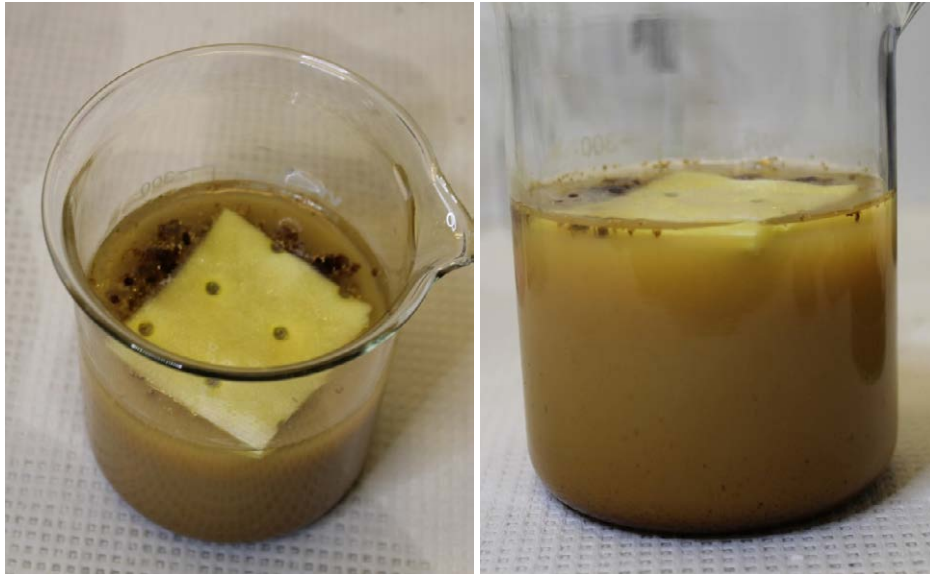


KUVA 4. Knorring Chem- ja Oil only-laadun imeytymattojen öljynimukyky eri polttoaineille (arvot 1 min) pelkässä öljyssä sekä öljy-vesiseoksessa staattisessa ja dynaamisessa kokeessa.

Korkeaseosetanolilla (E85) öljy-vesiseoksessa mitattu imukyky ylitti Chem-laadun imeytymattoilla pelkässä öljyssä mitatun arvon (kuva 4) eli Chem-mattoon imeytyi myös vettä. Oil only-matolla E85-tuloksissa oli huomattavaa vaihtelua rinnakkaisien välillä. Tämä johtui siitä, että toisessa rinnakkaisessa polttoaine kaadettiin hitaammin veteen, jolloin veden pinnalle muodostui selvä öljykalvo, jonka Oil Only-matto imi tehokkaasti. Nopeasti kaadettuna öljykalvoa ei muodostunut, ja matto pysyi kuivana.

Pyrolyysiöljyllä Chem-laadun mattoon imeytyi vain vettä ja pyrolyysiöljyn vesiliukoisia yhdisteitä, mutta imeytystuote ei kyennyt puhdistamaan vettä (kuva

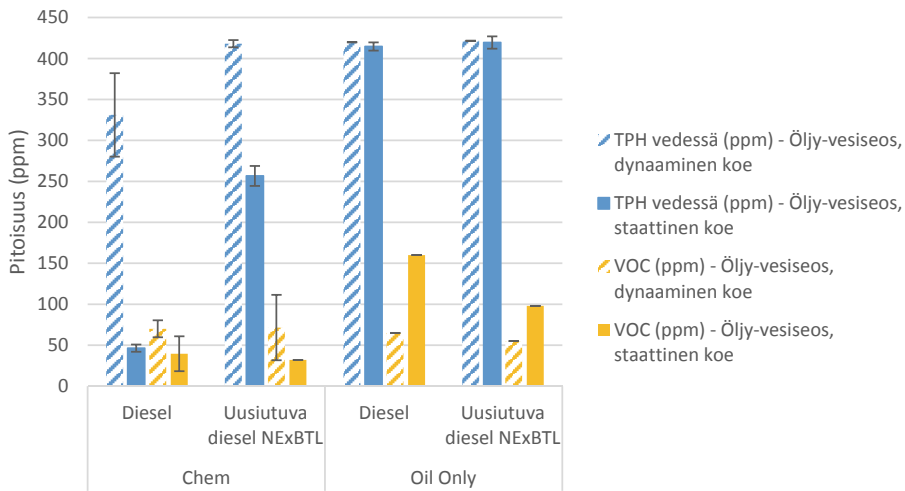
5). Oil Only-mattoon ei imeytynyt juurikaan vettä eikä öljyä. Testi osoitti, että perinteisiä imeytystuotteita ei voida käyttää pyrolyysiöljyvahingon torjunnassa vedessä. Pyrolyysiöljyn imeyttämistä vedestä kokeiltiin myös muilla imeytystuotteilla, mutta tulos oli sama.



KUVA 5. Öljynimeytystuotteet eivät toimi pyrolyysiöljyn imeyttämiseen vedestä, esimerkkinä Knorring Chem-laadun matto pyrolyysiöljy-vesiseoksessa (kuvat Serge Ryndov).

Vedestä InfraCal-analysaattorilla määritetyt diesel- ja NExBTL-pitoisuudet olivat 46-422 mg/l (kuva 6). Testissä käytetyssä vesimäärässä (150 ml) tämä tarkoittaa enimmillään vain noin 0,08 ml öljytilavuutta eli Oil only- ja Chem-laadun matot imeyttivät öljyt tehokkaasti vedestä. Myöskään silmin nähtävää öljykalvoa ei havaittu. TPH- ja VOC-pitoisuudet olivat staattisessa kokeessa Chem-laadun matolla alhaisemmat kuin Oil Only-laadun matolla. Dynaamisessa kokeessa selviä eroja pitoisuuksissa imeytysmattojen välillä ei ollut.

Dieselin veteen jäänyt TPH-pitoisuus oli selvästi alhaisempi kuin NExBTL:n pitoisuus Chem-laadun matolla erityisesti staattisessa kokeessa, mutta Oil Only-laadun matolla polttoaineiden välillä ei ollut eroa. VOC-pitoisuus oli NExBTL:llä hieman alhaisempi kuin dieselillä, johtuen NExBTL:n alhaisemmasta höyrynpaineesta ja haihtuvuudesta.



KUVA 6. Staattisessa ja dynaamisessa kokeessa vedestä öljyn imeyttämisen jälkeen mitatut öljypitoisuudet (TPH, total petroleum hydrocarbons) ja koeastian ilmatilasta mitatut VOC-pitoisuudet. Kokeessa testatut imetykset olivat Knorring Chem- ja Oil only-imeytysmatot. TPH- ja VOC-pitoisuudet määritettiin dieselille ja uusiutuvalle dieselille.

Materiaalien kestävyystestissä avomeripuomin kerrokset irtosivat toisistaan bensiniälistyksessä. Tämä kuitenkin johtui todennäköisesti materiaalipalan leikkauksesta, jolloin bensiini pääsi kerrosten väliin. Muilla polttoaineilla ei kuitenkaan havaittu vastaavaa vaikutusta. Knorringin säkin sisäsäkki muuttui NExBTL-käsittelyssä kirkkaaksi ja läpinäkyväksi, kun se muissa polttoainekäsittelyissä pysyi sameana. Muissa materiaaleissa (KK-module säiliömateriaali, Meritaito harjakeräin, Lamor öljypuomi) ei havaittu muutoksia polttoainelistyksissä. Pyrolyysiöljy värjäsi ja tahrasi materiaaleja, mutta puomi- ja säiliömateriaalit puhdistuivat helposti paperilla pyyhkimällä. Pelkällä vedellä huuhdeltaessa pyrolyysiöljyä jäi materiaaleihin.

Johtopäätökset

Tässä työssä toteutetut demonstraatiokokeet toteutettiin pienessä mittakaavassa laboratoriossa. Tärkeimpänä tavoitteena oli selvittää eroja imeytystuotteiden soveltuvuudessa ja muiden öljyntorjunnassa käytettävien materiaalien kestävyyttä biopolttoaineille. Eri imeytystuotteiden toimivuudessa havaittiinkin joitakin eroja eri polttoaineilla. Synteettiset imeytystuotteet toimivat eri polttoaineille keskimäärin tehokkaammin kuin orgaaniset tai epäorgaaniset tuotteet. Kuivalta pinnalta kuten esimerkiksi maasta imeytettäessä useimmat imeytystuotteet so-

veltuvat myös biopolttoaineille hyvin. Vedestä sen sijaan pyrolyysiöljyn torjuminen imeytystuotteilla ei onnistu. Seisovassa vedessä korkeaseosetanolin (E85) bensiniolosuus muodostaa veden pinnalle öljykalvon, joka voidaan kohtuullisesti imeyttää. Veteen sekoittuvaa etanoliolosuutta ei voida imeytystuotteilla torjua.

Käytännössä voidaan todeta, että paras ja tehokkain tapa varautua öljyn imeytämiseen, varsinkin vedestä, on hyvälaatuinen Oil Only-laatuokan imeytystuote. Tällä tuotteella näyttää olevan ominaisuuksia imeä myös uusiutuvat polttonesteet. Kehitettyjen litteiden imeytyspuomien tehokkuus ja muut edut, kuten iso imupinta-ala, öljyn alta karkaamisen esto ja vähäinen kapillaarisuustarve antaa uutta näkökulmaa öljyntorjunnan tekniikkaan. Näillä tuotteilla on myös huomattavat logistiset edut (Hintsala 2017).

Biopolttoaineet eivät vaurioittaneet testattuja öljyntorjuntamateriaaleja viikon kestäneessä materiaalien kestävyystestissä. Jatkossa tulisi testata myös erilaisten letkujen ja tiivisteiden kestävyys sekä puhdistettavuus biopolttoaineille.

LÄHTEET

ASTM American Society for Testing and Materials 1986. Standard Method of testing Sorbent Performance of Adsorbents. ASTM F 726-81.

Bazargan, A. & Tan, J. & McKay, G. 2015. Standardization of Oil Sorbent Performance testing. Journal of Testing and Evaluation Vol.43, No 6.

Cooper, D. & Gausemel, I. 1993. Oil Spill Sorbents: Testing Protocol and Certification Listing Program. International Oil Spill Conference Proceedings Vol. 1993, No 1, 549-551

Etra 2017. Yrityksen www-sivu, saatavissa: <http://tuotteet.etra.fi/tuotekuvat/e23603575/> Luettu 2.1.2017.

Fingas, M., ed. Handbook of Oil Spill Science and Technology (1). Somerset, US: Wiley, 2014. ProQuest ebrary. Web. 31 October 2016. Copyright © 2014. Wiley. All rights reserved.

Himanka, K. 2006. Öljynimeytysaineiden taloudellisuus ja käytettävyys pelastustoiminnassa. Opinnäytetyö. Savonia ammattikorkeakoulu.

Hintsala, M. 2016. Henkilökohtainen tiedonanto 14.10.2016. Asiantuntija (turvallisuusinsinööri). Knorring Oy Ab.

SAIC Canada 1999. Sorbent Test Program 1999-2000. Interim Report.

Schrader L. Ed 1990. Proposed New Standard Tests for Evaluation of Sorbent Booms in Luqiod Hydrocarbon Spill Remediation: Test Matrix and Commercial Product Comparisons. Jackson: Millsaps College.

YTM 2017. Yrityksen www-sivu. Saatavissa: <http://www.ytm.fi/tuotteet/teollisuuden-kunnossapito/imeytysaineet-absol/> Luettu 2.1.2017.

ALUSÖLJYVAHINGON JÄTELOGISTIikka

Justiina Halonen & Vuokko Malk & Joel Kauppinen

Vahingontorjunnan logistiikka on materiaalivirtojen koordinoinnin lisäksi tietojen ja pääomavirtojen, hankinnan, jakelun, kierrätyksen, huolto- ja tukipalveluiden, varastoinnin sekä kuljetuksen kokonaisvaltaista johtamista. Yksi torjuntatöiden haastavimmista osuuksista on jäte-logistiikan järjestäminen, koska öljyistä jätettä syntyy monin verroin alkuperäistä öljypäästöä enemmän. Suuressa öljyvahingossa käsittelylaitosten kapasiteetit eivät välttämättä riitä heti käsittelemään kaikkea kerättyä jätettä. Toisekseen, jätettä saattaa olla tarkoituksenmukaista koota suuremmiksi eriksi ennen pidempää siirtokuljetusta. Jätettä on siksi tarvittaessa välivarastoitava. Tässä artikkelissa kuvataan alusöljyvahingon logistiikan järjestämistä tukeva malli. Malli pohjautuu rantaviivan lohko-kaistale-jakoon sekä etukäteen kartoitettuihin logistisiin pisteisiin. Logistinen ketju kuvaa rannalta kerättävän jätteen matkan eri käsittelyvaiheiden eli logistisen pisteiden kautta rannalta loppukäsittelyyn.

Logistiikan järjestäminen on ensisijainen tehtävä rantapuhdistukseen valmistautuessa. Työmaan järjestäminen sekä kuljetusten ja huollon puitteet suojauksineen tulee olla valmiina ennen keräysjoukkojen saapumista alueelle. Ilman toimivaa ja etukäteen suunniteltua logistista järjestelmää torjuntatyöt keskeytyvät säiliöiden täyttyessä. Logistiikan järjestämisessä ja logististen pisteiden perustamisessa on tärkeää huomioida lisävahinkojen estäminen. Pisteet pyritään perustamaan yksinkertaisilla toimenpiteillä paikoille, joita on helppoa ylläpitää. Maaperän suojaustoimenpiteet tulee mitoittaa öljyisyyden, lainsäädännön ja ympäristönsuojelullisten näkökohtien mukaan tavalla, joka on myös riittävän nopea ja kustannuksiltaan kohtuullinen. Pisteiden perustamisessa on otettava

huomioon myös alueen ennallistaminen torjuntatöiden päätyttyä. Vahinkojätteen kuljetuksessa noudatetaan jätelakia (2011/646) siirtoasiakirjoineen. Jättekuljetusten dokumentoinnille asetettuja vaatimuksia on tarkasteltu lähemmin artikkelissa ”ICT-teknologia öljyvahinkojätteen kuljetusten ja varastoinnin seurannassa”.

Alusöljyvahingossa logistiikan järjestämiseen sisältyvät vahinkojätteen kuljetusten lisäksi muun muassa torjuntavälineiden ja torjuntahenkilöstön kuljetukset, kaluston huoltokuljetukset (varaosa- ja polttoainehuolto, tarvikkeet) sekä henkilöstöhuolto (majoitus, muonitus, ensiapu, saniteetti). Lisäksi on huomioitava kuljetusten seuraamiseen ja dokumentointiin liittyvät menetelmät, lastaus- ja purkaustoiminnot, eri varastointimuodot ja varastoinnin valvonta.

Arvio vahinkojätteen määrästä ja laadusta

Alusöljyvahingon seurauksena syntyy suuri määrä öljypitoista jätettä. Jätteen määrään vaikuttaa vuotaneen öljytyypin ja -määrän lisäksi ympäristön olosuhteet, kuten se, kuinka laajalle öljylautta virtausten, tuulen ja rannikon muodon takia leviää ja millaista materiaalia öljy kohtaa (kalliota, hiekkaa, rantakasvillisuutta). Jättemäärään vaikuttaa oleellisesti myös vedessä tehtävän torjuntatyön onnistuminen ja valittu keräystapa. Jättemäärään vaikuttavien muuttujien monilukuisuuden vuoksi ennakoarviot jättemääristä ovat karkeita ja vain suuntaa antavia. Niitä kuitenkin tarvitaan torjuntaoperaation kuljetus- ja välivarastointikapasiteetin tarpeen arvioimiseksi.

Vahinkojätteen määrän arviointia aiemmin tapahtuneiden öljyvahinkojen perusteella vaikeuttaa se, että laskelmat on tyypillisesti tehty raakaöljylle tai raskaalle polttoöljylle. Saimaalla liikennöivistä aluksista vain viidessä käytetään raskasta vähärikkistä polttoainetta (Väisänen 2015). Saimaalla todennäköisempi vahinkoaine on siten kevyt polttoöljy. Arviolaskelmia voidaan kuitenkin käyttää suuntaa-antavina tarkempien ennustemallien puuttuessa. Ympäristöviranomaisista koostuvan ELSU-työryhmän (Etelä- ja Länsi-Suomen jätesuunnittelu ja jätehuolto poikkeuksellisissa tilanteissa) arvion mukaan merellä tapahtuva 30 000 tonnin öljyvuoto ajautuessaan 200 kilometrille rantaviivaa tuottaisi jätettä noin 269 500 tonnia (Asikainen 2009, 96). Myös sisävesialueilla öljyvahingosta seuraava jättemäärä voi olla merkittävä. ÄLYKÖ-hankkeessa tehdyn riskinarvioinnin mukaan vesistöön vuotavan öljyvahingon suuruus vaihtelee 30 tonnista (aluksesta) 300 tonniin (maalla olevasta säiliöstä). Saimaalla rannan lä-

heisyydessä sijaitsee öljysäiliöitä, joissa varastointikapasiteetti on suurimmillaan kymmeniä-satoja tuhansia tonneja. Suurimmat säiliöt sijaitsevat Kuopiossa ja Varkaudessa. Lisäksi on useita varastoja, joissa säiliökapasiteetit ovat yli 10 000 tonnia. (Malk & Halonen 2016.) Suojajärjestelmien, kuten varoaltaiden, vuoksi ei ole todennäköistä, että koko säiliösisältö vuotaisi. Saimaalla suurimman realistisesti mahdollisen vahingon määräksi on arvioitu 300 tonnia (Hietala & Lampela 2007, 21). ELSU-työryhmän kertoimia käyttäen sisämaan öljyvahingosta voisi seurata noin 400–4 000 tonnin vahinkojättemäärä. 4 000 tonnia vastaa noin 260 kuorma-autolastillista jätettä.

Seuraavassa on laskettu ELSU-työn (Asikainen 2009, 96) tapaan 300 tonnin öljyvahingon leviäminen 100 kilometrille rantaviivaa (taulukko 1). Laskennassa on oletettu, että öljy leviää voimakkaimmin vaikutusvyöhykkeen keskiosaan reuna-alueiden likaantuessa vähemmän. Lisäksi arvioidaan, että öljystä 25 % kerätään öljyvesiseoksissa, jossa öljypitoisuus on 20 % ja vesipitoisuus 80 %. Öljystä 40 % kerätään maa-ainesten mukana, jonka öljypitoisuus on 10 %. Öljyntorjunnan aikana osa ranta-alueista tulee puhdistaa erityisen tarkasti. Näiltä rannoilta lasketaan muodostuvan keskimääräiseltä öljypitoisuudeltaan 1 %:sta öljyvahinkojätettä. Kaikkea öljyä ei saada talteen. Keräämättä jääneestä öljystä noin 2/3 voidaan arvioida haihtuneen ja 1/3 uponneen tai imeytyneen alueelle, jota ei voi puhdistaa. (Asikainen 2009, 96.) ELSU-laskelmassa esitetyt jättemäärät arvioidaan syntyvän torjuntatyön aikana, ennallistamisvaihetta ei ole huomioitu (Asikainen 2009, 36).

TAULUKKO 1. Arvioidun maksimipäästön eli 300 tonnin öljyvuodon leviäminen 100 rantaviivakilometrille ELSU:n laskentatapaa (Asikainen 2009, 96) käyttäen.

Arvio öljyntorjunnan aikana muodostuvasta vahinkojätteen määrästä 300 t vuodossa				YHT.
Rantaviivan pituus [km]	25	50	25	100
Öljyä leviää laskennallisesti rannikkovyöhykkeelle [t]	50	200	50	300
Öljyä leviää laskennallisesti [kg / rantametri]	2	4	2	8
Öljyvesiseoksissa öljyä [t]	13	50	13	75
Kerättävät 20 % öljyvesiseokset [t]	63	250	63	375
Maa-aineksissa 10 % öljyä [t]	20	80	20	120
Kerättävät maa-ainekset [t]	200	800	200	1 200
Maa-aineksissa 1 % öljyä [t]	1	7	1	9
Kerättävät maa-ainekset [t]	70	720	70	860
Öljyä kerätty yhteensä [t]	33	137	33	204
Ei saada talteen [t]				96
josta 2/3 haihtuu [t]				64
josta 1/3 uponnut tai imeytynyt alueelle, jota ei voi puhdistaa [t]				32
Jätettä kerätty yhteensä [t]	333	1 770	333	2 435

Laskelman mukaan 300 tonnin öljyvahingosta muodostuu 2 435 tonnia vahinkojätettä. Näistä suurin osa, 1 200 tonnia, kerätään voimakkaasti öljyisinä maa-aineksina, lievästi öljyisinä maa-aineksina 860 tonnia ja öljy-vesiseoksina 375 tonnia. Arviolaskelmaan vaikuttavien muuttujien monilukuisuuden vuoksi jättemääräarvio on vain suuntaa antava. Laskelmassa käytetty 300 tonnin öljypäästö on Saimaalla mahdollinen maalta sijaitsevasta säiliöstä. Alusöljyvahingossa syntyviä jättemääriä tarkastellaan jäljempänä osana tämän artikkelin case-tarkastelua.

Vahinkojäte logistiikan näkökulmasta

Alusöljyvahingossa muodostuva vahinkojäte on sekä kiinteää että nestemäistä. Vahinkojäte katsotaan kiinteäksi, mikäli lastaushetkellä nestepintaa ei ole havaittavissa (IMO 2008, 335). Jätteen massa vaihtelee paljon. Öljyntyneen maa-aineksen tiheys saattaa olla 1–3 t/m³ ja öljy-vesiseosten noin 1 t/m³. Saimaalla liikenneivien alusten polttoaineiden tiheys vaihtelee välillä 0,839–0,841 t/m³ (Heikkilä 2016, 18).

Vahinkojätteelle on ominaista suuret viskositeetin muutokset lämpötilan mukaan. Riippuen öljystä ja sen säistymisasteesta, vahinkojäte saattaa olla lastausvaiheessa mitä tahansa nestemäisen öljyn ja kiinteän aineen väliltä. Lastinkäsittely vaikeutuu etenkin kylmässä. Öljy saattaa jähmettyä keräyssäiliöihin, jolloin tyhjentäminen edellyttää lastin lämmittämistä. Esimerkiksi laivoissa käytettävien polttoaineiden. Marine Diesel Oilin jähmepiste on 5 °C tai 10 °C (talvi/kesälaatu) ja vähärikkisen Neste RMB:n 30 °C (Neste Oil 2015). Vähärikkisen Neste RMB jäätyi -20 °C-asteessa ÄLYKÖ-hankkeen demonstraatiokokeissa. Myös toinen uusiutuvan dieselin NExBTL:n emulsioista jäättyi. Lisätietoa demonstraatiokokeista löytyy artikkelista ”*Biopolttoaineiden käyttäytyminen ja vaikutukset ympäristössä vahinkotilanteessa*”. Talvella ongelmia saattaa aiheuttaa myös öljy-vesiseoksen mukana tulevan veden jäätyminen.

Voimakkaasti öljyyntyneiden vahinkojätteiden lastinkäsittelyssä on huomioitava lastin tahrivuus ja valuvuus. Kuormaus- ja purkutilanteet edellyttävät maaperän suojausta. Öljyisten jätteiden kuljetus edellyttää tarkkuutta myös kuormalavojen suojauksen ja tiivyyden osalta, koska lavalle kasatun jätteen öljypitoisuus voi olla niin suuri, että öljy tihkuu maa-aineksen lävitse.

Vaarallista lastia

Torjunnan alkuvaiheessa kerätty ”tuore” öljy on yleensä helposti syttyvää. Esimerkiksi kevyt polttoöljy on palava neste, joka voi syttyä lämmön, kipinöiden tai liekkien vaikutuksesta. Öljysumu syttyy kaikissa lämpötiloissa. (Gråsten 2008, 10.) Muutaman vuorokauden jälkeen haihtumisen myötä jätteen vaaraominaisuudet heikkenevät. Rannanpuhdistusvaiheessa kerätty, maa-ainekseen sitoutunut vahinkojäte ei enää täytä lähtöaineen vaaraluokan 3 ominaisuuksia. Nestemäisenä kerätyllä jätteellä nämä vaaraominaisuudet taas saattavat täytyä, sillä öljy-vesiseoksilla on taipumus varata staattista sähköä. Biopolttoaineilla staattisen sähköön kertyminen ei ole yhtä suuri ongelma kuin petroleumpohjaisilla tuotteilla, sillä niillä on suurempi sähköjohtavuus (ITRC 2011, 28). Öljy on kosketus- tai hengitysaltistuksen kautta syöpövaarallista ihmisille. Esimerkiksi useilla nopean pyrolyysin bioöljyn komponenteilla on todettu olevan mutageenisia ja karsinogeenisiä ominaisuuksia (Holteberg 2014, 5). Uusilla polttoaineilla on lisäksi ominaisuuksia, jotka tulee huomioida kuljetuksessa ja varastoinnissa. Näitä ovat esimerkiksi pyrolyysiöljyn happamuus ja korkeaseo-setanolin E85 biohajoamistuotteena syntyvä metaani (ITRC 2011, 41). Biopolttoaineiden ominaisuuksista löytyy lisätietoa artikkeleista ”*Biopolttoaineiden*

käyttäytyminen ja vaikutukset ympäristössä vahinkotilanteessa” ja ”Bioöljyt ja -polttoaineet öljyntorjunnan näkökulmasta”.

Vahinkojätteen luokittelu vaaraluokkiin on aina tapauskohtaista, sillä öljyjäte ei ole tasalaatuista fysikaalisilta tai kemiallisilta ominaisuuksiltaan, ja sen ominaisuudet muuttuvat ajan myötä. Luokittelu siis muuttuu torjunnan edetessä. Perussääntö on, että vahinkojätettä käsitellään kuten vaarallista ainetta, kunnes torjuntatyönjohtaja muuta päättää.

Kun välttämättömät torjuntatoimet vahingon rajoittamiseksi ja öljyn keräämiseksi on tehty, sovelletaan öljyvahingossa syntyneeseen jätteeseen jätelakia (Öljyvahinkojen torjuntalaki 1673/2009; Jätelaki 646/2011). Jokaisesta kuljettavasta vahinkojätekuormasta tulee laatia siirtoasiakirjat ja loppukäsittelyyn vastaanotetun määrän tulee vastata kerättyä määrää. Kuljetusten dokumentointiin ja jäte-erien hallintaan on saatavilla erilaisia sähköisiä järjestelmiä, ks. artikkeli *”ICT-teknologia öljyvahinkojätteen kuljetusten ja varastoinnin seurannassa”*.

Lajittelu

Öljyvahingossa syntyvä jäte lajitellaan neljään eri jätelajiksi: öljy-vesiseos, öljyinen maa-aines, öljyinen sekajäte (esim. suojahansikkaat ja haalarit, imeytyspuomit ja -matot) ja öljyinen riskijäte (esim. öljyyntyneet kuolleet linnut). Jatkokäsittelyn kannalta öljyvahinkojätteet on järkevää lajitella myös öljyisyyden perusteella.

Lajittelu aiheuttaa lisäjärjestelyjä keräyksessä ja kuljetuksessa edellyttämällä jokaiselle jätelajille omat keräys- ja kuljetusyksiköt, mutta vähentää huomattavasti vahinkojätteen käsittelystä koituvia kustannuksia. Pääosa jakeiden lajittelusta tapahtuu luonnostaan jo keräyshetkellä. Öljy-vesiseos pumpataan yleensä säiliöihin tai suoraan imuautoon. Pilaantunut maa-aines kaivetaan kaivinkoneella suoraan kuorma-auton lavalle. Tällä tavoin kerätyn maa-aineksen öljypitoisuus ei välttämättä ole kovin suuri. Rantojen puhdistus käsityönä on sen sijaan valikoivampaa ja tuottaa öljypitoisempaa jätettä. Näin myös eri öljypitoisuudet kulkevat eri reittiä, ellei niitä vahingossa läjitetä samalle lavalle. Käsityössä öljy kerätään yleensä saaveihin tai säkkeihin, jotka kumotaan suurempaan astiaan. Kiinteä öljyinen sekajäte, eli suojahansikkaat, muovit jne. on suositeltavaa laittaa erilliseen astiaan kuin maa-aines. Jos mahdollista, öljyistä maa-ainesta ei siirretä kuljetusyksikköön muovipusseineen, vaan kumotaan irrallisena. Näin maa-ainekselle olisi osoitetta-

vissa useampia käsittelyvaihtoehtoja. Keräystyömaalle on tuotava erikseen myös öljyntyymättömälle sekajätteelle omia keräyssäiliöitä, etteivät ne päädy tahattomasti muiden jätejakeiden joukkoon. Yksi toimintatapa on tuoda keräystyömaalle vaihtolava, jonka päällä on kuusi kuution irtojätekonttia. Yhtenäistä yksikköä on kätevämpi liikutella, ja jokaiselle jätejakeelle löytyy oman astiansa.

Lajitellut jätejakeet on pidettävä erillään koko jätehuoltoketjun ajan keräyksestä loppukäsittelyyn asti. Lastierien koontia varten tai loppukäsittelypaikkojen rajallisen vastaanottokapasiteetin vuoksi jätettä voidaan joutua välivarastoimaan tähän tarkoitukseen perustetuilla varastointialueilla. Tällöin haasteena on eri jätejakeiden pysyminen erillään varastointikentällä. Jätejakeen tyyppi eli jätteen laatu tulee ilmetä jokaisesta jäteyksiköstä. Välivarastointikentällä tulee olla riittävästi tilaa sijoittaa eri jätejakeita sisältävät kuljetusyksiköt niin, että niitä voidaan operoida kutakin erikseen. Joillakin jätejakeilla voi olla nopeampi kiertäminen kuin toisilla, joten niiden kulkua ei saa tukkia väärällä sijoittelulla.

Logistiikan suunnittelu

Rantaviivan rikkonaisuus, erilaiset maastotyyppit ja kaltevuudet sekä erityisesti kaupunkialueiden ulkopuolisen tieverkoston puutteet asettavat haasteita öljyvahingon logistiikalle. Myös työkoneiden ja torjuntahenkilöstön liikuttelu vaatii suunnittelua, mutta haastavinta on jätelogistiikan järjestäminen. Kuten edellä arvioitiin, vahinkojätettä voi syntyä sadoista tuhansiin tonneihin. Jätettä on tarvittaessa varastoitava ennen käsittelyä. Välivarastointia varten Saimaan alueelta on kartoitettu soveltuvia kohteita. Kohteet on merkitty logistisina pisteinä hankkeessa luotuun kartastoon. Logistiikan suunnitellun tueksi luotuja työvälineitä tarkastellaan seuraavaksi lähemmin. Luotu paikkatietoaineisto viedään osaksi Suomen ympäristökeskuksen BORIS-tilannekuvajärjestelmää ja se on tarkoitettu toimimaan aineiston pääasiallisena käyttöympäristönä. Aineisto on käytettävissä myös staattisen, pdf-tiedostomuodossa olevan kartaston kautta niiden tilanteiden varalta, joissa internetyhteyttä ei ole.

Rantaviivan lohkojako

Öljyvahingon rantatorjuntaa varten rantaviiva on jaettu yksilöityihin kilometrin lohkoihin ja lohkot edelleen 200 metrin kaistaleisiin. Saimaan alueelle luotua rantalohkojakoa esitellään artikkelissa *Kartta-aineistot ja logistiikkapisteet*

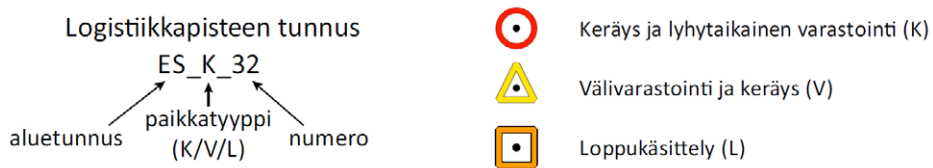
öljyvahinkojätelogistiikan hallintaan sekä tilannetiedon ylläpitoon (Kauppinen 2017). Esimerkki on nähtävissä myös tämän artikkelin liitteessä 1. Rantalohkojako on alun perin laadittu likaantuneiden rantaosien tiedustelua varten, mutta se helpottaa myös muiden toimenpiteiden kohdentamista. Rantalohkojaon myötä jokaiselle likaantuneelle rantaosalle on annettavissa yksilöivä tunnus. Suuressa, satoja kilometrejä rantaviivaa likaavassa vahingossa tunnus auttaa kohdentamaan ja kirjaamaan tehdyt toimenpiteet ja kerättyjen ja kuljetettujen jäte-erien alkuperät. Rantalohkojako näkyy myös BORIS 2.0 -tilannekuvajärjestelmässä karttatasona ”Rantalohkojako/SÖKÖ-toimintamalli”. Operaation aikana hajautetusti sijoitetun kaluston hallinnassa voidaan myös tukeutua rantalohkotunnuksiin. Torjuntalohkoilla olevien, GPS-paikantimilla varustettujen keräyslaitteiden, voimayksikköjen tai muun kaluston näkyminen tilannekuvajärjestelmässä helpottaisi kalustokoordinaointia.

Logistiset pisteet

Logistiset pisteet määräytyvät käyttötarkoituksensa ja sijaintinsa mukaan. Osa logistisista pisteistä toimii ainoastaan läpikulkupaikkana, jossa öljyinen jäte siirretään kuljetusmuodosta toiseen. Osassa pisteitä jätettä voidaan koota, ryhmitellä ja varastoida ennalta arvioidun ajan. Tavoitteena on kuitenkin saada minimoitua pisteiden määrä logistisessa ketjussa mahdollisimman pieneksi, jolloin jätteen käsittelyyn käytetään mahdollisimman vähän resursseja. Näin myös mahdollisia käsittelykertoihin ja siirtoihin liittyviä riskejä saadaan vähennettyä.

Ensisijaisena tavoitteena on kerätä vahinkojäte suoraan kuljetusyksiköihin ja mantereella vahinkojätteen polku kulkeekin yksinkertaisimmillaan rannan keräys-kuljetuspisteeltä suoraan loppukäsittelypaikalle. Rannoille, joihin ei pääse ajoneuvokalustolla tulee perustettavaksi erilliset keräys- ja kuljetuspisteet. Näissä tapauksissa vahinkojäte tuodaan keräyspisteelle ihmisvoimin, esimerkiksi saaveilla kantaen, ja viedään sieltä lähimpään ajoneuvolla saavutettavaan paikkaan, jonne perustetaan kuljetuspiste. Kuljetuspisteestä vahinkojäte kuljetetaan suoraan tai väliavarastoinnin kautta pidempiaikaiseen varastointiin tai käsittelyyn. Saimaalle ÄLYKÖ-hankkeessa kehitetyssä jätelogistiikkamallissa kuljetusketjun vaiheita on pyritty minimiomaan tarkentamalla käsitteitä keräyspiste ja keräys-kuljetuspiste. Katsottiin, että keräyspisteitä muodostuu rantaviivalle aina tarpeen mukaan öljyn sijaintiin perustuen, joten niitä ei merkitä kartoille. Malliin kuvattiin siten kuljetusketju keräyksestä ja lyhytaikaisesta varastoinnista kulje-

tuspisteellä (K), välivarastointiin (V) ja loppukäsittelyyn (L). Logistiset pisteet on esitetty rantalohkojaon kanssa samassa kartastossa (ks. Kauppinen 2017).



KUVA 1. Logististen pisteiden tyypit ja tunnukset (kuva Joel Kauppinen 2017).

Kaikki logistiset pisteet suojataan ja aidataan. Suojaustoimenpiteillä vähennetään torjuntatöistä johtuvaa maaperän likaantumista ja siitä seuraavia lisäkustannuksia. Torjuntatöissä sattuvasta lisävahingosta on vastuussa toiminnanharjoittaja eli johtovastuussa oleva viranomaisen. Suojaukset tulee mitoittaa alueen öljyisyyden, lainsäädännön ja ympäristönsuojelullisten näkökohtien mukaan tavalla, joka on myös riittävän nopea ja kustannuksiltaan edullinen. Logistiset pisteet perustetaan ensisijaisesti olemassa olevia rakenteita hyödyntäen jätteenkäsittelylaitosten alueille, satamiin tai muille asfaltoiduille kentille. Perustettaessa pisteitä maastoon tulee varmistaa yhdessä ympäristöviranomaisen kanssa, ettei piste sijaitse pohjavesialueella tai muuten herkällä alueella. Logististen pisteiden tila- ja sijaintivaatimuksia on koottu taulukkoon 2. Pisteet tulee perustaa paikkaan, joka vaatii itsessään mahdollisimman vähän muokkaamista, sillä pisteiden perustamistoimissa on otettava huomioon myös alueen ennallistaminen torjuntatöiden päätyttyä. Suurempia maanmuokkauksia on vältettävä. Pohjan suojaustoimien lisäksi likainen alue ja kaikki öljyisen jätteen logistiset pisteet tulee merkitä ja eristää esimerkiksi muovinauhalla. Näin myös lähialueen asukkaat tunnistavat pisteen käyttötarkoituksen.

TAULUKKO 2. Kooste logististen pisteiden ominaisuuksista (Kauppinen 2017).

<p>K = keräys ja lyhytaikainen varastointi</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Riittävän suuri pinta ala (minimi 20 m x 20 m, vähintään viisi vaihtolavaa tulee mahtua) • Riittävän kantava maapohja • Ei pohjavesialuetta (tai kiinnitettävä erityistä huomiota paikan suojaukseen), ei suoraan vesijohdon, viemärin tai maakaapeleiden kohdalle tai kaivon läheisyyteen • Tieverkon läheisyys • Voi sijaita myös kauempana rannasta (alle 1 km), pitää olla vähintään mönkijäura rantaan, ei saa olla vilkkaasti liikennöityjen teiden ylityksiä rannan ja 1-tason varastointipaikan välissä • Tiedot ainoastaan tietokannassa, ei julkisteta • Saattaa vaatia pientä rakentamista, kuten pohjan vahvistamista, tierumpujen asentamista jne. • Esimerkiksi kentät, kuivat pellot, jätekeräyspisteet, muut aukeat paikat
<p>V = väli-varastointi ja keräys</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Raskas kalusto pääsee perille asti • Alueen pohja on raskaan kaluston kantava, mahdollisesti asfaltoitu • Venekalustolla pääsee rantautumaan hyvin • Voi sijaita myös kauempana rannasta (alle 1 km), mutta pitää olla hyvä yhteys rantaan • Mielellään vesipiste ja sähkö valmiina tai helposti järjestettävissä • Ei asutusta lähellä • Mahdollisesti ennalta sopimuksia alueen haltijan kanssa • Esimerkiksi satamat ja pienvenesatamat
<p>L = loppukäsittely</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pitkäaikainen varastointi, mahdollinen loppusijoitus • Ympäristöluvut ovat valmiina • Jätteen käsittely paikalla mahdollista • Esimerkiksi toiminnassa olevat jätteenkäsittelypaikat

Keräystyömaa

Keräystyömaa on se alue, jossa vahinkojätettä kerätään. Riippumatta siitä, tapahtuuko keräys käsin vai koneellisesti, tulee keräystyömaalla olla osoitettuna merkityt sisään-tulo- ja poistumistiet sekä kulkureitit. Työmaalla tulee liikkua vain merkittävät reittejä pitkin. Keräystyömaata perustettaessa tulee kiinnittää erityistä huomiota siihen, että työssä edetään puhtaalta alueelta kohti likaista, jotta lisälikaantumista ei tapahdu jo työn alkuvaiheessa.

Keräystyömaan kulkureitit on suojattava rannansuojamatolla, imeytysmatolla tai vastaavalla ja eristettävä esimerkiksi lippusiimoin niin, ettei muun reitin käyttäminen ole mahdollista (ks. kuvat 2 ja 3). Jos näin ei tehdä, öljy leviää torjuinten kenkien tai kuljetuskaluston mukana laajentaen likaantumusta aluetta. Myös likaisen ja puhtaan alueen raja aidataan. Keräystyömaalta keräysastioille johtava väylä, samoin kuin puhtaat alueet suojataan keräystyön roiskeilta.



KUVA 2. Keräystyömaan perustaminen käynnissä (kuva Melinda Pascale 2010).



KUVA 3. Keräystyömaan suojaukseen käytettävää rannansuojamattoa. Tämä mattotyyppi asennetaan musta puoli ylöspäin (kuva Justiina Halonen 2016).

Koska keräystyömaita perustetaan jokaiselle rantaosalle, jossa öljyä on, ei niitä ole tarkoituksenmukaista merkitä kartalle. Karttoihin on merkitty jäte-erien koontiin ja kuljettamiseen tarkoitettut (K)-pisteet, välivarastointipisteet (V) ja loppukäsittelypisteet (L), joiden ominaisuuksia ja perustamista käsitellään tarkemmin seuraavaksi.

Keräys ja lyhytaikainen varastointi kuljetuspisteellä (K)

K- eli keräys-kuljetuspiste on ensimmäinen varsinainen jätekuljetuksen logistinen piste, jotka on merkitty kartalle. Piste tulee mahdollisuuksien mukaan perustaa siten, että keräystyömaan jäte saadaan sinne ilman välivaiheita. Maksimi kantomatkaksi ihmisvoimin on arvioitu 40 metriä. Piste edellyttää riittävää tilaa ja kantavaa maapohjaa, jotta alueella voidaan operoida vaihtolavoilla. (K)-piste voidaan myös perustaa proomulle, jos likaantuneen rannan lähestyminen on helpompaa vesitse.

(K)-pisteen maapohjan suojaukseen käytetään HDPE-muovia tai EPDM-kumimattoa. Jätteen siirroissa ja lastinkäsittelyssä tapahtuvien virhearviointien varalle kuljetusyksiköiden alle tarvitaan suojamatto, vaikka pisteessä käsiteltäisiin vain tiiviitä kuljetusyksiköitä. Suojauksen tulisi kestää ajoneuvojen aiheuttamat raskaudet rikkoutumatta. (Asikainen 2009, 74; Mikkola 2005.)

(K)-pistettä perustettaessa maa-ala puhdistetaan oksista, kivistä ja muista terävistä esineistä sekä tasoitetaan ennen suojamatton asettamista. Muovi- tai kumimaton reunoille tehdään pengerrys esimerkiksi maa-aineksesta tai puutavarasta ja suojamatto ulotetaan pengerryksen yli. Toisinaan voi olla tarve järeämmälle suojaukselle, jos pisteen kautta kuljetetaan suuria määriä nestemäistä jätettä. Tasatun pohjamaan päälle asetetaan muovi- tai kumimatto ja kalvon päälle 250–300 mm hiekkaa tai savea kulutuskerrokseksi, jonka päälle kuljetusyksiköt lasketaan. Pistettä purettaessa tulee varmistua kulutuskerroksen puhtaudesta ja tarvittaessa toimittaa saastunut maa-aines puhdistettavaksi.

Laiturialueilla muovi- tai kumimaton reunoja korotetaan puutavaran, kakkosnelosten, tai muun vastaavan avulla noin 5–10 cm, jotta roiskahtanut jäte ei pääse valumaan laiturireunojen yli veteen. Sadevesikaivojen ympärille tehdään samanlainen korotus. Kaivojen ja viemärien suojaamisessa sovelletaan esimerkiksi TOKEVA-ohjetta *M8b Lammikon patoaminen ja viemärien tukkiminen*. Alusta lastattaessa tai purettaessa suojataan ramppi tai aluksen partaan ja laiturin väli samalla tavoin kuin laiturirakenteet. Viemärisuojaukset tulee purkaa lastinkäsittelytoimien jälkeen, etteivät ne aiheuta ongelmia sateen sattuessa.

Välivarastointi (V)

Kooltaan pienissä öljyvahingoissa vahinkojätteet viedään viivytyksettä käsiteltäväksi asianmukaiseen käsittelyyn (Asikainen 2009, 71). Torjuntatyön keskeytyksettömän toiminnan edellyttäessä, jätettä voidaan välivarastoida siten, ettei siitä aiheudu ympäristö- ja terveyshaittaa. Välivarastointipisteet perustetaan ensisijai-

sesti olemassa olevien kunnallisten ja yksityisten jätteenkäsittelylaitosten alueelle ja vasta toissijaisesti maastollisesti ja muutoin logistisesti soveliaille paikoille. (Asikainen 2009, 71 ja 72–73.)

Välivarastojen sijoittelun ja rakenteiden suunnittelu tulee tehdä yhdessä ympäristöviranomaisten kanssa, jotta jätelain, ympäristönsuojelulain sekä maankäyttö- ja rakennuslain mukaiset vaatimukset tulevat huomioiduksi (Asikainen 2009, 73). Torjuntatyönjohtaja päättää viimekädessä öljyvahinkojätteiden välivarastojen rakenteista. Välivaraston rakenteiden suunnittelua ohjaavat kriteerit ovat i) välivarastoitavan jätteen haitallisuus, ii) välivarastointiaika ja iii) jätteen pakkaustapa (Asikainen 2009, 74). Länsi-Uudenmaan pelastuslaitos on laatinut välivaraston rakenteesta esimerkkisuunnitelmia ja kustannusarvioita. Maaliskuussa 2014 Dragsvikissa järjestetyssä rakennuspoolin valmiusharjoituksessa tuotetut piirustukset ja suunnitelmaselostukset ovat ladattavissa Suomen ympäristökeskuksen Boris-käyttäjät sivustolta (Suomen ympäristökeskus). Rakenteet on tarkoitettu suurta vahinkotilannetta varten ja niiden soveltuvuutta Saimaan vahinkokokoluokkaan tulee arvioida.

Loppukäsittely (L)

ÄLYKÖ-hankkeessa kartoitettiin öljyvahinkojätteen vastaanottopaikat ja loppukäsittelymahdollisuudet Itä-Suomessa ja lähialueilla. Kartoituksen tulokset on raportoitu artikkelissa ”*Öljyvahinkojätteen käsittely Itä-Suomessa*”. Loppukäsittelypaikkojen sijainti on kerätty samaan paikkatietopakettiin ja kartastoihin kuin muut logistiset pisteet. Loppukäsittelypaikan valintaan vaikuttaa jätejäte, öljypitoisuus ja jätteen sisältämän orgaanisen aineen määrä, joissain tapauksissa myös rae- tai palakoko. Jätteen kuljetuksen kannalta merkittävää on selvittää, minkä tyyppistä kuljetuskalustoa loppukäsittelypaikka pystyy purkamaan ja miten suuria lastieriä (massaltaan, nostokorkeuksiltaan jne.) siellä voidaan käsitellä.

Vahinkojätteen loppukäsittelyyn kuljettamisen vaihtoehtona on tuoda käsittelylaitteisto vahinkopaikalle. Siirrettäviä termisiä laitteistoja ei ole Itä-Suomen alueella aktiivisessa käytössä ja todennäköisesti Saimaalla tapahtuvassa öljyvahingossa jätemäärät eivät muodostu niin suuriksi, että siirrettävän polttolaitteiston tuominen vahinkopaikalle olisi tarkoituksenmukaista. Siirrettäviä polttolaitteistoja Suomessa tarjoavan Savaterra Oy:n mukaan pilaantunutta maata on oltava 25 000–30 000 tonnia, jotta laitteiston siirto puhdistettavaan kohteeseen on kannattavaa (Uotila 2015).

Kohdekortit

Hyvä paikallistuntemus on avaintekijä logistiikan järjestämisessä ja soveltuvien kohteiden valinnassa. Tehtävän helpottamiseksi logististen pisteiden sijainnit on osin kartoitettu ja tiedot koottu kohdekorteiksi. Liitteessä 2 on esimerkki kohdekortista. Kohdekortit koostuvat logistisen pisteen tiedoista, karttakuvasta, ilmakuvasta ja valokuvista, jos niitä on ollut saatavilla. Kortit ovat A4-kokoisia PDF-dokumentteja. Niiden käyttöä on havainnollistettu tämän artikkelin case-tarkastelussa.

Kohdekortit on tarkoitettu etukäteissuunnittelun tueksi. Kohdekorteista kuljetuksia suunnitteleva henkilö saa paikan päällä käymättä yleiskuvan siitä, millaisella lastinkäsittely- ja kuljetuskalustolla alueella voidaan operoida. Vahinkotilanteessa logistiikkatoimintojen aloittaminen edellyttää omakohtaista tutustumista alueeseen ja kuljetuspisteitä tulee kartoittaa lisää vahingon sijainnin ja painopisteen mukaan.

Keräys- ja kuljetusyksiköt

Lastaus- ja purkaustoimintojen suunnittelu vaatii koko kuljetusketjun tuntemista. Suunnittelussa on huomioitava ketjun kaikkien kuljetusmuotojen rajoitukset sekä loppukäsittelypaikan lastinkäsittelymahdollisuudet. Kuljetusmuotojen muuttuessa joudutaan kuljetettava lasti purkamaan ja lastaamaan uudestaan, jolloin muun muassa tavarankäsittelyyksiköissä on huomioitava maksimipainot ja käsittelylaitteiden nostotehot koko ketjun matkalta. Lasti- ja kuljetusyksiköstä riippuu myös kuljetusvälineen suojaustarve tai tarve lastin kiinnittämiseen ja tuennan vaatimisiin lisärakenteisiin. (Halonen 2011, 478.)

Pääkysymykset lastinkäsittelyn suunnittelussa ovat miten lastataan, millaisilla työvälineillä, millaisiin kuljetusvälineisiin ja millaisiksi siirtoetäisyydet muodostuvat. Kysymykseen miten lastataan sisältyy oleellisena osana myös suojaustoimet toissijaisten öljyvahinkojen estämiseksi. (K)-pisteisiin jäte tuodaan traktoreita, mönkijöitä tai muuta pienkalustoa apuna käyttäen, tarvittaessa myös käsin silloin kun maastoon ei päästä millään kulkuneuvolla tai kun piste sijaitsee riittävän lähellä. Rannassa jäteyksiköt voidaan joutua nostamaan kulkuneuvon käsivoimin, jolloin on kiinnitettävä erityistä huomiota siirtoetäisyyksiin, nostokorkeuksiin ja massoihin. (Halonen 2011, 478.) Biopohjaisten polttoaineiden vahingoissa on lisäksi huomioitava biopolttoaineiden materiaaliyhenteensopivuus eri varastointi- ja kuljetusyksiköiden kanssa. Bioöljyille ja

-polttoaineille soveltuvampia ovat haponkestävät, ruostumattomasta teräksestä valmistetut säiliöt (Bradley 2006, 76; ITRC 2011, 22–26; S.L. Ross Environmental Reseach Ltd 2010, 5).

Kuljetusyksiköt tulee suojata sateelta esimerkiksi kevytpeitteellä. Samoin on huolehdittava sadevesien ohjauksesta siten, ettei öljyistä vettä pääse imeytymään maaperään tai valumaan veteen. Aikaisemmissa öljyvahingoissa on havaittu myös lintujen levittävän jäteroskaa, jos lavat ovat jääneet peittämättä. Peittäminen hidastaa myös aineen haihtumista (Fingas 2013, 117).

(K)-pisteessä käytetään vaihtolavoja tai kontteja, joko erikseen tai siten, että yhden vaihtolavan päällä on kuusi kuution irtojättekonttia. Mantereella lavojen käsittelyyn tarvitaan vaihtolavalaitteistoilla varustettuja kuorma-autoja. IBC-konttien ja muiden vastaavien kuljetusyksiköiden liikuttelu onnistuu esimerkiksi haarukkapiikein varustetuilla traktoreilla tai kappaletavaranoisturilla. Osassa kohteista tarvitaan myös imu- tai loka-autoja. Saariston kohteissa lastiyskistöiden siirtoon käytetään kohteen laiturirakenteen kantavuuden määrittelemää kalustoa, kuten erilaisia pyöräkuormaajia (bobcat) tai alusten omia lastinkäsittelylaitteistoja. (Halonen 2011, 478.)

Mantereella hyvin kantaville asfaltti-, hiekka- tai murskepohjaisille tilaville alueille perustetuissa (V)-pisteissä voidaan toimia mobiilinoistureilla tai sideloader-tyyppisillä konttiyhdistelmillä. Tällaisten yhdistelmien käyttö vaatii huomattavasti enemmän tilaa kuin vaihtolava- tai kappaletavaranoisturilla varustetut ajoneuvot. (Mänttari 2010, 454.)

Kiinteä jäte

Vesiteitse kuljetettavan öljyisen jätteen kuljetusyksikkönä käytetään IBC-konttia, joka soveltuu kiinteiden, syttyvien jätteiden keräilyyn ja kuljetukseen ja jotka on UN-hyväksytty pakkausryhmiin II ja III kuuluville kiinteille aineille. IBC-kontti on varustettu trukkitaskuilla ja kontit ovat pinottavissa päällekkäin. IBC-kontin käyttöön sisältyy kuitenkin muutamia rajoituksia. Kontti soveltuu kiinteille aineille, joiden tiheys on alle $1,8 \text{ kg/dm}^3$. Öljyisen maa-aineksen tiheyden takia kontti saatetaan joutua täyttämään vain puolilleen. Silloinkin yksikön paino on jo noin 1400–1500 kg. (Hakala 2006, 25.) Puolitäyttöisyys lisää astiatarvetta sekä vaikeuttaa lastiyskistöjen vakaata liikuttelua, kun löysä öljy pääsee heilahtelemaan lastiyskistöjen sisällä. Vajaatäyttöiset lastiyskistöt aiheuttavat ongelmia pääasiassa

lastiyksiköiden nostoissa sekä aluskuljetuksessa. IBC-kontin kansi ei ole nestetiivis, joten nestemäiselle jätteelle tulee olla omat kontit. IBC-konttien saatavuus ei ole kaikkein parhain ja siksi niitä tulisi käyttää ensisijaisesti saarissa, jossa suurempien yksiköiden, kuten vaihtolavojen, liikuttelu on hankalaa.

IBC-kontin materiaali on terästä (Fe37), mutta sitä on saatavana myös ruostumattomana tai haponkestävänä. Kansi avautuu keskeltä ja se on saranoitu kahdelta suunnalta rst-saranoilla, lukitus on toteutettu lavalukoilla. ML1000-kontin tilavuus on 1000 litraa ja ulkomitat ovat 1154 x 1112 x 1147 mm. Konttiin on saatavissa MP1000-sisäpussi, jonka materiaali on 0,10–0,15 mm:n paksuista LD-polyeteenimuovia. (Ekokem; Hakala 2006.)



KUVA 4. IBC-kiintojätekontti (kuva Katri Eerikäinen 2011).

Kiinteätä jätettä voidaan kuljettaa myös irtonaisena vaihtolavoissa. Lavat tulee tiivistää muovilla. Lavat eivät ole kovin käyttökelpoisia saaristokohteissa mutta mantereella erinomaisia. Lavojen asemesta saaristossa kannattaa hyödyntää proomuja ”kelluvina varastoina”.

Myös tilapäisaltaita on käytetty kiinteän jätteen välivarastoimiseen, mutta jätteen poistaminen on työlästä ja voi vaurioittaa altaan pohjaa. Jos tilapäisaltaita käytetään, on varmistettava pystytyspaikan maanpinnan tasaisuudesta. Lisäksi on huolehdittava altaan peittämisestä. Tilapäisaltaat soveltuvat parhaiten öljynkeräysvälineiden säilytysalustaksi keräystyömaalla.

Nestemäinen jäte

IBC-kevytsuurpakkaus sopii nestemäisten jätteiden keräykseen, erityisesti öljy-vesiseoksille. IBC-suurpakkaus on UN-hyväksytty, luokka Y. Pakkaus on käsiteltävissä trukilla ja pinottavissa. Nestemäisen vahinkojätteen kuljetuksiin soveltuvia kertakäyttökontteja L1000 on saatavilla paljon. Kontin täyttöaukko on pienehkö, joten letkutäyttö onnistuu, mutta käsikeräyksessä suppilon tai kauluksen asettaminen nopeuttaa ämpärien tyhjentämistä. (Alastalo 2010, 39.)



KUVA 5. Nestemäisen öljyjätteen välivarastointiin soveltuva IBC-kevytsuurpakkaus skimmerin keräyssäiliönä (kuva Justiina Halonen 2009).

Vedestä kerätylle öljylle on myös erilaisia kelluvia ja hinattavia säiliötä sekä säkijärjestelmän suursäkkejä. Näiden etuna on usein nopea käyttöönotettavuus. Haasteeksi on kuitenkin nähty säiliöiden tyhjentäminen silloin, kun öljyn viskositeetti on suuri tai jos kerätyn jätteen mukana tulee paljon roskaa (Fingas 2013, 118). Käytössä on myös kovasta muovista rakennettuja rumpumaisia säiliöitä, joiden vaipan kennorakenne mahdollistaa tankin lämmittämisen. ÄLYKÖ-hankkeen demonstraatiokokeessa testattiin KK-Modulen Oy:n öljyntorjuntatankin materiaalin soveltuvuutta biopoltoaineille. Materiaali altistettiin uusiutuvalle dieselille, korkeaseosanolille ja pyrolyysiöljylle ilman havaittavia muutoksia.



KUVA 6. Hinattava keräyssäiliö yhdistettynä tankkipariksi teräksisellä yhdysrakenteella (kuva Justiina Halonen 2015).

Alus- ja venekalusto

Vahinkojätteen ja työkonoiden kuljetuksiin voidaan käyttää torjuntaviranomaisen kalustoa ja ostopalveluja. Työkonoiden kuljetuksiin soveltuvat keula- tai perärampilla varustetut alukset. Sama aluskalusto käy pakatulle vahinkojätteelle. Käyttökelpoisia ovat esimerkiksi pienisyväyksiset kuljetuslautat. Kiinteän irtolastin kuljetuksiin voidaan käyttää proomuja.

Pelastuslaitosten työveneillä voidaan kuljettaa pieniä määriä öljyjätettä pakatussa muodossa. Pelastuslaitosten työveneidä käytettävyyttä vahinkojätteen kuljetuksiin rajoittaa niiden pieni kuljetuskapasiteetti. Lisäksi työveneen lastauksessa tulee huomioida aluksen vakavuus, painopiste, gm ja maksimikuorma tietyllä henkilömäärällä. On määriteltävä myös tarvitaanko veneisiin erillisiä tukirakenteita, kuten lankuista tehdyt pedit jäteastioidelle, ja missä ja miten tarvittavan stemplausmateriaalin hankinta ja varustelu tapahtuu.

Lastin liikkuminen on estettävä sekä lastiyksikön sisällä että kuljetusyksikössä. Lastiyksiköt tulee lastata mahdollisimman täyteen tiheysmaksimien rajoissa. Erityisesti nestemäisen vahinkojätteen lastaamisessa tulee välttää vajaatäyttöä ja siten vapaan nestepinnan aiheuttamia ongelmia. Vesikuljetuksissa suurimmat

lastiyskiköihin vaikuttavat voimat ovat seurausta aluksen poikittaisesta keinunnasta. Koska keinuntakulmat voivat olla kymmeniä asteita, kuormat on tuettava ja sidottava riittävästi etenkin poikittaissuunnassa.

Ajoneuvokalusto

Maakuljetusten organisointiin vaikuttaa merkittävästi alusöljyvahingon ajankohta sekä torjuntatyön onnistuminen. Mikäli öljy pääsee rantautumaan, on pyrittävä muodostamaan mahdollisimman tarkka arvio keräystyön nopeudesta riittävän ja oikeantyyppisen kalustoa varaamiseksi. Öljyntorjuntaoperaatiossa käyttökelpoisimmaksi sekä kustannustehokkaimmaksi vaihtoehdoksi on osoittautunut irrotettavien korirakenteiden kuten vaihtolavojen käyttö etenkin alueilla, joilla jätteen keräys tapahtuu käsityönä. Vaihtokuormakorilaittein varustettu kalusto ei sido ajoneuvoa täyden ajaksi. Tällöin samalla ajoneuvolla voidaan tyydyttää useamman kuljetuspisteen tarpeet. Irrotettavan korirakenteen vuokratkustannukset muodostavat kuljetuskustannuksista vain murto-osan, joten tilaamalla esimerkiksi kaksi lavakertaa yhtä ajoneuvoa kohden voidaan odotusaikoja pienentämällä vaikuttaa myönteisesti kustannuksiin. Öljy-vesiseoksen kuljettamiseen käytetään imu- ja säiliöajoneuvoja käsittelykertojen minimoimiseksi. (Pynnönen 2010, 602 ja 629–630).

Kevyet ja keskiraskaat kuorma-autot

Kevyt ja keskiraskas kuorma-auto (2–3-akseliset, kokonaismassaltaan noin 10–26 tonnia) soveltuvat parhaiten käytettäväksi lyhyillä ja keskipitkillä kuljetusmatkoilla. Päällystämättömillä teillä, jotka soveltuvat kuorma-autolla ajoon, voidaan käyttää vaihtokuormakorilaitteita, jotka on varustettu joko vaijeri- tai koukkulavanostimin. Yhden vaihtolavan tilavuus on noin 12 kuutiota. (Pynnönen 2010, 615.)

Vaijerivaihtolavalaitteet ovat vielä toistaiseksi yleisempiä, vaikka koukkulavalaitteet ovat jatkuvasti yleistymässä. Koukkulavalaitteiden etuina vaijerilaitteisiin nähden ovat nopeus ja turvallisuus etenkin suuria massoja käsiteltäessä. Tämän lisäksi koukkulavalaitteilla on mahdollista sekä työntää että vetää kuljetettavaa yksikköä, mistä on huomattavaa etua etenkin ahtaissa maasto-olosuhteissa. Kuvatun kaltainen siirtely ei vaijerilaitteilla ole turvallisesti mahdollista. (Pynnönen 2010, 615.)



KUVA 7.
Keräyssäiliö
tuodaan rantaan
koukkulava-
kuorma-autolla
(kuva Justiina
Halonen 2015).

Toimittaessa hankalassa maastossa, kuten huonokuntoisilla metsäautoilla tai pienillä yksityisteillä, jotka eivät ole kuorma-autoilla ajettavassa kunnossa, voidaan käyttää esimerkiksi traktoreilla vedettäviä koukkulavalaittein varustettuja peräkärriä. Perävaunusta on myös saatavana hydraulivoiman ulosotto esimerkiksi apulaitteiden käyttöön. (Pynnönen 2010, 617.) IBC-säiliökontteihin pakatun tai pumpatun jätteen siirtoon voidaan käyttää myös kappaletavaran kuljetuksiin tarkoitettua ajoneuvokalustoa (Pynnönen 2010, 616).

Raskaat kuorma-autot

Raskaat kuorma-autot, (4–5 -akseliset, kokonaismassaltaan noin 32–38 tonnia) yleisimmin maansiirtokäyttöön tarkoitettut ajoneuvot ovat käytännöllisiä paikoissa, joissa ne voidaan lastata koneellisesti ilman erillisiä välivaiheita. Käytännössä tämä tarkoittaa esimerkiksi rantaa, joka on mahdollisuus puhdistaa koneellisen maankuorinnan avulla. Kauhakuormaaja voi tällöin kuormata jätteen suoraan ajoneuvon kyytiin. (Pynnönen 2010, 615.)

Säiliöajoneuvot

Öljy-vesiseosta voidaan kuljettaa säiliöajoneuvoilla, jos jätteen seassa ei ole kiinteää ainesta. Tehtävään soveltuu raskasöljykalusto, jolla kuljetetaan esimerkiksi pilssivesiä laivoista. (Pynnönen 2010, 616.)

Kerätyn öljy-vesiseoksen tyhjennykseen aluksesta, hinattavasta säiliöstä tai rannalla olevista säiliöistä soveltuu hyvin myös lokakuljetuksiin käytettävä imuautokalusto. Osassa kalustoa on suurtehoimurit, joiden imuteho mahdollistaa jopa

400 metriä pitkien imuletkujen käyttöön. Tämä mahdollistaa toiminnan myös alueilla, joilla ei ole suoraa ajoyhteyttä rantaan asti. (Pynnönen 2010, 616.)

Junakuljetukset

Junakaluston käyttöä kuljetuksissa puoltaa pitkillä matkoilla maantiekuljetuksia suurempi kantavuus ja alhaisemmat kustannukset. Junakuljetus soveltuu parhaiten käytettäväksi tilanteissa, joissa siirretään suuri määrä jätettä esimerkiksi välivarastoilta loppukäsittelylaitoksiin. Onkin perusteltua harkita välivarastojen sijoittamista sivuraiteiden läheisyyteen. (Pynnönen 2010, 617.) Saimaan öljyvahingon kokoluokassa junakuljetusten käyttäminen ei välttämättä ole tarpeen, ellei se vahingon sijainnin puolesta ole tarkoituksenmukaista.

Öljyvahinkojätteen kuljetukseen soveltuvat esimerkiksi VR:n katetut yleisvaunut, kuten Gbln, Gbln-t sekä Gbls. Vaunut ovat kaksiakselisia, ja niiden kokonaiskantavuus on 29,5–30 tonnia. Gbln-vaunun sisämitat ovat 12,78 m x 2,85 m, joten kyytiin mahtuu kerrallaan 24 IBC-konttia yhdessä tasossa. Vaunun kantavuuden rajoissa kyytiin mahtuu yhteensä noin 26 konttia, jätteen ominaispainon ollessa 1,15 t/m³. (Pynnönen 2010, 617.)

Mikäli jätettä kuljetetaan irtonaisena, on mahdollista käyttää 54,5 tonnin kantavuudella varustettuja Ome-irtotavaravaunuja. Vaunut on varustettu hydraulisesti enintään 52 asteen kulmaan kallistettavalla kaukalolla. Esimerkiksi Ekokemin Riihimäen laitoksella kuorma voidaan purkaa noin metrin päähän kiskosta. (Pynnönen 2010, 617.)

Kaupallisten satamien käyttö

Jos öljyvahingon torjumiseksi ja vahinkojen seurausten rajoittamiseksi on välttämätöntä, torjuntaviranomaisella on oikeus ottaa tilapäisesti käyttöön vahinkojen torjuntaan sopivia laitteita, kuljetusvälineitä, työkoneita ja -välineitä sekä lastaukseen, purkaukseen tai väliaikaiseen varastointiin tarvittavia tiloja ja paikkoja (Öljyvahinkojen torjuntalaki 1673/2009, 23 §).

Torjuntaviranomaisella on myös oikeus määrätä sataman pitäjä, laitoksen haltija, öljyn varastoija tai muu, jolla on torjuntakalustoa tai niiden käyttöön perehtynyttä henkilöstöä, asettamaan nämä torjuntaviranomaisen käyttöön, jollei tästä aiheudu toiminnan harjoittajalle kohtuutonta haittaa (Öljyvahinkojen tor-

juntalaki 1673/2009, 20 §). Suunniteltaessa lastaus- ja purkaustöitä kaupalliseen satamaan tulee ottaa huomioon laiturialueiden kaupallinen käyttö. Pyrkimyksenä on, että sataman pääasiallista toimintaa häiritään mahdollisimman vähän. Alueen valinnassa tulisi ottaa huomioon laiturialueiden käyttöasteet, rakenteet ja kantavuus, soveltuvuus pienemmille aluksille ja työveneille sekä lastinkäsittelylaitteistot ja jatkoyhteydet. (K)-pisteen perustaminen satamaan edellyttää laiturialueen ja muun muassa viemäreiden suojaamista. (Halonen 2011, 482.)

Lastaus- ja purkaustoiminnot on tarkoituksenmukaisinta järjestää sataman omia työntekijöitä ja kalustoa käyttäen. Jos satama-alueella työskentelyyn osallistuu muita kuin sataman omia työntekijöitä, kuten pelastuslaitoksen hankkimaa ostopalvelutyövoimaa, tulee heidät perehdyttää sataman ISPS- ja työturvallisuuskäytäntöihin ja toimintaan sataman poikkeustilanteissa. (Halonen 2011, 482–483.)

Case-tarkastelu

Vahinkojätteen logistisen ketjun sekä siihen liittyvien kustannustekijöiden kuvaamiseksi sekä ÄLYKÖ-hankkeessa tuotettujen työvälineiden käytön havainnollistamiseksi tarkastellaan tässä luvussa kuvitteellista Saimaalla tapahtuvaa öljyvahinkoa. Öljyvahingon tyyppiä on valittu alusöljyvahinko ja sijainniksi Vekaransalmi Sulkavalla.

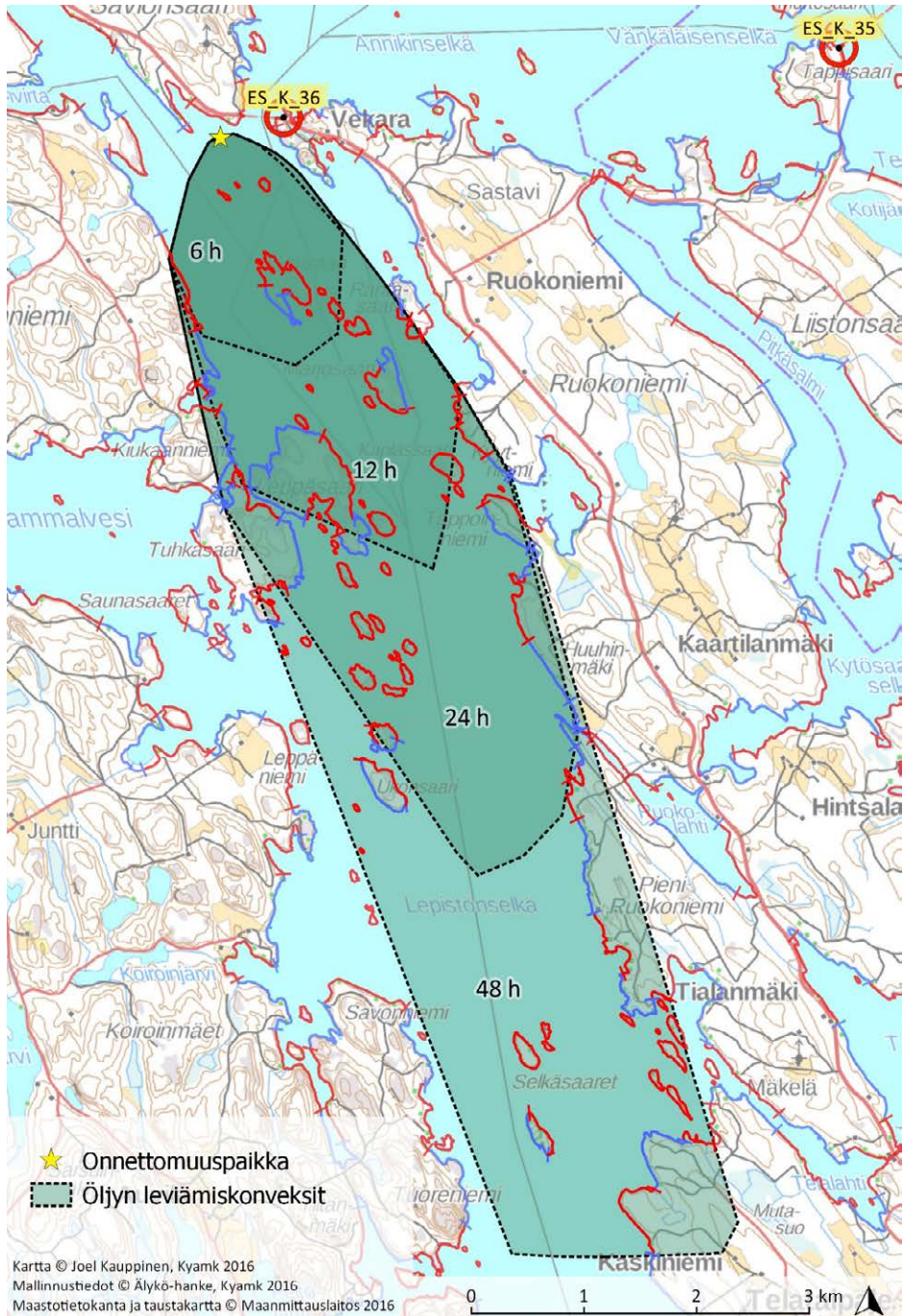
Lähtötiedot

Öljyvahinkoskenaariossa etelään päin matkalla ollut rahtialus ajaa karille Vekaransalmen jälkeen. Aluksesta vuotaa kevyttä polttoöljyä. Vuoto alkaa välittömästi onnettomuuden tapahduttua ja jatkuu yhteensä kahdeksan tunnin ajan. Vuodon aikana 25 tonnia kevyttä polttoöljyä valuu vesistöön. Saimaan syväväylä kulkee Vekaransalmessa kapeassa ja voimakkaasti virtaavassa salmessa. Mallinnuksessa on käytetty Vekaransalmen eteläpuolisen vesialueen virtaustietona enimmillään 35 cm/s pintavirtausta. Säviönvirran suulla on käytetty pintavirtausnopeuden arvona enimmillään 23 cm/s. (Häkkinen 2016, 26.)

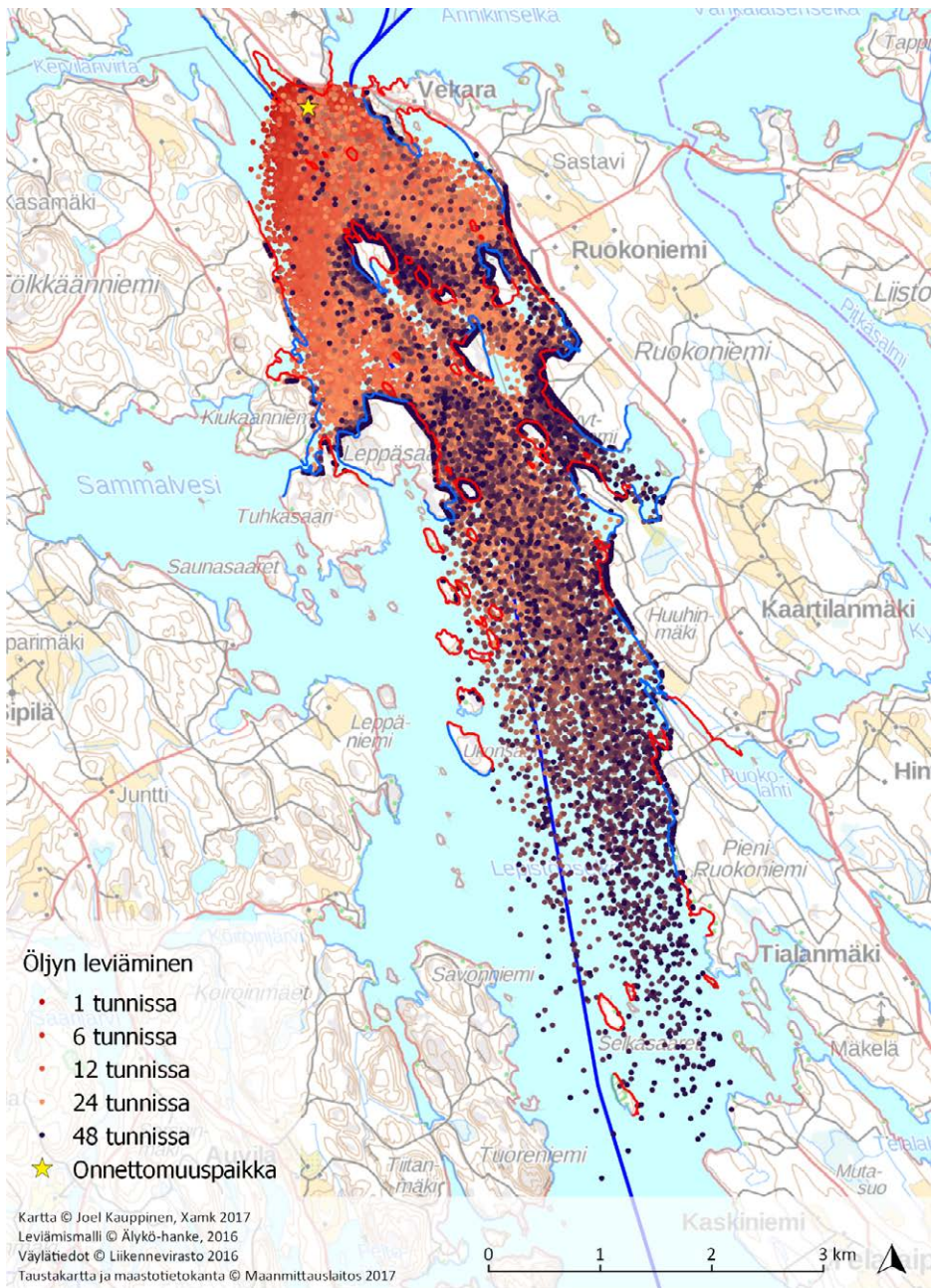
Öljyn leviäminen

Öljypäästön leviämisen vaikutusalueutta voidaan kuvata leviämisyöhykkeinä, joilla havainnollistetaan etäisimmän öljykulkeuman sijaintia. Kuvassa 8 on esitetty Vekaransalmessa tapahtuneen 25 tonnin kevytpolttoöljyvuodon leviämisen

vyöhykkeet eli konveksit 6, 12, 24 ja 48 tunnin välein ja kuvassa 9 on esitetty 25 tonnin öljyvudon leviämispisteet 1, 6, 12, 24 ja 48 tunnin välein.



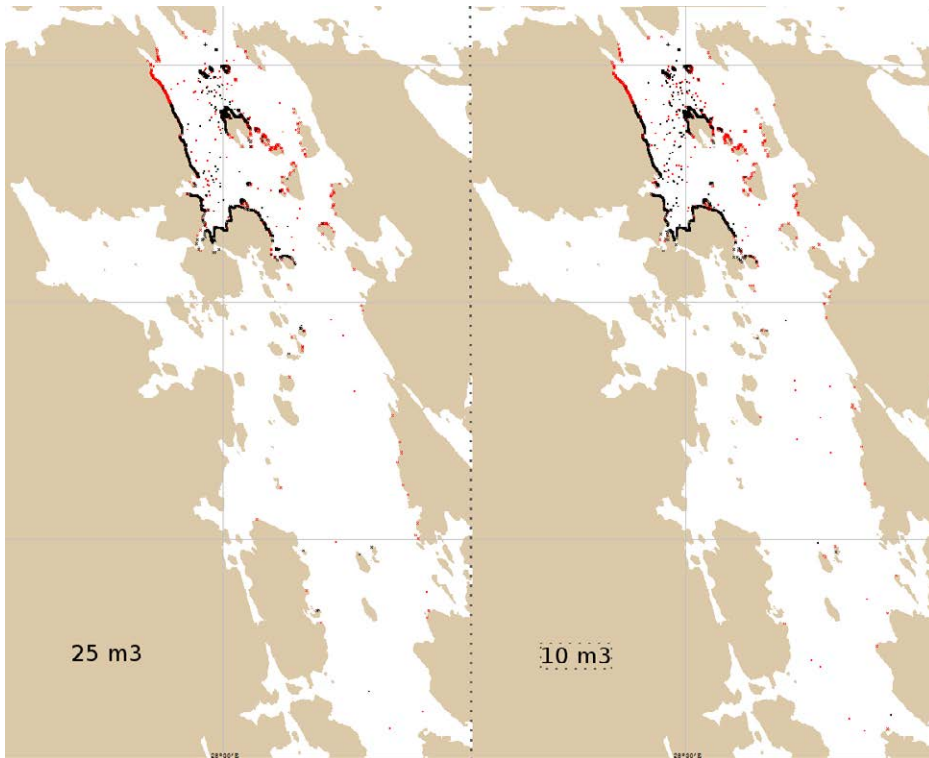
KUVA 8. Vekaransalmessa tapahtuneen 25 tonnin öljyvahingon leviämiskonveksit 6–48 tunnin välein (kuva Joel Kauppinen 2017).



KUVA 9. Vekaransalmessa tapahtuneen 25 tonnin öljyvahingon leviämispisteet 1 tunnista 48 tuntiin asti (kuva Joel Kauppinen 2017).

Leviämismallin konveksiviivojen sisään jää noin 100 kilometriä rantaviivaa. Altiina on 96 rantalohkoa ja 100 pientä, alle kilometrin ympärysmitaltaan olevaa saarta. Gnome-taustamallin tiedoista (ks. myös Häkkinen 2016, 69) voidaan päätellä öljypäästön suurimman osan rantautuneen 17–18 tunnin kuluessa öljypäästön alusta. Öljyvahingon painopisteen voidaan siten arvioida olevan noin 50 kilometrin rantaviiva-alueella ja sen ylittävältä osalta öljyntyminen on vähäisempää. Toisin sanoen, mikäli öljylautan leviämistä ei saada pysähtymään, rantaa likaantuu kahden vuorokauden aikana reilu 50 kilometriä.

Öljypäästön määrä vaikuttaa varsin vähän leviämisen laajuuteen. Tätä havaintoa tukee myös Suomen ympäristökeskuksen SpillMod-leviämislaskelmien analysoinnista seurannut huomio, että öljyn määrä vaikuttaa ennemminkin alueiden likaantumisasteeseen kuin leviämisalueeseen. Öljylautan etenemispituudet ja vaikutusalueet riippuvat enimmäkseen tuulista ja virtauksista sekä öljyvudon kestosta (Jolma 2009, 10). Kuvassa 10 on vertailu 25 ja 10 tonnin leviämismalleista. Havaittavaa eroa leviämislajuuudessa ei ole nähtävissä.



KUVA 10. Vekaransalmessa tapahtuneen 25 ja 10 tonnin leviämismallien vertailu Gnome-mallinnusohjelman kuvakaappauksista. Öljymäärällä on pieni vaikutus öljyn leviämisalueeseen. Määrä vaikuttaa enemmän rannan öljyntyemisasteeseen (kuva Joel Kauppinen 2017).

Arvio syntyvän jätteen määrästä

Seuraavassa on laskettu tarkemmin ELSU-työn (Asikainen 2009, 96) tapaan 25 tonnin kevytpolttoöljyn leviäminen 100 kilometrille rantaviivaa. Laskennassa on oletettu, että öljy leviää voimakkaimmin vaikutusvyöhykkeen ensimmäisille 50 kilometrille loppupään likaantuessa lievemmin. Muutoin laskentaperusteet ovat samat kuin aiemmin taulukossa 1.

TAULUKKO 3. Vekaransalmen 25 tonnin öljyvudon leviäminen 100 rantaviivakilometrille ELSU:n laskentatapaa (Asikainen 2009, 96) käyttäen.

Arvio öljyntorjunnan aikana muodostuvasta vahinkojätteen määrästä 25 tonnin vuodossa YHT.				
Rantaviivan pituus [km]	25	25	50	100
Öljyä leviää laskennallisesti rannikkovyöhykkeelle [t]	10,00	10,00	5,00	25,00
Öljyä leviää laskennallisesti [kg / rantametri]	0,40	0,40	0,10	
Öljyvesiseoksissa öljyä [t]	2,50	2,50	1,25	6,25
Kerättävät 20 % öljyvesiseokset [t]	12,50	12,50	6,25	31,25
Maa-aineksissa 10 % öljyä [t]	4,00	4,00	2,00	10,00
Kerättävät maa-ainekset [t]	40,00	40,00	20,00	100,00
Maa-aineksissa 1 % öljyä [t]	0,14	0,36	0,07	0,57
Kerättävät maa-ainekset [t]	14,00	36,00	7,00	57,00
Öljyä kerätty yhteensä [t]	6,64	6,86	3,32	16,82
Ei saada talteen [t]				8,18
josta 2/3 haihtuu [t]				5,45
josta 1/3 uponnut tai imeytynyt alueelle, jota ei voi puhdistaa [t]				2,73
Jätettä kerätty yhteensä [t]	66,50	88,50	33,25	188,25

Laskelman mukaan öljyvesiseosta, jossa öljypitoisuus on 20 %, kerätään 31,25 tonnia. Lisäksi kerätään 100 tonnia maa-ainesta, jonka öljypitoisuus on 10 % ja noin 57 tonnia maa-ainesta, jonka öljypitoisuus on 1 %. Vahinkojätettä kerätään yhteensä noin 188 tonnia. Kahdeksan tonnia alkuperäisestä vuotomäärästä jää keräämättä. Tästä reilu viisi tonnia haihtuu ja vajaa kolme tonnia uppoaa tai imeytyy alueelle, jota ei voi puhdistaa. Laskelma on melko yhteneväinen Gnome-mallinnusohjelman tulosten kanssa. Mallinnuksessa rantautuneen öljyn

määräksi arvioidaan noin 12,4 tonnia (tässä 10,57 tonnia) ja ”hävinneen” öljyn määräksi noin 12,5 tonnia (tässä 8,18 tonnia). Gnome-mallinnusohjelman laskenta määrittelee rantautuneen ja kelluvan öljyn, haihtuneen ja dispersoituneen öljyn määrät on laskettu yhteen.

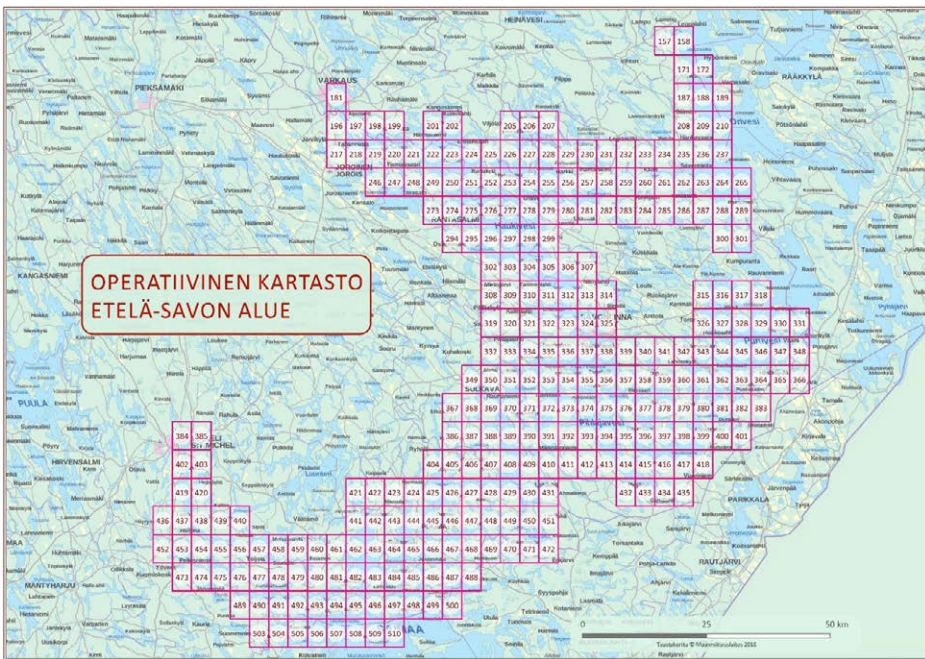
Taulukon 3 laskelman ja Gnome-mallinnuksen arvot kevyen polttoöljyn haihtumisesta (21–50 %) sijoittuvat muissa lähteissä annettuihin arvioihin. Esimerkiksi Fingasin (2015) kokeellisiin tutkimuksiin perustuvien laskentakaavojen mukaan dieselistä haihtuu kahdessa vuorokaudessa 15 °C:ssa noin 9–53 % riippuen dieselyypistä.

Laskelman perusteella kerättävä öljymäärä olisi noin 7,5-kertainen alkuperäiseen vuotoon nähden. Tapahtuneiden vahinkojen valossa laskelman osuvuutta on vaikea arvioida. Lieksan öljyvahingossa 12 kuutiota kevyttä polttoöljyä valui jokeen rannalla sijanseen rakennuksen öljylämmitysjärjestelmästä vuonna 2016. Vahingon seurauksena öljyntyneitä maita poistettiin 35,5 tonnia, öljyisiä vesiä 43,8 tonnia, öljyntyntynyt muuta materiaalia (betonia, puuta) 23,9 tonnia ja torjuntajätettä 2 tonnia. (Ramboll Finland 2016.) Jättemäärä oli siten 8,8-kertainen vuotaneeseen määrään verrattuna. Toisaalta Leppävirralla Paukarlahdessa lokakuussa 2011 säiliöautolle sattuneen 16 kuution jäteöljyvahingon seurauksena noin 1425 tonnia pilaantuneita maa-aineksia ja noin 175 tonnia öljyisiä vesiä toimitettiin ongelmajätteiden käsittelyyn. Kokonaisjättemäärä oli siten yli satakertainen alkuperäiseen vuotoon nähden. (Ramboll Finland Oy 2011.)

Keräystyössä syntyy myös muuta öljypitoista jätettä, jota ei ELSU-laskelmassa huomioida. Näitä ovat öljyntynyt sekajäte sekä riskijäte, johon sisältyy muun muassa öljyn tahrinat linnut ja eläinten puhdistuksessa ja hoidossa syntyvä jäte. Riskijäte on määrältään niin vähäistä, ettei se vaikuta suuresti kokonaisjättemäärään. Se edellyttää kuitenkin erillistä keräys- ja kuljetuskanavaa. Sekajätettä sen sijaan saattaa syntyä paljonkin. Sekajätteeseen kuuluu mm. rannansuojamatot ja muut imeytysmateriaalit, sekä torjuijen henkilökohtaiset suojarusteet, käsi- neet ja kertakäyttösuojahaalarit. Syntyvän sekajätteen määrää on vaikea arvioida. Paukarlahden kevytpolttoöljyvahingossa sekajätettä (öljynimeytyspuomeja ja öljyntyneitä työvälineitä) syntyi 2 tonnia, mikä on noin 0,1 % kokonaisjättemäärästä. Lieksassa öljynimeytysmateriaalia kuljetettiin käsiteltäväksi 2,7 tonnia (2,5 % kokonaisjättemäärästä). (Ramboll Finland Oy 2011; Ramboll Finland 2016.) Näiden esimerkkien perusteella Vekaransalmen kevytpolttoöljyvahingossa voisi syntyä noin 2,5 tonnia sekajätettä. Jättemääriin vaikuttavien muuttujien suuren määrän vuoksi arvioidut määrät ovat vain suuntaa antavia.

Jätteen kuljetusketju ja kartastojen käytön havainnollistaminen

Vekaransalmen vahinkopaikka sijaitsee Etelä-Savon pelastustoimen alueella. Etelä-Savon pelastuslaitoksen kartaston avulla nähdään, että vahinkopaikka sijoittuu karttalehdelle nro 369. Karttalehti on esitetty liitteessä 1. Kartastot ovat valittavana joko merikartta- tai maastokarttaphjalla. Kartaston indeksisivulle on rakennettu linkitys, joka avaa karttalehtiruutua klikkaamalla kyseisen alueen kartan. Paluu indeksisivulle tapahtuu kartan vasemmasta alareunasta. Kartaston pääasiallinen käyttöympäristö on BORIS 2.0-tilannekuvajärjestelmä.



KUVA 11. Etelä-Savon kartaston indeksisivu (kuva Joel Kauppinen 2017).

Karttalehdeltä 369 havaitaan, että vahinkopaikkaa lähin logistinen piste on ES_K_36. Seuraavaksi lähimmät pisteet ES_K_34 ja 35 löytyvät karttalehdeltä 371, mutta niissä on opeointitilaa rajoitetummin. ES_K_36-kohdekortin mukaan pisteessä on veneramppi ja se sijaitsee lähellä pelastuslaitoksen öljyntorjuntavarikkoa. Vaikka alue lossirannan vieressä on suhteellisen pieni, sitä puoltaa sen sijainti hyvin lähellä vahinkopaikkaa. Virran yläpuolinen tukipiste on siinä

mielessä hyvä, ettei aluksiin mahdollisesti tarttunut öljy irrotessaan leviä täysin puhtaille alueille. Toisaalta alukset joutuvat palaamaan jätekuorman kanssa vastavirtaan. Suuremmat jäte-erät kannattaa viedä suoraan välivarastointipisteisiin ES_V_22 ja/tai ES_V_24. Molemmat ovat satama-alueita, joissa on operointitilaa. Välivarastointipisteen ES_V_24 kohdekortti on esitetty liitteessä 2.

Vahinkopaikan eteläpuolella lähimmät logistiset pisteet ovat ES_K_41 ja ES_K_43 (karttalehti 427) ja ES_K_44 (karttalehti 425). Näiden välivarastointin tukikohtana voisi toimia ES_V_48 (karttalehti 444). Pisteet ovat melko kaukana, mutta alueella sijaitsee pelastuslaitoksen öljyntorjuntavarikko, jolloin jätekuljetuksia voi optimoida muun torjuntakaluston tai huollon kuljetusten yhteyteen. Alue on sorapohjainen, joten maapohjan suojuuksista tulee huolehtia.



KUVA 12. Välivarastointipiste ES_V_48 (kuvat Joel Kauppinen 2016).

Vapaaehtoisten torjuntajoukkojen kuljetuksen vahinkopaikalle voisi järjestää esimerkiksi pisteen ES_K_31 (karttalehti 349) kautta. Piste on venesatama, jossa on palvelut saniteettitiloineen. Piste on hieman syrjimmässä jätekuljetusten reiteistä, joten henkilökuljetukset eivät kuormittaisi samoja liikenneväyliä tai parkkitilaa. Henkilökuljetuksiin voidaan käyttää, puhdistettavien alueiden sijainnista riippuen, myös lähimpiä lossirantoja tai muita pelastusviranomaisen hyväksi havaitsemia paikkoja.

Edellä esitetyt kuljetuspistevaihtoehdot ovat esimerkkejä. Vahinkotilanteessa paikallistuntemusta omaava henkilö pystyy vahingon painopisteen perusteella valitsemaan soveltuvampia kohteita ja ottamaan käyttöön lisää logistisia pisteitä. Nykyisillä karttaohjelmistoilla on nopeasti saatavissa tarkkaa, päivittyvää paikatietoa. Valmiiksi dokumentoidut pisteet on siksi pyritty rajaamaan ”pysyvimpiin” staattisen aineiston päivytystarpeen minimoimiseksi.

TAULUKKO 4. Kuljetusvaihtoehtojen vertailua Vekransalmen 25 tonnin öljyvahingon torjuntaoperaatioissa.

Jätejää	Määrä	Logistinen piste	Loppukäsittelypaikka- vaihtoehdot	Vastaanotto- kapasiteetti	Etäi- syy (km)	Kuljetusmuoto	CO2- päästöt* (g)	Kuljetus- kustannus (€)
Öljyvesiseos (öljypit. 20 %)	25 t	ES_K_36 (Lohilahdentie, Sulkava)	Nousialan jäteasema, Savonlinna	10-20 m ³	66	Hinattavat säiliöt,	164 000-	490-1696
			Metsä-Sairilan jätekeskus, Mikkeli JL-Terminaali, Joensuu L&T käsittelylaitos, Jyväskylä L&T käsittelylaitos, Lahti	kymmeniä m ³ 150-300 m ³ 150 t 300 t	100 195 228 214	tyhjennys imuautoihin (3 autoa)	567 000	
	6,25 t	ES_V_48 (Lohentie 77 Puumala)	Metsä-Sairilan jätekeskus, Mikkeli	kymmeniä m ³	66	Nestekonteissa	55 000-	164-556
			Nousialan jäteasema, Savonlinna L&T käsittelylaitos, Lahti L&T käsittelylaitos, Jyväskylä JL-Terminaali, Joensuu	10-20 m ³ 300 t 150 t 150-300 m ³	86 198 206 224	(7 kpl 1 m ³ IBC-kontteja) tyhjennys imuautoon tai konttien kuljetus	186 000	
Öljyinen maa-aines 1 (öljypit. 10 %)	100 t	Väivarastointi- pistein kautta ES_V_24 (Vuohisaarenselkä, Savonlinna)	Nousialan jäteasema, Savonlinna	satoja tonneja	9	IBC-konteissa ja	52 000-	156-5034
			Metsä-Sairilan jätekeskus, Mikkeli Kukkuoroimäen jätekeskus, Lpr Ekokem, Riihimäki	4000-5000 t	107 154 290	vaihtolavoilla (7 kuorma-autollista)	1 684 000	
Öljyinen maa-aines 2 (öljypit. 1 %)	57 t		Nousialan jäteasema, Savonlinna	satoja tonneja	9	IBC-konteissa ja	30 000-	89-1061
			Metsä-Sairilan jätekeskus, Mikkeli	4000-5000 t	107	vaihtolavoilla (4 kuorma-autollista)	355 000	
Öljyinen sekajäte (torjuntavälineet, imeytys-puomit)	2 t	ES_K_36 (Lohilahdentie, Sulkava)	Ekokem, Riihimäki		285	Suursäkeissä vaihtola- valla	246 000-	737-781
			L&T käsittelylaitos, Tuusula (vaa- rallisen jätteen terminaalin kautta)		308	(1 kuorma-auto)	261 000	
Öljyinen sekajäte (kerääjien suo- ja-asut ym.)	0.5	ES_K_31 (Alanteentie 9 Sulkava)				Kuormat yhdistetään ja kuljetetaan Lohilahden- tien pisteestä Alanteen- tien kautta käsittelyyn.		
Yhteensä	190,75					Kuljetettava matka yhteensä: 660-3674 km	547 000- 4 727 000	1 637-9 129

Lähimpänä sijaitsevat öljyvahinkojätteen vastaanottopaikat ovat Savonlinnan seudun jätehuolto Oy:n Nousialan jäteasema Savonlinnassa ja Metsä-Sairilan jätekeskus Mikkelissä. Nousialassa on öljy-vesiseoksille 20 kuution lämmitettävä säiliö, jossa öljy johdetaan koalisattorierottimen läpi. Säiliössä pyritään aina pitämään vapaana 10 kuution vastaanottokapasiteetti, mutta säiliön täyttyessä kokonaan se saadaan käsiteltyä ja tyhjennettyä muutamassa päivässä (Myllys 2015). Jos öljy-vesiseosta voidaan varastoida muutaman päivän ajan, kaikki case-tarkastelussa syntyvä jätemäärä (noin 31 tonnia) olisi siis mahdollista käsitellä Nousialan jäteasemalla. Lisäksi Metsä-Sairilan jäteasemalla nestemäisiä öljyisiä jätteitä käsitellään geotubilla. Esimerkiksi Puumalan pisteestä ES_V_48 olisi lyhyin matka kuljettaa nestemäinen jäte Metsä-Sairilaan. Vaihtoehtoisesti öljy-vesiseokset voitaisiin kuljettaa myös JL-Terminaalin käsittelylaitokseen Joensuuun tai Lassila & Tikanojan Lahden tai Jyväskylän käsittelylaitoksiin, mutta näihin kaikkiin käsittelylaitoksiin on selvästi pidempi matka (taulukko 4).

Sekä Nousialan jäteasema että Metsä-Sairilan jätekeskus ottavat vastaan pilaantuneita maita ja käsittelevät niitä kompostoimalla. Vaikka Nousialan jäteasema on kohtuullisen pieni, vastaanottokapasiteetti (satoja tonneja) riittäisi tämän case-tarkastelun jätemäärille. Vastaanottokapasiteettiin kuitenkin vaikuttaa tilannekohtaisesti kuinka paljon kompostointikentällä on vapaata tilaa. Voimakkaat öljypitoisuudet voivat rajoittaa kompostointikäsittelyä, mutta Metsä-Sairilassa lähtöpitoisuuksille ei ole ylärajaa (Gråsten 2015) ja myös Nousialan jäteasemalle otetaan vastaan voimakkaasti pilaantuneita öljymaita, joissa pitoisuus on 2–10 % (Savonlinnan Seudun Jätehuolto Oy 2017). On kuitenkin mahdollista, että case-tarkastelussa voimakkaasti pilaantuneita maita voitaisiin joutua kuljettamaan Ekokemille Riihimäelle poltettavaksi.

Itä-Suomessa ei käsitellä kiinteää öljyjätettä, joten se kuljetettaisiin todennäköisesti Ekokemille Riihimäelle. Lisäksi esimerkiksi Lassila & Tikanojalla on Tuusulassa vaarallisen jätteen käsittelylaitos, jossa kiinteä öljyjäte käsitellään mm. linkoamalla. Käsittelyn jälkeen materiaalista hyödynnetään metallit ja energijäte. Jätteestä erotettu öljy toimitetaan edelleen käsiteltäväksi (ESA-VI/113/04.08/2010). L&T:llä on vaarallisten jätteiden terminaaleja (mm. Joensuussa ja Jyväskylässä) ja he kuljettavat jätteet tapauskohtaisesti joko suoraan tai terminaalien kautta käsiteltäväksi.

Jätteiden kuljetus tapahtuu kuorma-autoilla tai imuautoilla. Yhdistelmä- ja/tai imuautojen säiliökoot vaihtelevat 8–14 kuution välillä. Kiinteiden jakeiden vastaanottoon soveltuvien bulk-lavojen koko vaihtelee 18–24 kuution välillä (Taa-

likka 2017). Käytännössä lavalla voidaan kuljettaa noin 15 tonnia pilaantunutta maata (Itälä 2016). Taulukossa 4 imu-autojen lukumäärä arvioitiin käyttämällä kuljetuskapasiteettina 10 tonnia/auto ja kuorma-autojen lukumäärässä kuljetuskapasiteetiksi arvioitiin 15 tonnia/auto. Kaiken kaikkiaan jätteen kuljettamiseen arvioidaan tarvittavan 16 autokuormaa.

Kustannustarkastelu

Öljyvahingon torjunnasta ja jälkivaikutuksista koituu huomattavia kustannuksia. Ympäristöministeriö (2011) on arvioinut torjuntakustannuksia 30 000 tonnin alusöljyvahingossa, jossa torjuntatoimenpiteet kestävät kuukausia ja esimerkiksi rantatorjuijen määrä on parhaimmillaan jopa 10 000 henkilöä. Kokonaiskustannuksiksi arvioitiin 323 000 000 euroa eli noin 10 800 euroa/tonni. Arviossa on huomioitu mm. valtion öljyntorjunta-alusten kustannukset, helikoptereilla tehtävä ilmatiedustelu, rantojen puhdistuksen henkilöstökustannukset, pelastustoimen venekalusto ja öljyisen jätteen hävittämiskustannukset. Öljysäiliöalusten Erikan ja Prestigen onnettomuuksissa kustannusten kerrottiin olevan noin 10 600–28 300 euroa/vuotanut öljytonni. (Ympäristöministeriö 2011.) Golden Traderin Tanskan ja Ruotsin välillä vuonna 2011 sattuneessa onnettomuudessa kokonaiskustannusten laskettiin olevan 36 740 euroa/vuotanut öljykuutio, josta jälkitorjunnan osuus oli 24 640 euroa/vuotanut öljykuutio. Vuotomäärä oli noin 500 kuutiota. (Haapasaari 2017.)

Saimaalla öljyvahingon mittakaava on huomattavasti pienempi. Päästömäärät ovat pienempiä, mutta toisaalta rannat ovat lähellä, jolloin rantatorjunnan suhteellinen osuus voi olla vesikeräystä suurempi. Rantatorjunnan kustannukset ovat suuremmat kuin öljyn kerääminen vedestä.

Vekaransalmen case-tarkastelussa torjunnassa olisi käytössä yhdeksän venettä, (Sulkavalta 2, Puumalasta 2, Lohikoskelta 1, Savonlinnasta 2 ja JärviPelastajilta 1). Kerääviä aluksia olisi käytössä Varkaudesta yksi ja Rantasalmelta yksi. Ilmatiedustelussa voitaisiin käyttää Rajavartioston helikopteria, Lentopelastusseuran pienkoneita tai droneja. Vedestä tapahtuvan torjunnan voidaan arvioida kestävän noin kaksi vuorokautta ja torjuntaan osallistuisi pelastuslaitosten henkilökuntaa arviolta 50 henkilöä. Rantatorjunnassa hyödynnettäisiin WWF:n joukkoja. Työhön voidaan arvioida osallistuvan 150 henkilöä noin viikon ajan. (Silmäri 2017.)

Suomen ympäristökeskuksen arviolaskelmissa torjuntaan osallistuvien henkilöiden tuntikustannukseksi työnantajalle on arvioitu 60 euroa/tunti. Vapaaehtoiset on oletettu palkattavan ja heille on arvioitu laskelmissa sama tuntikustannus. Vapaaehtoisten osalta ei ole olemassa valtakunnallista päätöstä siitä palkataan-ko heidät, vai maksetaanko heille päiväkorvausta ja mikä mahdollisen päiväkorvauksen suuruus olisi. Pelastuslaitoksen veneen päivän käyttökustannukseksi on arvioitu 1 800 euroa/vene/vrk. (Haapasaari 2017.) Rajavartiolaitoksen ilma-alusten lentotuntihinnat vaihtelevat 7 000 euron ja 11 000 euroa välillä kalustosta riippuen. (Ympäristöministeriö 2011).

Öljyvahinkojätteen kuljetus- ja käsittelykustannuksia Itä-Suomessa arvioitiin artikkelissa Öljyvahinkojätteen käsittelymenetelmien teknistaloudellinen tarkastelu. Karkeasti arvioiden kuljetuskustannukset ovat noin kaksi euroa/kilometri + alv (Karvonen 2016). Tätä arviota käyttäen Vekaransalmen case-tarkastelussa öljyvahinkojätteen kuljetuskustannusten arvioidaan olevan noin 1 600–9 100 euroa (sis. alv) riippuen siitä, voidaanko öljy-vesiseokset ja pilaantuneet maat vastaanottaa lähimpiin loppukäsittelypaikkoihin vai joudutaanko ne kuljettamaan kauemmas (taulukko 4).

Öljy-vesiseosten vastaanottohinnat yrityksiltä saatujen tietojen tai julkisten hinnastojen mukaan vaihtelevat Itä-Suomessa ja lähialueilla välillä 110–228 euroa /tonni (alv 0 %). Lietteiden vastaanottohinnat ovat 60–270 euroa/tonni (alv 0 %). Pilaantuneiden maiden vastaanottohinnat ovat 1 %:lle öljymaille Itä-Suomen alueella keskimäärin noin 70 euroa /tonni ja 10 %:lle öljymaille noin 140 euroa/tonni (alv 0 %). Öljyvahinkojätteen polttamisen arvioidaan maksavan karkeasti 340 euroa/tonni (alv 0 %). Näillä hintatiedoilla arvioiden jätteenkäsittelykustannukset Vekaransalmen case-tarkastelussa olisivat noin 26 000–57 000 euroa (sis. alv) jätteenkäsittelypaikasta riippuen.

Näiden kustannustietojen pohjalta laskettiin kustannusarvio Vekaransalmen case-tarkasteluun (taulukko 5). Kokonaiskustannuksiksi saadaan yli 900 000 euroa eli noin 37 900 euroa/vuotanut öljytonni, mikä on samalla tasolla kuin Golden Traderin onnettomuuden kustannukset. Kustannuksiin vaikuttavat lisäksi mm. työkoneiden vuokrat ja jätteiden välivarastointipaikkojen perustamiskustannukset, ostopalveluina yksityisiltä toiminnanharjoittajilta toteutettava puhdistus sekä tiedustelutoiminta. (Ympäristöministeriö 2011.) Myöskään torjunnassa käytettävien esim. imeytyspuomien ja varusteiden kustannuksia tai ympäristökonsultin kustannuksia ei ole huomioitu.

TAULUKKO 5. Kustannusarvio 25 tonnin öljyvahingon kustannuksista Vekaransalmen case-tarkastelussa.

	Arvioperusteet	Kustannukset yhteensä
Torjunta vedessä: Pelastuslaitoksen henkilöstö	50 hlö 12 h/vrk 2 vrk ajan 60 €/hlö/tunti	72 000 €
Rantatorjunta: vapaa- ehtoiset ja pelastus- laitoksen henkilöstö	150 hlö 12 h/vrk 7 vrk ajan 60 €/hlö/tunti	756 000 €
Pelastustoimen venekalusto	2 vrk ajan 1800 €/vene/vrk	32 400 €
Ilmatiedustelu (raja- vartioston helikopteri)	3 tuntia 7000 €/tunti	21 000 €
Öljyvahinkojätteen kuljetuskustannukset	ks. taulukko 4	n. 1 600-9100 €
Öljyvahinkojätteen käsittelykustannukset	Öljy-vesiseos/ nestemäinen jäte (31 t): 60-228 €/t Pilaantuneet maat, öljypit. 1 % (100 t): 70 €/t Pilaantuneet maat, öljypit. 10 % (57 t): 140-340 €/t Öljyinen sekajäte (2,5 t): 340 €/t	n. 26 000-57 000 €
YHTEENSÄ		909 000-948 000 €

Case-tarkastelun kustannusarviossa vahinkojätteen käsittelykustannukset ovat keskimäärin alle 5 % koko torjuntatyön kustannuksista. Käsittelykustannuksissa on huomattavaa eroa eri vastaanottoaikkojen välillä, mutta öljyvahinkojätteen käsittely lähialueella osoittautui yleisesti kokonaistaloudellisemmaksi kuin muualle kuljettaminen. Kuljetuskustannukset jäävät pidemmällekin vietyä alle 1 %:iin koko vahingon torjuntakustannuksista.

Kustannuksista suurin osa, yli 80 %, muodostuu rantakeräyksen kustannuksista. Laskelmassa käytetty keräyshenkilöstön määrä on arvioitu aiempien vahinkojen perusteella. Määrä voi tuntua suurelta, mutta vahingon levittäytyessä 50 kilometrille, on jokaisella rantatorjuntaan osallistuvalla henkilöllä kuitenkin yli 300 metriä tarkastettavaa tai puhdistettavaa rantaa. Torjunta vedessä muodostaa henkilökustannukset ja venekaluston kustannukset yhteenlaskettuna toiseksi suurimman kuluerän, joka on noin 11 % kokonaiskustannuksista. Tämän kustannuslaskelman perusteella yksi rantakeräysvuorokausi maksaa noin 108 000 euroa ja vastaavasti yksi vuorokausi vedestä keräämistä noin 52 200 euroa.

Yhteenveto

Saimaan kokoluokan öljyvahingossa syntyvä vahinkojätteen määrä voi olla huomattava, joskaan ei merialueilla tapahtuvan vahingon mittaluokkaa. Jätteen keräys ja kuljetusten järjestäminen kustannustehokkaasti ja ympäristöriskit minimoiden edellyttää hyvää etukäteissuunnittelua sekä käytettävissä olevan ajoneuvo- ja venekaluston sekä saarten ja mantereen lastauspaikkojen lisäksi myös loppukäsittelypaikkojen lastinkäsittelymahdollisuuksien tuntemista. Luodut kartastot ja kohdekortit toimivat logistiikan suunnittelun apuna. Vahingon sijainti ja likaantuneiden alueiden painopiste sekä vahinkojätteen tyyppi ratkaisee viimekädessä tarkoituksenmukaisimman kuljetusketjun.

Öljyvahingon torjuntakustannukset voivat nousta suuriksi. Lajittelulla, käsittelypaikan valinnalla ja lastierien koon optimoinnilla voidaan vaikuttaa kustannusten syntyyn, mutta ratkaisevampaa on maksimoida vedessä tapahtuva keräytyö ja estää rantamateriaalin likaantuminen.

LÄHTEET

Alastalo, Jarkko. 2010. *Vahinkojätteen merikuljetukset*. Artikkeliteoksessa Alusöljyvahingon rantatorjunta, SÖKÖ II -hankkeen taustaselvitykset. Sivut 497-518. Kymenlaakson ammattikorkeakoulun julkaisuja, Sarja A. Oppimateriaali. Nro 30. Kotka 2011. ISBN (PDF): 978-952-5963-03-8.

Asikainen, Asta 2009. *Merialueilla tapahtuvat öljyvuonnettomuudet. Raportti teoksessa Etelä- ja Länsi-Suomen jätesuunnitelma*. Taustaraportti. Jätehuolto poikkeuksellisissa tilanteissa. Sivut 9-102. Kaakkois-Suomen ympäristökeskuksen raportteja 1/2009. Kouvola. ISBN (PDF) 978-952-11-3566-8.

Bradley, Dough 2006. *European Market Study for BioOil (Pyrolysis Oil)*. Tutkimusraportti. 15.12.2006. Climate Change Solutions. Ottawa, Kanada.

Ekokem (ei vuosilukua). Astiavalinta. www-dokumentti osoitteessa <http://kuvapankki.ekokem.fi/portal/jateasiat/kiinteat_jatteet/?mode=showInfo&cid=375&searchTerm=ib> [Viitattu 12.1.2017]

ESAVI/113/04.08/2010. Ympäristölupapäätös. Lassila & Tikanoja Oyj, Tuusulan ongelmajätteiden vastaanottokeskus. Etelä-Suomen Aluehallintovirasto. Annettu 22.9.2010.

Fingas, Merv 2013. *The Basics of Oil Spill Cleanup*. CRS Press. ISBN 978-1-4398-6246-9.

Fingas, Merv 2015. *Oil and Petroleum Evaporation*. Handbook of Oil Spill Science and Technology, edited by Merv Fingas. Wiley, USA. ISBN: 978-0-470-45551-7.

Grästen, Jonne 2008. Öljyvahingot Etelä-Savossa – priorisointi- ja toimintamalli. Etelä-Savon ympäristökeskuksen raportteja 5/2008. Etelä-Savon ympäristökeskus. Mikkeli. ISBN (PDF) 978-952-11-3275-9.

Grästen, Jonne 2015. Kehityspäällikkö. Metsäsairila Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 20.10.2015 V. Malkille.

Haapasaari, Heli 2017. Ylitarkastaja. Suomen ympäristökeskus. Henkilökohtainen tiedonanto 20.1.2017 V. Malkille.

Hakala, Eini 2006. *Lastaus- ja purkaussuunnitelma öljyvuonnettomuudesta aiheutuvan öljyjätteen kuljetuksiin*. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, Merikapteeni (AMK).

Halonen, Justiina 2011. *Lastaus- ja purkaustoiminnot alusöljyvahingossa*. Artikkele teoksessa Alusöljyvahingon rantatorjunta, SÖKÖ II -hankkeen taustaselvitykset. Sivut 471-496. Kymenlaakson ammattikorkeakoulun julkaisuja, Sarja A. Oppimateriaali. Nro 30. Kymk, Kotka. ISBN (PDF) 978-952-5963-03-8.

Heikkilä, H. 2016. *Laivan teknisen kaavion käyttö onnettomuustilanteessa Saimaalla*. Opin- näytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, Insinööri (AMK) merenkulku. Saatavissa <<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2016112016555>>

Hietala, Meri & Lampela, Kari (toim.). 2007. *Öljyntorjuntavalmius merellä -työryhmän loppuraportti*. Suomen ympäristö 41/2007. Suomen ympäristökeskus. Edita Prima Oy, Helsinki. ISBN (PDF) 978-952-11-2913-1.

Holteberg, Nina 2014. *Mutagenic Potential of Spruce-derived fast Pyrolysis Oil measured by the Ames Salmonella assay*. Norwegian University of Science and Technology, department of Biology, Environmental Toxicology and Chemistry.

Häkkinen, Jouni-Juhani 2016. *Saimaan vesistön öljyvahinkoskenaarioiden mallintaminen*. Kymenlaakson ammattikorkeakoulun julkaisuja. Sarja B. Tutkimuksia ja raportteja nro 158. Kotka. ISBN (PDF) 978-952-306-168-2.

IMO (International Maritime Organization) 2008. *International Maritime Dangerous Goods Code*, Amendment 34-08. IMO Publishing. Exeter, UK: Polestar Wheatons Ltd.

ITRC (The Interstate Technology & Regulatory Council) 2011. *Biofuels: Release Prevention, Environmental Behavior and Remediation*. BIOFUELS-1. The Interstate Technology & Regulatory Council, Biofuels Team. Washington D.C.

Itälä, Petri 2016. Työpäällikkö, turvallisuusneuvonantaja. Joen Loka/JL-termiinaali Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 25.7.2016 V. Malkille.

Jolma, Kalervo 2009. *Kokonaisselvitys valtion ja kuntien öljyntorjuntavalmiuden kehittämisestä 2009–2018*. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Saatavissa <www.ymparisto.fi/download/none?name!%7BC9F9DF7E-0629.../39167>

Jätelaki 646/2011.

Karvonen, Jari-Pekka 2016. Myyntipäällikkö. Ekokem Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 29.1.2016 ja 13.4.2016 V. Malkille.

Kauppinen, Joel 2017. *Kartta-aineistot ja logistiikkapisteet öljyvahinkojätelogiikan hallintaan sekä tilannetiedon ylläpitoon*. ÄLYKÖ-hankkeen raportti.

Malk, Vuokko; Halonen, Justina & Sormunen, Arto 2016. *Ympäristövahinkoihin varautumista Saimaalla*. Teoksessa Soinin, H. & Dufva, K. & Kontinen, K. (toim.) *Materiaalit ja ympäristöturvallisuus; Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä*. Vuosijulkaisu 2016. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Sivut 89-99.

Mikkola, Jyri 2005. Öljyisen jätteen välivarastointi ja kompostointi Suomenlahdella tapahtuvan öljyonnettomuuden yhteydessä. Opinnäytetyö. Hämeen ammattikorkeakoulu, Ympäristöteknologia. Hämeenlinna

Myllys, Markku 2015. Työnjohtaja-neuvoja. Savonlinnan seudun jätehuolto Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 20.10.2015 V. Malkille.

Mänttari, Tuomas 2010. *Logististen pisteiden perustaminen suuren alusöljyvahingon torjunnassa*. Artikkeliteoksessa *Alusöljyvahingon rantatorjunta, SÖKÖ II -hankkeen taustaselvitykset*. Sivut 437-469. Kymenlaakson ammattikorkeakoulun julkaisuja, Sarja A. Oppimateriaali. Nro 30. Kotka 2011. ISBN (PDF) 978-952-5963-03-8.

Neste Oil 2015. *Neste low sulfur bunker fuels. Product information*. PDF-dokumentti. Saatavissa <<https://www.neste.fi/artikkeli/vaharikkiset-laivapolttoaineet>>

Pynnönen, Simo 2010. *Maakuljetusten järjestäminen alusöljyvahingon torjunnassa*. Artikkeliteoksessa *Alusöljyvahingon rantatorjunta, SÖKÖ II -hankkeen taustaselvitykset*. Sivut 601-639. Kymenlaakson ammattikorkeakoulun julkaisuja, Sarja A. Oppimateriaali. Nro 30. Kotka 2011. ISBN (PDF) 978-952-5963-03-8.

Ramboll Finland Oy 2011. *Paukarlahden säiliöauto-onnettomuus, Leppävirta. Öljyvahingon torjuntatyöt*. Toimenpideraportti 3.5.2011 (Työnro 82139642).

Ramboll Finland Oy 2016. *Lieskan [...] öljyvahinko*. Loppuraportti 30.12.2016.

Savonlinnan Seudun Jätehuolto Oy 2017. *Jätteiden lajittelu ja vastaanotto. Jäteaseman vastaanottohinnat 2017*. Saatavissa <http://www.savonlinna.fi/filebank/11297-jatteiden_vastaanottohinnasto_2017.pdf> [Viitattu 1.2.2017]

Silmäri, Jyri 2017. Pelastuspäällikkö. Etelä-Savon pelastuslaitos. Henkilökohtainen tiedonanto 1.2.2017 V. Malkille.

S.L. Ross Environmental Research Ltd 2010. *Determine if Ohmsett is suitable for researching, testing and training in biofuel spill response*. Final report for US Department of the Interior. Ottawa, Ontario.

Suomen ympäristökeskus. Työkaluja BORIS-käyttäjille. Muita torjuntalinkkejä. Internet-sivusto osoitteessa <http://boris-kayttajat.fi/wordpress/?page_id=172> [Viitattu 12.1.2017]

Taalikka, Lasse 2017. Yksikönpäällikkö. Lassila & Tikanoja Oyj. Henkilökohtainen tiedonanto 1.7.2016, 6.7.2016 ja 12.1.2017 V. Malkille.

TOKEVA 2012 -toimintaohjeet. Ladattavissa <http://www.pelastusopisto.fi/fi/tutkimus_ ja_tietopalvelut/tutkimus_ ja_kehittamispalvelut/paattyneet/tokeva>

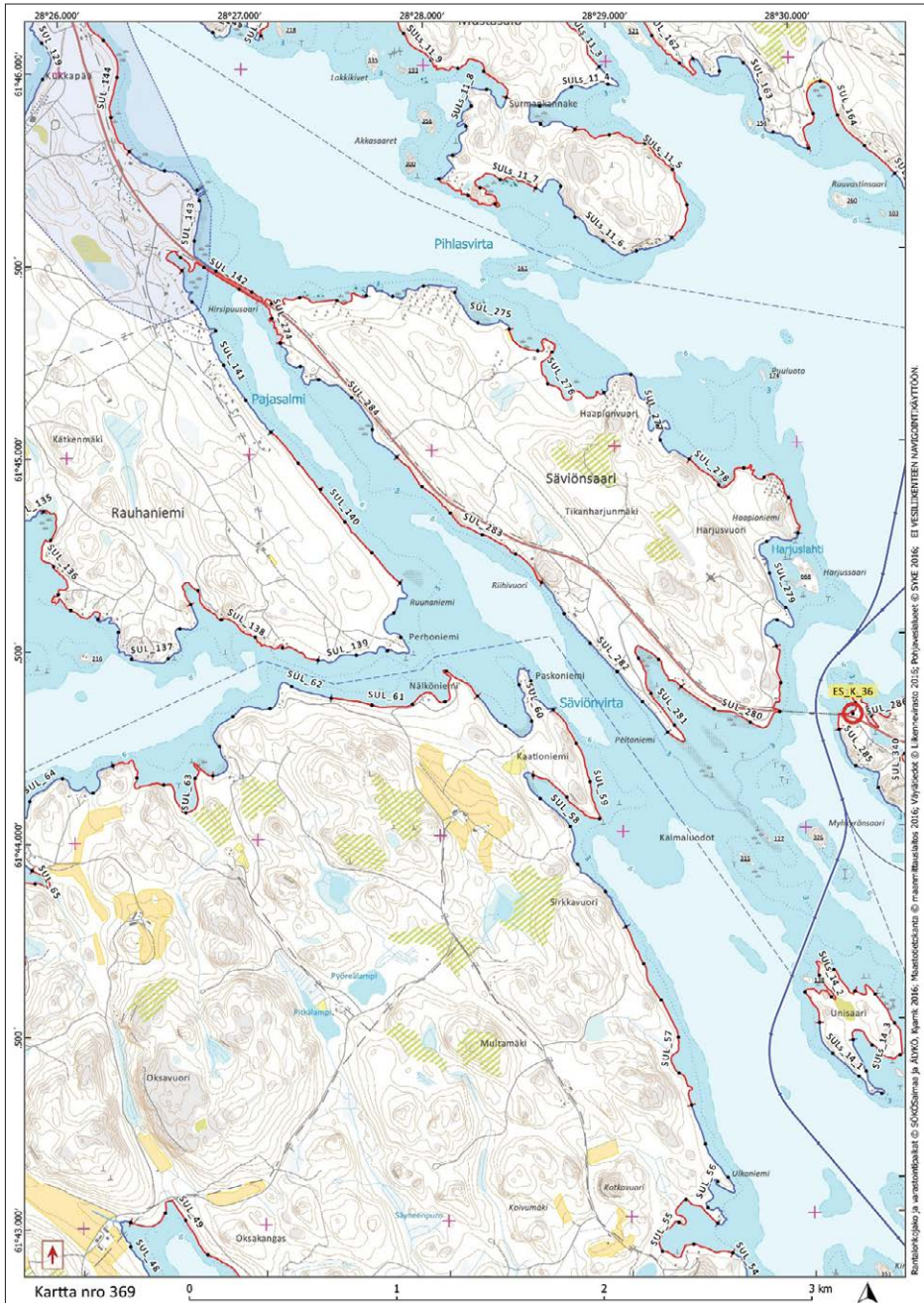
Uotila, Jussi 2015. Tekninen johtaja. Savaterra Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 21.10.2015 V. Malkille.

Väisänen, Jukka 2015. Liikennevirasto. Suullinen tiedonanto Öljyntorjunnan koulutuspäivillä Leppävirralla 27.5.2015.

Ympäristöministeriö 2011. *Toiminta isoissa alusöljyvahingoissa. Torjunnan järjestäminen, johtaminen ja viestintä.* Ympäristöministeriön raportteja 26/2011.

Öljyvahinkojen torjuntalaki 1673/2009.

LIITE 1 Rantalohko-kartta ja logistiset pisteet



LIITE 2 Kohdekortti (1/2)

LOGISTIKKAPISTE

ES_V_24

(varastointi ja keräys)

OSOITE: Inkilänkatu 33 Savonlinna

KOORDINAATIT	WGS84	ETRS-TM35FIN
LAT	61° 50.61912	P 6858298
LON	28° 56.78826	I 602462

LISÄTIEDOT: Satama, telakka, teollisuusalue.

KARTTALEHTI NUMERO: 338, Etelä-Savon alueen kartasto



LIITE 2 Kohdekortti (2/2)



ÖLJYVAHINGOJÄTTEEN KÄSITTELY ITÄ-SUOMESSA

Vuokko Malk

Öljyvahingossa syntyvän jätteen määrä on moninkertainen vuotaneeseen öljyyn verrattuna. Syntyvä jäte on yleensä pilaantunutta maa-ainesta, öljy-vesiseosta/ lietettä, tai kiinteää öljyjätettä (esim. suojahansikkaat ja haalarit, imeytyspuomit ja -matot). Jäte voi myös olla orgaanista materiaalia, kuten öljyistä kaislikkoa ja oksia, tai kuolleita eläimiä kuten lintuja. Öljyllä pilaantuneita maita käsitellään useimmiten kompostoimalla, ja öljyisiä vesiä voidaan käsitellä esimerkiksi mekaanisesti erottamalla, haihduttamalla, kemiallisesti saostamalla tai ultrasuodattamalla, ja lopulta polttamalla. Usein jäte voidaan joutua kuljettamaan käsiteltäväksi tai loppusijoitettavaksi jopa satojen kilometrien päähän.

ÄLYKÖ-hankkeessa kartoitettiin öljyvahinkojätteen vastaanottoaikat ja käsittelymahdollisuudet Itä-Suomessa ja lähialueilla. Öljyvahinkojätettä vastaanottavat jäteasemat listattiin pelastuslaitosten öljyntorjuntasuunnitelmien sekä ohjausryhmän avulla ja listaa täydennettiin tiedon karttuessa. Tietoa jäteasemien vastaanottokapasiteeteista, käytössä olevista käsittelymenetelmistä ja toiminnasta vahinkotilanteessa kerättiin ympäristöluvista ja puhelinhaastatteluilla. Kartoituksen tavoitteena oli selvittää öljyvahinkojätteen käsittelymahdollisuuksien nykytila alueella, tunnistaa mahdolliset kehitystarpeet, sekä antaa suosituksia jatkotoimenpiteistä, jotta mahdollisesti turhaa jätteen kuljetusta voitaisiin välttää ja kunnostus voitaisiin toteuttaa mahdollisimman vähän ympäristöä kuormittavalla ja vähähiilisellä tavalla.

Pilaantuneiden maiden käsittely

Itä-Suomen alueella öljyllä pilaantuneita maita ottaa tällä hetkellä vastaan kymmenen jätekeskusta/toimijaa (taulukko 1). Lievästi pilaantuneet maat loppusijoitetaan yleensä suoraan tavanomaisen jätteen kaatopaikoille tai hyötykäytetään kaatopaikan rakenteissa. Voimakkaammin pilaantuneet maat käsitellään pääosin kompostoimalla tai loppusijoitetaan vaarallisen jätteen kaatopaikalle. Suurin käsittelykapasiteetti on Riikinnevan, Sorsasalon ja Jyrin käsittelyasemilla, joissa käsittelykentän koko on yli hehtaarin tai käsittelyyn mahtuva määrä yli 10 000 tonnia. Määrien havainnollistamiseksi yhden maansiirtoauton kuljetuskapasiteetti on noin 15 tonnia eli näiden jätekeskusten käsittelykapasiteetti vastaa useita satoja rekka-autollisia maata. Metsä-Sairilan ja Kontiosuon jäteasemille mahtuu maita käsiteltäväksi joitakin tuhansia tonneja. Sen sijaan Kuopion jätekeskuksessa, Peltomäen jätteenkäsittelykeskuksella ja Nousialan jäteasemalla toiminta on suhteellisen pienimuotoista (käsittelykentälle mahtuva määrä kymmeniä tai satoja tonneja). Lievästi pilaantuneiden maiden vastaanottokapasiteetti on suurempi.

Vastaanotto

Öljyllä pilaantuneet maat otetaan yleensä vastaan pilaantuneiden maiden käsittelykentälle. Käsittelykenttä on useimmiten asfaltoitu, ja siinä voi olla matalat reunat, jotka estävät öljyn tai öljyisen veden valumisen kentän ulkopuolelle. Valumavedet ohjataan öljynerotuskaivoon. Osassa paikoista maat, joissa pituisuudet ovat hyvin suuret ja öljy valuvaa, otetaan ensin vastaan valutusaltaisiin ennen käsittelykentälle siirtämistä. Riikinnevalle ja Kontiosuon jätekeskuksella on mahdollisuus pikarakentaa vastaanottoalueet tiivisasfalttikentälle, tai muovien päälle suuremmille liettyneille maamassoille. Näin voidaan tarvittaessa vastaanottaa useampia tuhansia kuutioita liettyneitä öljyisiä maita. (Pönni 2017, Karhu 2015.)

Vastaanotettavien maiden enimmäispitoisuus öljyhiilivedyille on Jyrin käsittelyasemalla 25 000 mg/kg. Mustankorkealla vastaanotto ratkaistaan tapauskohtaisesti, jos öljypitoisuus on yli 20 000 mg/kg. Kontiosuon jäteasemalla kompostoitavaksi otettavan maan öljypitoisuus voi olla korkeintaan 10 000 mg/kg. Muilla jätekeskuksilla ei ole määritelty enimmäispitoisuutta.

Osa jäteasemista voi ottaa orgaanista öljyvahinkojätettä kuten öljyyntynyttä kaislikkoa tms. kompostoitavaksi pilaantuneiden maiden käsittelykentälle. Esimerkiksi Riikinnevan jäteasemalla orgaaninen materiaali kuitenkin ohjattaisiin ennemmin vietäväksi muualle polttoon, mutta tilanteet ratkaistaan tapauskohtaisesti. Orgaaninen materiaali voi rajoittaa maan hyötykäyttöä tai loppusijoitusta käsittelyn jälkeen.

TAULUKKO 1. Pilaantuneiden maiden vastaanotto, käsittely ja loppusijoitus (T=tavanomaisen, P=pysyvän ja V=vaarallisen jätteen kaatopaikka) kartoitetuissa jätekeskuksissa.

Jätekeskus/toimija	Kunta	Vastaanottokapasiteetti kerralla (voimakkaasti pilaantuneet maat)	Vastaanotto- kapasiteetti t/a	Käsittely	Loppusijoitus
Nousialan jäteasema (Savonlinnan Seudun Jätehuolto Oy)	Savonlinna	Satoja tonneja (muutamia kymmeniä rekallisia)	500 t/a 5000 t/a ^a	Kompostointi	T
Metsä-Sairilan jäteasema (Metsäsairila Oy)	Mikkeli	Kenttä 4000-5000 t	30 000 t/a	Kompostointi (huokoskaasu-käsittely, terminen käsittely ^b , pesu ^b , stabilointi/ kiinteytys)	T
Lehmisuon kaatopaikka (Savaterra Oy) EI KÄYTTÖSSÄ!	Rantasalmi	Kenttä 20 000 t	50 000 t/a	(Terminen käsittely ^b)	T ^d
Kuopion teollisuusjätekeskus, Sorsalaso (Ekokem Oy)	Kuopio	Väh. 10 000 t	25 000 t/a	Biologinen käsittely/kompostointi, (alipainekäsittely, stabilointi/ kiinteytys, sienikäsittely)	T V
Riikinnevan käsittelykeskus (Keski-Savon Jätehuolto Liikelaitos-kuntayhtymä / Lassila & Tikanoja Oy)	Leppävirta	Väh. 10 000 t (kenttä 2 ha, allas 250 m ³ , lisäksi mahdollisuus pikarakentaa lisäaitaita)	10 000 t/a 30 000 t/a ^a	Kompostointi, stabilointi/ kiinteytys	T P V
Peltomäen jätteenkäsittelykeskus (Ylä-Savon jätehuolto Oy)	Iisalmi	Kenttä < 30 t		Kompostointi	T
Kuopion jätekeskus (Jätekuikko Oy)	Kuopio	Kenttä 100 t	1000 t/a 25 000 t/a ^a	Vain vastaanotto ^c , toimitus muualle käsiteltäväksi	T ^c
Kontiosuon jäteasema (Puhas Oy)	Joensuu	4000-5000 t (kenttä 0,15 ha/ allaat 500 m ³). Enimmäispitoisuus 10 000 mg/kg.		Kompostointi, (siirrettävä kalusto mahdollinen)	T
Jyryn käsittelyasema (Outokummun kaupunki)	Outokumpu	Kymmeniä tuhansia tonneja (kenttä 10 ha) Enimmäispitoisuus 25 000 mg/kg		Kompostointi, (siirrettävä kalusto mahdollinen)	T ^d V
Joensuun vaarallisen jätteen terminaalit (Lassila & Tikanoja Oy)	Joensuu	Kymmeniä tonneja (kuormataan nestetiiville bulk-lavoille)	900 t/a	Vain vastaanotto, toimitus muualle käsiteltäväksi	
JL-termiinaali/Joen Loka	Joensuu	noin 20 t		Vain vastaanotto, toimitus muualle käsiteltäväksi	
Ekokymppi Majasaaren jätekeskus (Kainuun jätehuollon kuntayhtymä)	Kajaani	Tuhansia tonneja (kenttä 1 ha, allas 250 m ³)	20 000 t/a	Kompostointi, turvetuhkan-kapselointi lyijymaille	T
Mustankorkea	Jyväskylä	Kymmeniä tuhansia tonneja (kenttä 2 ha, allaat 600 m ³) Enimmäispitoisuus 20 000 mg/kg tai tapauskohtaisesti	100 000 t/a	Kompostointi, huokosilma-käsittely, (stabilointi/ kiinteytys, terminen käsittely ^b)	T V

() Menetelmä ei ole aktiivisessa käytössä, ^a Lievästi pilaantunut maa, ^b Siirrettävä laitteisto, ^c Kuopion jätekeskuksella vuonna 2015 myönnetty ympäristöluupa myös vaarallisen jätteen kaatopaikalle, ^d Sujuttu yhdyskuntajätteen kaatopaikka, jonka täytössä/rakenteissa lievästi pilaantuneita maita voidaan hyödyntää.

Pilaantuneiden maiden kompostointi

Öljyllä pilaantuneet maat käsitellään pääasiassa kompostoimalla, ellei niitä si-
joiteta tai hyödynnetä suoraan kaatopaikalle. Kompostointi on käytössä lähes
kaikilla kartoituksessa mukana olevilla jäteasemilla. Kompostointikäsitteilyiden
toteuttamisessa on kuitenkin eroja jätekeskusten välillä. Kompostoinnin toteu-
tus riippuu myös mm. öljypitoisuudesta. Useilla jäteasemilla maat kompostoi-
daan pääosin sellaisenaan. Maita käännellään pari kertaa vuodessa ja samalla
otetaan näytteet pitoisuuksien seuraamiseksi. Esimerkiksi Nousialan jätease-
malla kompostoinnin kerrottiin kestävän tällä menettelytavalla tavallisesti noin
1,5 kesää (Myllys 2015). Jäteasemien kapasiteetti yleensä riittää pitämään kom-
postoitavia maita käsittelykentällä tämä ajan. Lisäksi esim. Kontiosuon jäte-
asemalta kerrottiin, että käytännössä jäteasemalle tulee enimmäkseen lievästi
pilaantuneita maita, joiden kompostointia ei ole ollut tarvetta tehostaa, vaikka
esim. tukiaineiden ja puhdistamolietteen lisäämistä on jäteasemalla kokeiltu ja
käytetään tarvittaessa (Karhu 2015).

Monilla jäteasemilla kompostointia tehostetaan tarvittaessa lisäämällä maata
kuohkeuttavia tukiaineita kuten kuoriketta tai öljykompostia (Gråsten 2015, Kar-
hu 2015, Karvonen 2015, Kinnunen & Piirainen 2015). Joillakin jäteasemilla or-
gaanisen aineen lisäämistä kompostoitavaan maahan kuitenkin vältetään, koska se
rajoittaa maiden hyötykäyttöä käsittelyn jälkeen tai maan sijoittamista vaarallisen
jätteen kaatopaikalle, jos pitoisuuksia ei saadakaan laskemaan riittävästi (Vuolle
2017, Pönni 2017). Tällöinkin kompostointia kuitenkin tehostetaan tarvittaessa
lisäämällä maahan ravinteita (Pönni 2017). Ilmastusta käytetään kompostoinnin
tehostamisessa myös useilla käsittelyasemilla (Jauhiainen 2017, Karhu 2015, Kar-
vonen 2015, Kinnunen & Piirainen 2015) Jyrin käsittelyasemalla kompostointia
tehostetaan lisäksi oman kaupungin biojätteen ja kuivatun jätevedenpuhdistam-
on lietteen Agbag-nimisellä kompostituotteella (Karvonen 2015). Puhdistamo-
lietettä on kokeiltu myös Kontiosuon jäteasemalla (Karhu 2015). Metsä-Sairilan
jäteasemalla kompostoinnin tehostamisena käytettiin aiemmin sienirihmasto-
a, mutta menetelmää ei ole tällä hetkellä saatavilla (Gråsten 2015). Majasaaren jä-
tekeskuksella kompostointi tapahtuu ilmastetuissa ja lämmitettävissä aumoissa.
Ilmastusilmaa voidaan lämmittää kaatopaikkakaasuilla, mikä tehostaa erityisesti
kompostoinnin käynnistymistä. Kompostoitavan maan sekaan voidaan sekoittaa
kuohkeuttamiseksi mm. biokompostia, murskattua puuta, lehtiä ja heinää tai van-
haa öljykompostia. Öljypitoisuuksia seurataan jatkuvatoimisesti kaasuanalysaat-
torilla, joka mittaa auman huokosilman öljypitoisuutta. Kompostointi kestää
tyypillisesti 3–4 kk. (Kinnunen & Piirainen 2016.)

Kompostointikäsittelyn tavoitepitoisuudet määräytyvät pilaantuneiden maiden loppusijoituksen ja hyötykäytön pitoisuusrajojen mukaan. Pitoisuusrajat on annettu ympäristöluissa, ja ne vaihtelevat jonkin verran jätekeskusten välillä. Useimmiten pitoisuusrajana öljyhiilivedyille on 2500 mg/kg, joka on Ympäristöhallinnon ohjeissa (2/2007) annettu suositus tavanomaisen jätteen kaatopaikan enimmäispitoisuudeksi. Riikinnevan käsittelykeskuksella kompostointikäsittelyn tavoitepitoisuutena öljyille voi olla käyttötarkoituksesta riippuen myös 500 mg/kg, joka on pysyvän jätteen pitoisuusraja-arvo kaatopaikkarakenteissa ja mahdollistaa käsiteltyjen maiden laajemman hyötykäytön (Pönni 2017). Majasaaren jätekeskuksella pitoisuusrajana on 2000 mg/kg (Kinnunen & Piirainen 2016). Kontiosuon jäteasemalla kompostoitavaksi ohjataan myös lievästi pilaantuneet maat, jos öljypitoisuus on yli 300 mg/kg (Karhu 2015).

Muut käsittelymenetelmät

Kompostoinnin lisäksi muita kartoitetuilla jäteasemilla käytössä olevia pilaantuneiden maiden käsittelymenetelmiä ovat huokoskaasukäsittely ja stabilointi/kiinteytys. Haihtuville yhdisteille kuten bensiinihiilivedyille soveltuvaan huokoskaasukäsittelyyn (alipainekäsittelyyn) on lupa Metsä-Sairilan, Sorsasalon ja Mustankorkean käsittelyasemilla (taulukko 1). Metsä-Sairilassa ja Sorsasalossa menetelmää ei kuitenkaan ole käytännössä käytetty, mutta molemmissa paikoissa käsittely saataisiin tarpeen vaatiessa toteutettua nopealla aikataululla (Gråsten 2015, Vuolle 2017).

Stabilointia ja kiinteytystä käytetään - tai niihin on lupa - muutamilla käsittelyasemilla, mutta näitä menetelmiä ei yleensä käytetä öljyllä pilaantuneille maille. Stabilointi ja kiinteytys voisi kuitenkin olla mahdollinen käsittelymenetelmä öljyllä ja muilla haitta-aineilla sekapilaantuneille maille. Lisäksi Majasaaren jätekeskuksella tehdään turvetuhkakapselointia lyijyllä ja lyijyn kaltaisilla metalleilla pilaantuneille maille (taulukko 1).

Siirrettäviin käsittelylaitteistoihin (pesu ja terminen käsittely) on lupa Metsä-Sairilassa, mutta menetelmät eivät ole olleet viime vuosina aktiivikäytössä (Gråsten 2015). Mustankorkealla on käytetty siirrettävää termistä käsittelylaitteistoa, mutta menetelmä ei ole tällä hetkellä käytössä (Burman 2016). Lisäksi Kontiosuon ja Jyrin käsittelyasemilla siirrettävien laitteistojen käyttäminen on tarpeen mukaan mahdollista (Karhu 2015, Karvonen 2015). Savaterra Oy:lä on Suomessa 2 siirrettävää polttolaitteistoa. Yhden laitteen kapasiteetti on

n. 200 000 t/vuosi. Savaterra Oy:llä on myös Rantasalmella Lehmisuon vanhalla kaatopaikalla ympäristölupa pilaantuneiden maiden käsittelyyn siirrettävällä polttolaitteistolla, mutta Rantasalmen vastaanottoasema ei kuitenkaan ole aktiivikäytössä eikä alueelle tällä hetkellä oteta vastaan pilaantuneiden maiden pieneriä. Yrityksen mukaan pilaantuneiden maiden käsittely siirrettävällä polttolaitteistolla ei ole ollut alueella kilpailukykyinen vaihtoehto, sillä pilaantuneiden maiden sijoittaminen kaatopaikoille on alueella edullista. Rantasalmen vastaanottoasema olisi kuitenkin mahdollista ottaa käyttöön, jos alueelle tulisi iso pilaantuneen maaperän käsittelyprojekti. (Uotila 2017.)

Loppusijoitus ja hyötykäyttö

Lievästi pilaantuneet maat voidaan loppusijoittaa suoraan tavanomaisen jätteen kaatopaikalle. Useimmiten maita voidaan hyötykäyttää esim. kaatopaikan täytössä, penkan muotoilussa ja kaatopaikan luiskissa. Kaikilla kartoituksen jätekeskuksilla on tavanomaisen jätteen kaatopaikka, tai esim. suljettu kaatopaikka, jonka täytössä/peitossa maa-aineksia voidaan hyödyntää (taulukko 1). Kaatopaikalle myös loppusijoitetaan tai, hyödynnetään kompostoimalla käsitellyt maat kun pitoisuudet ovat laskeneet riittävästi. Vaarallisen jätteen kaatopaikkoja on Sorsasalon, Riikinnevan ja Jyrin käsittelyasemilla (taulukko 1). Vaarallisen jätteen kaatopaikalle on mahdollista loppusijoittaa vaaralliseksi jätteeksi luokitellut pilaantuneet maa-ainekset.

Ympäristöhallinnon ohjeissa (2/2007) annettu suositus tavanomaisen jätteen kaatopaikan enimmäispitoisuudeksi öljyhiilivedyille on 2500 mg/kg. Hyötykäytössä kaatopaikkasijoituksen kelpoisuuskriteeriä tulisi käyttää vain pinta- ja pohjarakenteen mineraalisten tiivistyskerrosten välissä olevissa kerroksissa. Muissa pintakerroksissa lähtökohtana tulisi olla pysyvän jätteen kriteerit ja esi- ja päivittäispeitossa alemmat ohjearvot. (Ympäristöhallinto 2/2007, Reinikainen 2017.) Uusi PIMA-ohje (6/2014) ei enää sisällä kaivettuja maa-aineksia koskevia tekstejä, eikä valtioneuvoston asetuksessa kaatopaikoista (3331/2013) ei ole erikseen mainittu pitoisuusrajaa öljyhiilivedyille tavanomaisen jätteen kaatopaikalle.

Pitoisuusrajat vaihtelevat ympäristöluvuissa kaatopaikkojen välisesti, ja ne määritellään kaatopaikkakohtaisesti. Toimijoiden yhdenmukaisen kohtelun ja kuljetuksen minimoimisen vuoksi, loppusijoittamisen ja hyödyntämisen pitoisuusrajojen tulisi olla samat kaikilla pilaantuneiden maiden vastaanottajilla.

Tämä edistäisi kestäväää kunnostusta, pilaantuneiden maiden todellista kunnostusta ja kaatopaikkasijoittamisen vähentämistä. (Reinikainen 2017.)

Pilaantuneiden maiden vastaanottohinnat

Monella jäteasemalla pilaantuneiden maiden vastaanottohinnat on ilmoitettu hinnastoissa jäteasemien nettisivuilla, kun taas toisilla jäteasemilla vastaanottohinnat määräytyvät sopimusten perusteella. Öljypitoisuus vaikuttaa käsittelyyn, ja sitä kautta vastaanottohintaan. Maiden, joissa öljypitoisuus < 2500 mg/kg, vastaanottohinnat vaihtelevat välillä 10–35 e/t (alv 0 %). Voimakkaammin pilaantuneissa maissa eri jäteasemilla on erilaisia hinnoitteluja eri pitoisuusluokille, ja hinnoissa on myös paljon vaihtelua (35–245 e/t, alv 0 %).

Nestemäiset öljyiset jätteet

Öljyisen veden käsittelymahdollisuuksia on Itä-Suomessa selvästi vähemmän kuin pilaantuneiden maiden vastaanottoaikoja (taulukko 2). Melko monet jätekeskukset ottavat vastaan nestemäistä jätettä - kuten öljynerotuskaivolietetteitä - mutta öljyisiä vesiä ottaa vastaan ja käsittelee vain muutama toimija.

Öljy-vesiseokset

Kuopiossa Ekokemin Heinälammirinteen vaarallisten jätteiden vastaanottoasemalla on 90 m³ säiliö öljy-vesiseoksille, ja öljyistä vettä käsitellään kemiallisesti saostamalla. Pinnalle kertynyt öljy kuoritaan ensin mekaanisesti. Loppu öljy sakkautetaan vedestä kemiallisesti. Käsittelystä syntyynyt sakka viedään Riihimäelle käsiteltäväksi ja puhdistettu vesi viemäroidään. Vuorokaudessa voidaan käsitellä 30–40 m³ öljyistä vettä. (Karvonen 2016.)

Joensuussa JL-terminaari käsittelee öljyistä vettä ultrasuodattamalla. Öljyisten vesien vastaanottokapasiteetti on noin 150–300 m³ riippuen säiliöiden täyttöasteesta. Säiliöitä saadaan tyhjennettyä suhteellisen nopeasti vesiä käsittelemällä, käsittelynopeus on noin 500–1800 litraa tunnissa. Jos esim. humus- tai kiintoainepitoisuus on korkea, nestemäiset öljyiset jätteet otetaan ensin vastaan vastaanottoaltaisiin, joista vesi pumpataan eteenpäin säiliöihin. Vastaanottoaltaita on 4 kpl. Selvä öljykalvo ja kiintoaine poistetaan ennen ultrasuodatustasuodatusta. Käsittelyssä voidaan käyttää myös polymeerejä. Käsitelty vesi johdetaan

viemäriin. Vedestä erotettu öljy ja suodattimet toimitetaan esim. Ekokemille polttoon tai mahdollisuuksien mukaan uusiokäyttöön. (Itälä 2016.)

Joensuussa on myös Lassila & Tikanoja Oy:n vaarallisen jätteen terminaali, jonne voidaan ottaa vastaan noin 250 m³ nestemäistä jätettä. Vettä ei kuitenkaan käsitellä, vaan se toimitetaan esimerkiksi L&T:n Jyväskylän, Lahden tai Oulun vaarallisen jätteen käsittelylaitokseen puhdistettavaksi ultrasuodatuksella. Näiden laitosten vastaanottokapasiteetti on kerrallaan yhteensä jatkuvasti yli 500 tonnia (Taalikka 2017.)

Savonlinnassa Nousialan jäteasemalla esimerkiksi pilssivedet otetaan vastaan 20 m³ lämmitettävään säiliöön. Säiliö lämmitetään 50 °C:een. Öljyt erottuvat pinnalle viiden vuorokauden aikana. Öljy johdetaan koalisattorierottimen läpi varastosäiliöön, josta öljyjäte viedään edelleen Ekokemille. Vesi pumpataan jätevedenpuhdistamolle. Säiliössä pyritään pitämään aina vapaana 10 m³ kapasiteetti, mutta säiliön täytyessä kokonaan se saadaan käsiteltyä ja tyhjennettyä muutamassa päivässä. (Myllys 2016.)

Öljyiset lietteet ja muut nestemäiset jätteet

Öljyiset lietteet (esim. öljynerotuskaivojen lietteet) otetaan jätekeskuksilla tavallisesti vastaan lietealtaisiin, jossa kiintoainees vajoaa altaan pohjalle. Vesi johdetaan öljynerotuskaivon kautta viemäriin, ja liete kompostoidaan pilaantuneiden maiden tavoin. Joissakin tapauksissa käytetään samoja altaita kuin liettyneiden öljymaiden valuttamisessa. Liettealtaiden tilavuudet vaihtelevat kymmenistä satoihin kuutioihin (taulukko 2).

Itä-Suomen ulkopuolella Jyväskylässä Mustankorkealla on öljyvahinkojätteille rakennettu oma käsittelyhalli (12 kunnan rakennuttama), joka käsittää altaat ja öljynerotuslaitteiston. Järjestelmä käsittää kaksi betonirakenteista vastaanottoallasta (300 m³/allas), öljyvesiseosten erotuslaitteiston ja jäteöljyn varastointisäiliöt. Altaissa lietteen kiintoainees laskeutuu pohjalle ja vesiöljyseos ohjataan vastaanottosäiliöön. Vastaanottosäiliö on lämmitetty, mikä nopeuttaa öljyn ja veden erottumista. Vastaanottosäiliöstä pinnalle erottunut öljy pumpataan varastosäiliöön, ja pohjalla oleva vesi öljynerotuslaitteistoon. Öljynerotuslaitteistosta puhdistunut vesi johdetaan viemäriin, ja erotuslaitteeseen kertyvä öljyinen vesi pumpataan takaisin vastaanottosäiliöön. Altaisiin kertyvä kiintoainees kompostoidaan pilaantuneiden maa-ainesten käsittelykentällä. Öljy toimitetaan tällä hetkellä poltettavaksi Ekokemille Riihimäelle. (Burman 2016.)

TAULUKKO 2. Öljy-vesiseosten ja öljyisten nestemäisten jätteiden vastaanotto ja käsittely kartoitetuissa jätekeskuksissa.

Jätekeskus	Kunta	Öljyvesiseos	Nestemäinen jäte	Lisätiedot/käsittely
Nousialan jäteasema (Savonlinnan Seudun Jätehuolto Oy)	Savonlinna	1000 t/a (20 m ³ säiliö)	Öljypitoiset hiekanerotuskaivo-lietteet 100 t/a (sepelimonttu)	Lämmittävä varastosäiliö, koalisaaioerotin. Sepelimonnttu öljyn kompostointikentän yhteydessä. Öljy muualle käsiteltäväksi, vesi jätevedenpuhdistamolle.
Metsä-Sairilan jäteasema (Metsäsairila Oy)	Mikkeli		Nestemäiset jätteet mm. öljyn-erotuslietteet 1000 t/a	Lieteealtaat nestemäisille jätteille. Geotuubi.
Heinälamminrinteen vaarallisten jätteiden vastaanottoasema (Ekokem Oy)	Kuopio	90 m ³ säiliö		Öljyn mekaaninen erotus ja kemiallinen sakkautus. Öljy muualle käsiteltäväksi.
Sorsasalon teollisuusjätekeskus (Ekokem Oy)	Kuopio			Ruoppausmassat voidaan kuivattaa geosäkeissä, altaissa tai stabioloimalla. Ei oteta vastaan öljyistä vettä.
Riikinnevan käsittelykeskus (Lassila & Tikanoja Oyj)	Leppävirta	Säiliö 10 m ³ , 1 m ³ IBC-kontteja		Pieni säiliö hätätilanteita varten. Ensijäisesti öljy-vesiseokset ohjataan muualle käsiteltäväksi.
Kuopion jätekeskus (Jätekuukko Oy)	Kuopio		10 m x 6 m allas.	Pieni allas hiekanerotuskaivo-lietteille, jotka voivat olla myös öljyisiä (pitoisuus <2500 mg/kg)
JL-Termiinaali/Joen Loka Oy	Joensuu	n. 150-300 m ³	Vastaanottoaltaat 4 kpl	Öljyisten vesien ultrasuodatus. Öljykalvo poistetaan mekaanisesti.
Lassila & Tikanoja, vaarallisen jätteen terminaali	Joensuu	Ks. nestemäinen jäte	250 m ³ . Lisäksi 1 m ³ IBC-kontteja.	Ei käsitellyä, toimitus eteenpäin.
Ekokymppi Majasaaren jätekeskus (Kainuun jätehuollon kuntayhtymä)	Kajaani		Öljyisille lietteille 250 m ³ allas.	Öljyisille lietteille allas vastaanottohallissa. Öljyn mekaaninen erotus sorasuodattimella.
Mustankorkea	Jyväskylä	Ks. nestemäinen jäte	Lietteet 3000 t/a (myös öljyinen vesi), altaat 600 m ³	Öljyvahinkojen käsitteilyhalli öljyiselle vedelle, lietteille ja valuville maa-massoille. Altaissa kiintoaines vajoaa pohjalle. Vesi lämmitettyyn säiliöön, öljynerotuslaitteisto. Öljy muualle käsiteltäväksi
Lassila & Tikanoja, vaarallisen jätteen terminaali ja laitos	Jyväskylä	Ks. nestemäinen jäte	150 m ³ . Lisäksi 1 m ³ IBC-kontteja.	Öljyisten vesien ultrasuodatus.
Lassila & Tikanoja, Lahden käsittelylaitos	Lahti	27 000 t/a (kerralla 300 t)	300 t	Öljyisten vesien ultrasuodatus.
Ekokem Oy, Riihimäki	Riihimäki			Haindutuslaitos, korkealämpötilapoltto.

Vastaanottohinnat

Öljy-vesiseosten vastaanottohinnat yrityksiltä saatujen tietojen tai julkisten hinnastojen mukaan vaihtelevat kartoitetuilla toimijoilla välillä 110–228 €/tonni (alv 0 %). Lietteiden vastaanottohinnat ovat 60–270 €/tonni (alv 0 %). Jätteen laatu ja määrä vaikuttavat kuitenkin oleellisesti hintoihin, ja usein suuremmissa erissä hinnat sovitaan tapauskohtaisesti.

Kiinteä öljyjäte

Öljyvahinkotilanteessa kiinteää öljyjätettä syntyy mm. öljyvuomeista ja suoja- ja imeytysvarusteista. Itä-Suomessa kiinteää öljyvahinkojätettä otetaan vastaan esim. Lassila & Tikanojan, Ekokemin ja JL-terminaalien toimipisteissä Kuopiossa ja Joensuussa. Pieneriä otetaan vastaan myös muilla jäteasemilla. Kiinteä öljyvahinkojäte kuitenkin toimitetaan muualle käsiteltäväksi, eli Itä-Suomen jäteasemilla ei ole käsittelymahdollisuuksia siirrettäviä polttolaitteistoja lukuun ottamatta.

Riikinvoiman vuonna 2017 valmistuvassa Ekovoimalaitoksessa on lupa polttaa joitakin vaarallisia jätteitä kuten öljyllä nuhraantuneita jätteitä 30 000 tonnia vuodessa. Käytännössä öljyvahinkojätteen polttaminen nähdään kuitenkin esikäsittelyn (mm. hihnakuljettimien öljyntyymisen) vuoksi hankalana. Poltettavan jätteen palakoko saa olla enintään 8 x 8 cm. Kattilaan ei ole sivusyöttömahdollisuutta. Näin ollen öljyvahinkojätettä ei pystyittäisi syöttämään kattilaan erikseen. (Vepsäläinen 2016.)

Kuljetus- ja säiliökalusto

Lassila & Tikanojan Joensuun tai Jyväskylän vaarallisen jätteen terminaaleista on saatavissa öljyvahinkotilanteessa muutaman tunnin toimitusajalla imuautoja, runsaasti lavoja ja muuta säiliökalustoa. Lisäksi L&T:llä on vaarallisten jätteiden yksikkö Kotkassa, jossa on suunnilleen Joensuuta vastaava kalusto ja varastointikapasiteetti. (Pönni 2017, Taalikka 2017.) Myös Joen Loka Oy:llä on useita ADR- ja yhdistelmäajoneuvoja sekä nestetiiviitä bulk-lavoja. (Itälä 2016.) Vaarallisen jätteen kuljetusyrityksiä ei erikseen kartoitettu tässä selvityksessä.

Johtopäätökset

Itä-Suomessa on hyvin vastaanottokapasiteettia öljyllä pilaantuneille maille. Öljyvahinkotilanteessa pilaantuneet maa-ainekset kannattaa lajitella pilaantuneisuuden mukaan. Lievästi pilaantuneet maat voidaan hyödyntää esimerkiksi kaatopaikkojen rakenteissa, ja niiden vastaanottokapasiteetti on suurin. Käytännössä yleisin ja ainoa käsittelymenetelmä alueella voimakkaammin pilaantuneille öljymaille on kompostointi. Huokoskaasukäsittelyyn olisi tarvittaessa mahdollisuus Metsäsairilan ja Sorsasalon käsittelyasemilla. Siirrettäviä termisiä laitteistoja ei ole aktiivisesti käytetty, ja todennäköisesti Saimaalla tapahtuvassa öljyvahinkotilanteessa jätemäärät eivät olisi niin suuria että siirrettävää polttolaitteistoa olisi kannattavaa tuoda paikalle.

Hyvin voimakkaasti pilaantuneiden, öljyä valuvien maa-ainesten vastaanottoa voi rajoittaa vastaanottoaltaiden koko, ja osalla toimijoista on enimmäispitoisuusraja vastaanotettaville maille. Voimakkaasti pilaantuneita maa-aineksia onkin myös kuljetettu Itä-Suomen ulkopuolelle käsiteltäväksi, esimerkiksi Paukarlahden säiliauto-onnettomuuden tapauksessa vuonna 2011 (Ramboll Finland Oy 2011). Lajittelemalla maat pilaantuneisuuden mukaan voidaan kuitenkin minimoida voimakkaimmin pilaantuneiden ja pois kuljettavien maiden määrä ja säästää kustannuksissa.

Öljyisten vesien käsittelymahdollisuuksia on Itä-Suomen alueella vähemmän, ja säiliöiden ja altaiden vastaanottokapasiteetti vaihtelee tilanteen mukaan. Itä-Suomen maakuntien välillä on myös eroja, ja esimerkiksi Etelä-Savossa öljyisen veden vastaanottokapasiteetti on pienin, vaikka alueella on useita vesistöriskipaikkoja.

Kiinteälle öljyjätteelle Itä-Suomessa ei ole käsittelymahdollisuuksia lainkaan, vaan jäte joudutaan aina kuljettamaan alueen ulkopuolelle käsiteltäväksi. Jätekeskukset ja vaarallisen jätteen terminaalit voivat kuitenkin toimia välivarastona kiinteälle öljyjätteelle.

Kartoituksessa kerättiin tietoa myös esimerkiksi jätehuolto-yhtiöiden yhteystiedoista öljyvahinkotilanteessa, ja tiedot välitetään alueen öljyntorjuntaviranomaisille. Joitakin päivityksiä ja täydennyksiä havaittiin pelastuslaitosten öljyntorjuntasuunnitelmiin verrattuna. Kartoituksessa saatu tieto koottiin paikkatietoaineistoksi, joka liitetään Suomen ympäristökeskuksen Boris-tilannekuva-järjestelmään.

LÄHTEET

Burman, Jani 2016. Henkilökohtainen tiedonanto 8.2.2016. Tuotantopäällikkö. Mustankorkea Oy.

Gråsten, Jonne 2015. Henkilökohtainen tiedonanto 20.10.2015. Kehityspäällikkö. Metsäairila Oy.

Hyvärinen, Pekka & Pulkkinen, Leena 2016. Henkilökohtainen tiedonanto 11.11.2015, 2.2.2016 ja 12.1.2017. Käyttöpäällikkö & Ympäristö- ja laatuvaastaava. Jätekuukko Oy.

Itälä, Petri 2016. Henkilökohtainen tiedonanto 25.7.2016. Työpäällikkö, turvallisuusneuvonantaja. Joen Loka/JL-terminaali Oy.

Jauhiainen, Mika & Antikainen, Jussi 2017. Henkilökohtainen tiedonanto 11.-12.11.2015 ja 13.1.2017. Neuvoja & Käyttöpäällikkö. Ylä-Savon Jätehuolto Oy.

Karhu, Tapani 2015. Henkilökohtainen tiedonanto 10.12.2015. Käyttöpäällikkö. Puhas Oy.

Karvonen, Jari-Pekka 2016. Henkilökohtainen tiedonanto 29.1.2016 ja 13.4.2016. Myyntipäällikkö. Ekokem Oy.

Karvonen, Jarkko 2015. Henkilökohtainen tiedonanto 10.12.2015. Tekninen johtaja. Outokummun kaupunki.

Kinnunen, Marjut & Piirainen, Eero (2016) Henkilökohtainen tiedonanto 29.1.2016. Asiakaspalvelupäällikkö & ympäristöpäällikkö. Kainuun jätehuollon kuntayhtymä, Ekokymppi.

Myllys, Markku 2015. Henkilökohtainen tiedonanto 20.10.2015. Työnjohtaja-nevoja. Savonlinnan seudun jätehuolto Oy.

Pönni, Seppo 2017. Henkilökohtainen tiedonanto 28.1.2016 ja 12.1.2017. Kehityspäällikkö. Lassila & Tikanoja Oyj.

Ramboll Finland Oy 2011: Paukarlahden säiliöauto-onnettomuus, Leppävirta. Öljyvahingon torjuntatyöt. Toimenpideraportti 3.5.2011 (Työnro 82139642).

Reinikainen, Jussi 2017. Sähköpostiviesti 12.1.2017. Erikoistutkija. Suomen ympäristökeskus.

Taalikka, Lasse 2017. Henkilökohtainen tiedonanto 1.7.2016, 6.7.2016 ja 12.1.2017. Yksikönpäällikkö. Lassila & Tikanoja Oyj.

Uotila, Jussi 2017. Henkilökohtainen tiedonanto 21.10.2015 ja 12.1.2017. Tekninen johtaja. Savaterra Oy.

Vepsäläinen, Jarmo 2016. Henkilökohtainen tiedonanto 13.4.2016 ja 30.6.2016. Toimitusjohtaja. Keski-Savon Jätehuolto Oy.

Vuolle, Tuomas 2017. Henkilökohtainen tiedonanto 21.10.2015 ja 12.1.2017. Yksikön päällikkö. Ekokem Oy.

Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2007. Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi. Ympäristöministeriö.

Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2014. Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta. Ympäristöministeriö.

ÖLJYVAHINKOJÄTTEEN KÄSITTELYMENETELMIEN TEKNISTALOUEDELLINEN TARKASTELU

Vuokko Malk & Tiia Montonen & Sari Seppäläinen

Öljyvahinkotilanteessa syntyy huomattavia määriä öljyistä jätettä, jota saatetaan joutua kuljettamaan satojen kilometrien päähän käsiteltäväksi. Jättemäärät voivat Saimaan alueen mittakaavassa olla satoja rekka-autollisia. Esimerkiksi Paukarlahdella Leppävirralla vuonna 2011 sattuneessa säiliöauto-onnettomuudessa 16 kuutiota jäteöljyä pääsi vuotamaan ympäristöön. Öljyvahinkojätettä, enimmäkseen pilaantuneita maa-aineksia, syntyi 100-kertainen määrä, mikä vastaa lähes 100 rekka-autollista jätettä. Osa jätteestä kuljetettiin Riihimäelle asti ongelmajätelaitokselle käsiteltäväksi. (Ramboll Finland Oy 2011.) Jäte- ja kuljetusmäärät olivat siis huomattavat, vaikka kyseessä oli kohtuullisen pieni vahinko.

Öljyvahinkojätteen vastaanotto- ja käsittelyvaihtoehdot Itä-Suomessa kartoitettiin ympäristölupien ja puhelinhaastatteluiden perusteella, ja niitä on esitelty tarkemmin artikkelissa ”*Öljyvahinkojätteen käsittely Itä-Suomessa*”. Kartoituksen perusteella Itä-Suomen alueella on riittävästi kapasiteettia pilaantuneiden maiden käsittelyyn. Kiinteälle öljyiselle jätteelle (esim. imeytyspuomit, suojarusteet) Itä-Suomessa ei sen sijaan ole käsittelymahdollisuuksia. Myös suurempia öljyvesiseosten tai nestemäisen öljyisen jätteen erinä sekä hyvin voimakkaasti pilaantuneita maita on jouduttu kuljettamaan Itä-Suomen ulkopuolelle käsiteltäväksi.

Jotta turhia jätekuljetuksia voitaisiin jatkossa välttää, teknistaloudellisella tarkastelulla haluttiin vertailla öljyvahinkojätteen eri käsittelyvaihtoehtoja ja selvittää kustannustehokkain ja ympäristön kannalta edullisin ratkaisu jätteiden käsittelyyn Itä-Suomessa ja Saimaan alueella. Käsittelyvaihtoehdoista valittiin teknistaloudel-

liseen tarkasteluun poltto alueellisessa voimalaitoksessa, poltto siirrettävässä polttolaitteistossa, ja geotuubikäsitteily verrattuna jätteen muualle kuljetukseen. Tietoa kerättiin kirjallisuudesta sekä haastattelemalla yrityksiä ja asiantuntijoita.

Poltto alueellisessa voimalaitoksessa

Teknisesti öljyonnettomuusjätteiden polttoon soveltuvia tekniikoita ovat termodesorptiolaitteistot, jätteenpolttolaitokset, sementtiuunit, voimalaitokset ja teollisuuden polttokattilat (Jätealan huoltovarmuustoimikunta, vahinkojätetyöryhmä 2015b). Öljyvahinkojätteen polttaminen ei kuitenkaan ole välttämättä ongelmaton kaikissa polttolaitoksissa ja kattiloissa. Esimerkiksi öljyn lämpöarvo tai kosteuspiitoisuus voi olla liian korkea, haihtuvat yhdisteet voivat aiheuttaa räjähdysvaaran tai jäte voi vaatia esim. murskausta (Hupponen ym. 2007, SÖKÖ II-manuaali.)

Öljyvahinkojen torjuntalaissa (1673/2009) määritellyssä öljyvahingossa tai aluskemikaalivahingossa syntyneen jätteen käsittelyssä on sovellettava jätelakia (17.6.2011/646), kun välttämättömät torjuntatoimet vahingon rajoittamiseksi ja öljyn tai muun haitallisen aineen keräämiseksi on tehty. Jätelain mukaan jätteen ammattimainen ja laitosten käsittely vaatii ympäristönsuojelulain (27.6.2014/527, liite 1) mukaisen ympäristöluvan, ja jätteen polttamisessa on noudatettava valtioneuvoston asetusta 151/2013. Lain mukaan öljyvahinkojätettä voidaan siis polttaa vain jätteenpolttolaitoksissa tai rinnakkaispolttolaitoksissa, joilla on ympäristöluva vaarallisten jätteiden ja erityisesti öljyvahingossa muodostuvien jäteluokkien käsittelyyn tai hyödyntämiseen. Tällaisia laitoksia on Suomessa hyvin vähän.

Suomessa ympäristöluva vaarallisen jätteen polttoon on tällä hetkellä (tilanne kesällä 2016) myönnetty Ekokemin Riihimäen vaaralliseen jätteen käsittelylaitokselle ja jätevoimaloille. Ekokemillä öljyvahinkojäte ohjataan käytännössä korkealämpötilapolttoon rumpu-uuniin eikä jätevoimaloihin. Öljyinen vesi käsitellään haihdutuslaitoksessa, ja öljyvuomit pätkitään ennen polttoa (Karvonen 2016). Myös esimerkiksi Tammervoiman uudessa vuoden 2016 alussa toimintansa aloittaneessa hyötyvoimalaitoksessa on lupa polttaa pieniä määriä (enintään 3000 tonnia vuodessa) öljyllä ja vaarallisilla aineilla nuhraantuneita kiinteitä jätteitä, mutta käytännön kokemusta öljyvahinkojätteen polttamisesta ei vielä ole (Pasula 2016). Käytännössä siis hyvin harvalla jätevoimalalla tai rinnakkaispolttolaitoksella on lupa polttaa öljyvahinkojätettä, mutta polttolai-

toskohtaisia käsittelykapasiteetteja on arvioitu mm. Jätealan huoltovarmuustoimikunnan vahinkojätetyöryhmän (2015b) toimesta.

Jätteitä ja ympäristöä koskeva lainsäädäntö ja jätehuoltojärjestelmät on laadittu normaalitilanteita varten, joten niiden toimivuus häiriötilanteissa on todettu rajalliseksi. Jätealan huoltovarmuustoimikunnan vahinkojätetyöryhmä (2015a) on laatinut ehdotuksia lainsäädännön ja jätehuollon järjestämisen kehittämiseksi häiriötilanteissa. Ehdotukset sisältävät mm. jätelakiin ja ympäristönsuojelulakiin lisäävät poikkeuksellisia tilanteita koskevat säännökset, jotka mahdollistaisivat nykyistä joustavimmat järjestelyt, kuten lupamenettelyn keventämisen tai tilapäisen poikkeamisen lupavaatimuksista. Ympäristöministeriö on ryhtynyt valmistelemaan tarvittavia säännöksiä, joiden alustavasti suunniteltu voimaantulo on 1.1.2018 (Särkkä 2016). Uudet säännökset voisivat vaikuttaa myös öljyvahinkojätteen polttoon häiriötilanteessa, jossa syntyvän jätteen määrä ja/tai ominaisuudet edellyttävät tavanomaisesta poikkeavia toimia jätehuollossa.

Tarkoituksena on, että säännökset koskisivat vakavia normaaliolojen häiriötilanteita (eivät siis valmiuslaissa tarkoitettuja poikkeusoloja) ja että säännösten soveltamiskynnys olisi varsin korkealla, jolloin niitä sovellettaisiin vain harvoin. Häiriötilanteiden kokoluokkaa koskevia lukumääräisiä alarajoja ei ole tarkoitus asettaa, vaan säännösten soveltamista arvioitaisiin yleisempien kriteerien pohjalta. Säännöksiä sovellettaisiin, jos häiriötilanteessa, kuten öljyvahingon yhteydessä, syntyisi tavanomaista huomattavasti suurempi määrä jätettä tai ominaisuuksiltaan tavanomaisesta poikkeavaa, jätehuollon vaarantavaa jätettä, jonka jätehuollon järjestäminen aiheuttaa jätteen haltijalle huomattavia vaikeuksia. (Särkkä 2017.) Saimaalla suurimman realistisesti mahdollisen vahingon määräksi on arvioitu 300 tonnia (Hietala & Lampela 2007, 21). Ottaen huomioon, että Suomessa on pyritty varautumaan 30 000 tonnin öljyvahinkojen torjumiseen, eivät enimmillään 300 tonnin suuruiset öljyvahingot lähtökohtaisesti kuuluisi sääntelyn soveltamisalaan (Särkkä 2017).

Öljyvahinkojätteen polttomahdollisuuksien kartoitus Itä-Suomessa

Itä-Suomen alueelle on valmistunut Riikinvoiman Ekovoimalaitos (jätteenpolttolaitos) Leppävirralle Riikinnevalle. Laitoksessa on kiertopetiteknikkaan perustuva kattila, ja jätepolttoaineet käsitellään polttoon soveltuvaksi mm. murskaamalla ja poistamalla metallit ja muut inertit jakeet. Ekovoimalaitok-

sen pääpolttoaine on kierrätykseen kelpaamaton yhdyskuntajäte, joka poltetaan energiaksi, kaukolämmöksi ja sähköksi. Laitoksella on ympäristölupaa (ISAVI/17/04.08/2013, annettu 29.11.2013) mukaan mahdollisuus hyödyntää kyllästettyä puuta ja eräitä muita vaarallisiksi jätteiksi luokiteltuja jätteitä, kuten öljyllä tai muilla vaarallisilla jätteillä nuhraantuneita jätteitä (jäteluokka 13 Öljyjätteet ja polttonestejätteet; 13 08 99 öljyjätteet, joita ei ole mainittu muualla). Öljyvahinkojätteen (esim. imeytyspuomien tai suojavarusteiden) vastaanotto Riikinvoimalle nähdään kuitenkin esikäsittelyn (mm. hihnakuljettimien öljyyntymisen) vuoksi hankalana. Poltettavan jätteen palakoko saa olla enintään 8 cm x 8 cm. Kattilassa ei ole sivusyöttömahdollisuutta. Näin ollen öljyvahinkojätettä ei pystyttäisi syöttämään kattilaan erikseen (Vepsäläinen 2016). Nestemäisiä vaarallisia jätteitä ei oteta vastaan (ISAVI/17/04.08/2013).

Jätteen rinnakkaispolttolaitoksia Itä-Suomen alueella on Pankaboard Oy:n Pankakosken kartonkitehdas Lieksassa, Juankosken Biolämpö Oy:n Juankoskella ja Stora Enso Oyj:n Varkauden tehtaas. Näillä rinnakkaispolttolaitoksilla ei kuitenkaan ole ympäristölupaa vaarallisiksi aineiksi luokiteltujen tai öljyisten jätteen polttoon (Pöyry Management Consulting Oy 2015).

Joissakin alueellisissa voimalaitoksissa Itä-Suomen alueella öljyvahinkojätteen polttaminen olisi teknisesti mahdollista, mutta ympäristölupaa ei ole. Kaikkia voimalaitoksia ei kartoitettu, mutta esimerkiksi Savon Voima Oy:n voimalaitoksessa Pieksämäellä öljyvahinkojätteen polttaminen onnistuisi teknisesti hyvin. Voimalaitoksessa on leijukerroskattila. Polttoaineina käytetään turvetta, metsähaketta, purua/kuorta, raskasta polttoöljyä, kierrätykseen kelpaamatonta puujätettä sekä kivihiiltä (ESA-2004-Y-250-111 ja ISAVI/38/04.08/2012). Näin ollen esimerkiksi turpeeseen tai hakkeeseen imeytetty öljy olisi soveltuva polttoainetta voimalaitokselle. Myös öljy-vesiseosta voitaisiin polttaa. Seosta voitaisiin pumpata kuljettimelle pikkuhiljaa pieniä määriä muun polttoaineen sekaan, jolloin vettä voisi olla jopa 90 %. Savon Voimalla ei kuitenkaan ole ympäristölupaa jätteen polttamiseen (Tepponen 2015).

Myös Etelä-Savon Energia Oy:n Pursialan voimalaitos voisi onnettomuustilanteessa teknisesti ottaa vastaan öljyvahinkojätettä polttoon (imeytysmateriaaleja, vedestä kerättyä öljyä/öljy-vesiseosta), mutta voimalaitoksella ei ole ympäristölupaa jätteen polttoon. Voimalaitoksessa poltetaan laitoksen käynnistyksen yhteydessä öljyä ja kiinteää polttoainetta yhtä aikaa. Kattilaa käynnistäessä tulipesän lämmöt ovat vielä alhaiset, mutta jos öljyjätettä poltetaan normaalissa palamislämpötilassa, päästöt pysyvät kurissa. (Heikkinen 2016.)

ÄLYKÖ-hankkeessa öljyvahinkojätteen jätestatusta selvitettiin Itä-Suomen ELY-keskusten ja AVI:n viranomaisista koostuvassa asiantuntijaryhmässä. Asiantuntijaryhmä pohti, pitääkö esim. vedestä suoraan kerättävä tai turpeeseen imeytetty öljy tulkita aina jätteeksi, jolloin se on kuljetettava vaarallisen jätteen käsittelylaitokselle, vai voitaisiinko se hyödyntää paikallisessa voimalaitoksessa polttoaineena, vaikka voimalaitoksella ei olisi ympäristölupaa jätteen polttamiseen. Ajatuksena oli hyvälaatuisen ja puhtaan materiaalin hyödyntäminen ja jätteen pitkien kuljetusmatkojen vähentäminen, mikä tukisi vähähiilisyyttä. Jätelaissa painotetaan jätteen hyödyntämisen prioriteettijärjestystä ja asiantuntijaryhmässä keskusteltiin siitä, voitaisiinko esim. vedestä kerätyn öljyn polttamisessa puhua jätelain tarkoittamasta uudelleenkäytöstä, mutta lain tilannekohtainen tulkinta ja vastuukysymykset koettiin hankalaksi. Toinen vaihtoehto olisi lisätä öljyvahinkojätteen polttomahdollisuus sellaisten voimalaitosten ympäristölupiin, jotka olisivat valmiita ottamaan ko. jätettä vastaan ja joilla tällaisen jätteen polttaminen olisi teknisesti mahdollista.

Siirrettävä polttolaitteisto

Siirrettävä polttolaitteisto (termodesorptiolaitteisto) on pilaantuneiden maa-ainesten käsittelyyn tarkoitettu laitteisto, joka voidaan kuljettaa paikan päälle pilaantuneeseen kohteeseen. Suomessa Savaterra Oy:llä on kaksi siirrettävää laitteistoa. Siirrettävä polttolaitteisto soveltuu erityisesti isojen jätemäärien käsittelyyn. Pilaantunutta maata on oltava 25 000-30 000 tonnia, jotta laitteisto kannattaa siirtää puhdistettavaan kohteeseen (Uotila 2015). ÄLYKÖ-hankkeessa tehtyjen laskelmien mukaan näin suuri jätemäärä ei ole Itä-Suomessa tai Saimaalla tapahtuvassa öljyvahingossa kovinkaan todennäköinen.

Laitteiston kapasiteetti on 40–100 tonnia tunnissa maa-ainesten ja haitta-ainesten laadusta sekä pitoisuuksista riippuen. Esimerkiksi 20 000 t jätemäärän käsittely kestää noin 20 vuorokautta, kun laitteisto toimii kahdessa työvuoressa 15 tuntia vuorokaudessa. Puhdistuslaitoksen vaatima pinta-ala on noin 40 m x 60 m. (ISAVI/139/04.08/2010) Vuositasolla käsittelykapasiteetti on 200 000 tonnia vuodessa (Uotila 2017).

Termodesorptiolaitteisiin soveltuvat parhaiten epäorgaaniset maa-ainekset, kuten hiekka (Saarinen ja Suoheimo 2011, Jätealan huoltovarmuustoimikunnan vahinkojätetyöryhmän 2015b mukaan). Vastaanotettavalle jätteelle ei kuitenkaan ole juurikaan rajoitteita. Esimerkiksi maaperän kosteus ei rajoita käsittelyä,

mutta vaikuttaa käsittelyn keston ja hintaan. Kustannukset kasvavat merkittävästi, jos maaperän kosteus on yli 40–50 % (Uotila 2015). Laitokseen voidaan ottaa vastaan myös orgaanista ainesta, öljyistä sekajätettä sekä kuolleita eläimiä (Hupponen ym. 2007, 51). Menetelmän etuna esimerkiksi kompostointikäsitelyyn verrattuna on, että maa-ainekset saadaan käsiteltyä nopeasti kokonaan puhtaaksi uusiokäyttöön (Uotila 2015).

Siirrettäviltä termodesorptiolaitoksilta edellytetään joko ympäristölupa tai ympäristöluvan mukainen päätösmenettely. Öljyvahinkojätteiden käsittelystä ja siten myös lupien ja ilmoitusten laadinnasta vastaa jätteen haltija eli laitteiston omistava yritys (SÖKÖ II-manuaali 12, 9). Itä-Suomessa Savaterra Oy:llä on valmiiksi ympäristölupa termodesorptiolaitteiston käytölle Rantasalmella Lehmisuon vanhalla kaatopaikalla. Alueella saadaan välivarastoida pilaantuneita maa- ja kiviaineksia enintään 20 000 tonnia, ja vuosittainen käsittelymäärä on enintään 50 000 tonnia. Vastaanottoasema ei ole tällä hetkellä aktiivisessa käytössä, mutta se voitaisiin ottaa käyttöön ison pilaantuneen maaperän käsittelyprojektin tapauksessa. Kemissä Savaterra Oy:llä on vastaava aktiivisessa käytössä oleva vastaanottoasema. Mikkelissä Metsäsairila Oy:n jätekeskuksella on ympäristölupa siirrettävälle polttolaitteistolle kuten myös lähialueilla Jyväskylässä ja Lahdessa. Kontiosuon jäteasemalla Joensuussa ja Jyrin käsittelyasemalla Outokummussa on myös mahdollisuus käyttää siirrettävää laitteistoa parhaan käytökelpoisen tekniikan (BAT) nojalla tai yrityksen harkinnan mukaan (Karhu 2015, Karvonen 2015).

Geotuubi

Geotuubi on lietteen kuivattamiseen tarkoitettu geotekstiilisäkki, jonka avulla kiintoaines saadaan erotettua vedestä painovoimaa hyödyntäen. Se toimii siivilän tavoin, jolloin säkkiin pumpattu vesi pääsee säkin läpäisevän pinnan läpi, ja kiintoaines jää säkin sisään. Geotuubin avulla lietteen määrä vähenee merkittävästi (jopa 90 %), ja se saadaan muutettua kiinteään ja stabiiliin muotoon. Kyseessä on yksinkertainen ja kustannustehokas keino kuivattaa suuria määriä saastunutta sedimenttiä tai muuta vastaavanlaista nestemäistä jätettä. Geotubia on hyödynnetty muun muassa puhdistamolietteiden ja teollisuuden lietteiden puhdistuksessa. (TenCate 2013.) Suomessa Ten Cate Geotube –teknologiaa maahantuo Sito rakennuttajat Oy. Lisäksi Kaitos Oy maahantuo SoilTain®-kuivatustuubeja.

Liete pumpataan geotuubiin yhdessä sopivan polymeerin kanssa, jonka avulla kiinteät ainekset sitoutuvat suuremmiksi hiukkasiksi, ja ne saadaan erotettua paremmin vedestä. Vesi poistuu geotuubista säkin kudusrakenteiden pienistä väleistä kuiva-ainesten jäädessä sen sisään. Ulos tuleva vesi on puhdasta ja usein sellaiseen ympäristöön laskettavissa. Mikäli vesi ei täytä sille asetettuja laatukriteerejä, se voidaan ohjata jatkokäsiteltäväksi. Säkkiin jäänyt liete jatkaa kuivumistaan ja tiivistymistään kunnes säkki on täynnä lietettä, jonka jälkeen se voidaan tilanteesta riippuen hyödyntää edelleen tai viedä kaatopaikalle. (Sito Rakennuttajat Oy.)

Käyttökokemuksia öljyisten lietteiden käsittelystä geotuubilla

Suomessa geotuubeja on käytetty puhdistustöissä esimerkiksi öljynjalostamoilla ja muissa teollisuuslaitaissa. Esim. Neste Oyj käytti geotuubeja jalostamon hapeutusaltaan kunnostamisessa. Tarkoituksena oli poistaa altaan pohjalle kerääntynyt liete, jotta altaan vesitilavuutta saataisiin lisättyä. Kaiken kaikkiaan altaasta ruopattiin 87 000 m³ lietettä, ja ruoppaus kesti kolme kuukautta. Raahessa Ruukki Metals Oy hyödynsi geotuubeja öljynerotusaltaan kunnostuksessa, jossa öljyistä lietettä oli kerääntynyt altaan pohjalle liikaa. (Sito Rakennuttajat Oy.) Lisäksi esimerkiksi Metsäsairila Oy:n jätekeskuksessa Mikkelisissä ja Päijät-Hämeen jätehuollon OILI-asemalla Lahdessa on käytössä geotuubit nestemäisen jätteen, kuten öljynerotuslietteiden käsittelyssä.



KUVA 2. Geotuubi Metsäsairila Oy:n jäteasemalla (kuva Vuokko Malk 2016).

Maailmalla geotuubia on käytetty öljyvahinkotilanteessa muun muassa Amerikassa Michiganissa Kalamazoo-joen puhdistuksessa. Vuonna 2010 Enbridgen operoima öljyputki halkesi, ja öljy päätyi jokeen. Öljyisten sedimenttien kuivaustuksessa käytettiin geotuubeja. (United States Environmental Protection Agency 2010.) Venäjällä geotuubia hyödynnettiin öljyllä ja muilla epäpuhtauksilla saastuneen Komsomolsky järven puhdistuksessa. Sedimenttiä pumpattiin geotuubeihin, ja läpisioutautunut vesi johdettiin sellaisenaan takaisin järveen. Suo- tautuneen veden laatua ei kuitenkaan tarkkailtu, joten projektista ei saatu tietoa geotuubiin pidättäytyneen öljyn määrästä. (TenCate 2013.)

Geotuubin soveltuminen öljyvahinkojätteen käsittelyyn

Suomessa geotuubeja ei ole toistaiseksi hyödynnetty varsinaisessa öljyvahinkotilanteessa. Geotuubitekniikka voisi kuitenkin soveltua öljyvahingossa syntyneen nestemäisen jätteen kuivaamiseen, jonka jälkeen geotuubin sisälle jäänyt kiinto- aines voisi sen koostumuksesta ja öljypitoisuudesta riippuen soveltua esimerkiksi kompostoitavaksi, kaatopaikalle loppusijoitettavaksi tai toimitettavaksi edelleen polttoon. Geotuubeja on saatavilla erimuotoisina, -kokoisina ja helposti liikuteltavina, mikä mahdollistaa säkkien hyödyntämisen erikokoisissa projekteissa. Menetelmän käyttö ei vaadi kiinteitä rakenteita, joten sitä voidaan hyödyntää tilapäisesti yksittäisissä puhdistusoperaatioissa. (Sito Rakennuttajat Oy.)

Ennen geotuubin käyttöönottoa testataan juuri kyseiselle jätteelle parhaiten so- veltuva polymeeri. Polymeerin valintaan vaikuttaa erityisesti orgaanisen ainek- sen määrä. Testaus vie yleensä noin päivän, ja seuranta-aika kuivumiselle on noin viikko. Yllättävässä vuototilanteessa testauksen voi tehdä pikakokein noin tunnissa. Käsiteltävän lietteen määrä vaikuttaa siihen, paljonko geotuubia tarvi- taan. Isoilla määrillä ja jätteen nopealla vastaanotto ja -käsittelytarpeella geotuu- beja olisi syytä olla vähintään kaksi, jolloin toinen saa kuivua samanaikaisesti, kun toista täytetään. Käsiteltävän lietteen kiintoaineosuuden tulisi olla vähin- tään 0,5 %. (Isokauppila 2016.)

Haasteena on, että öljyisen lietteen käsittelyssä läpisioutautunut vesi ei välttä- mättä ole öljypitoisuuksiltaan riittävän puhdasta johdettavaksi esimerkiksi suo- raan takaisin vesistöön. Öljynjalostamoilla ja teollisuusaltaissa geotuubien alla on käytetty HDPE-suojakalvoa, ja poistuva vesi on johdettu takaisin lähtöaltai- siinsa. Jätekeskuksissa geotuubin läpi tullut vesi on johdettu öljynerotuskaivoon ja/tai viemäriin. (Isokauppila 2016.) Öljyvahinkotilanteessa geotuubikäsittely

olisi varmintä toteuttaa esim. jätekeskuksen alueella tai teollisuuden suoja-alueilla, joista läpisuotautunut vesi on mahdollista johtaa jatkokäsittelyyn.

Öljypitoisuuksista geotuubin läpi suotautuneessa vedessä on suhteellisen vähän tietoa saatavilla, sillä yleensä läpi suotautuneen veden kuiva-aine- ja kiintoainepitoisuudet ovat olleet merkittävämpiä mitattavia muuttujia. Eräässä ruoppaus-hankkeessa Suomessa öljyhiilivetyypitoisuus (C11-C35) geotuubiin pumpatusta lietteessä oli 2,7 mg/l ja läpisuotautuneessa vedessä 0,2 mg/l. Geotuubi pidätti siis yli 90 % öljyistä. (Isokauppila 2016.) Päijät-Hämeen jätehuolto on teettänyt laboratoriotestit sekä geotuubin sisällä olevasta kiintoaineksestä että läpisuotautuneesta vedestä. Kiintoaineksen öljyhiilivetyjakeiden (C10-C40) pitoisuus kahdessa näytteessä oli 27 000 mg/kg ja 120 000 mg/kg. Suotoveden öljyhiilivetyjaepitoisuus oli 920 mg/l, mutta geotuubin sisälle pumpatusta vedestä ei pitoisuustietoja määritetty (Honkola 2014, Ranttila 2016).

Geotuubin toiminta jäteasemalla

Geotuubin toimintaa öljyisten lietteiden käsittelyssä tutkittiin Metsäsairila Oy:n jäteasemalla ottamalla näytteet geotuubiin pumpattavasta lietteestä sekä geotuubin läpi suotautuneesta vedestä. Tutkimuksella haluttiin saada lisätietoa geotuubin kyvystä pidättää öljyä ja siitä, voisiko menetelmää soveltaa laajemmin öljyvahinkojätteen käsittelyyn.

Metsäsairila Oy:n jäteasemalla geotuubien avulla käsitellään nestemäisiä jätteitä, kuten hiekan-, rasvan- ja öljynerotuskaivolietteitä. Nestemäiset jätteet otetaan vastaan lietealtaisiin. Altaiden täytyttyä liete pumpataan geotuubiin. Läpi suotautuva vesi valuu asfalttikenttää pitkin öljynerotuskaivoon ja sieltä edelleen jäteaseman vesien käsittelyyn.

Näytteet otettiin syyskuussa 2016 pumppaushetkellä lietealtaasta ja geotuubin läpi suotautuneesta vedestä. Lietealtaan näyte otettiin kauhalla suoraan altaasta (kuva 3). Geotuubin läpi suotautuvan veden näytteet otettiin asettamalla laakeat astiat geotuubin eri puolille (kuva 4). Astiat täyttyivät noin puolessa tunnissa. Näytteistä (kuva 5) analysoitiin öljyhiilivetyypitoisuudet kaasukromatografisesti akkreditoidussa laboratoriossa (ALS Finland). Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa näytteistä määritettiin kiintoaine, pH, sähkönjohtokyky ja kokonaisöljyhiilivetyypitoisuus (TPH, total petroleum hydrocarbons) InfraCal 2 ATR SP (Wilks Enterprise/Spectro Scientific)-analysaattorilla.



KUVA 3. Näytteenotto öljynerotuslietealtaasta (kuva Vuokko Malk 2016)



KUVA 4. Näytteen keräys geotuubin läpi suotautuvasta vedestä Metsäsairilan jäteasemalla (kuva Vuokko Malk 2016)



KUVA 5. Öljynerotuslietealtaasta (ensimmäinen pullo vasemmalta) otettu näyte sekä geotuubin läpi suotautuneesta vedestä kerätyt kolme rinnakkaista näytettä (kuva Vuokko Malk 2016).

Kiintoainepitoisuus laski geotuibikäsittelyssä noin 92 %, mutta geotuibin läpi suotautuneessa vedessä oli edelleen havaittavissa öljyfaasi. Öljypitoisuus (>C10-C40) oli 17–21 mg/l (taulukko 1). Lietenäytteestä öljyhiilivetyanalyysiä ei pystytty suuren öljypitoisuuden vuoksi suorittamaan. Näytteen kromatografinen profiili vastasi diesel-öljyä ja hydraulikkaöljyä. Veden pH nousi geotuibikäsittelyssä noin yhdellä yksiköllä. Sähkönjohtokyvyssä tapahtui merkittävä muutos. Lieteltaan näytteessä sähkönjohtokyky oli vain 0,2 µS/cm, kun se läpi suotautuneessa vedessä oli yli 1000 µS/cm.

Lieteltaasta saatiin vain yksi näyte, sillä lietettä oli jo ehditty pumpata geotuibiin. Näytteenotto olisi ollut edustavampi, jos lietealtaasta olisi saatu rinnakkaiset näytteet koko altaan lietemäärästä. Nyt otettu näyte edusti lietealtaan pohjaosaa, vaikka pumppausvaiheessa altaassa oleva liete sekoittuikin todennäköisesti melko hyvin. Tulokset kuitenkin vahvistivat, että geotuibikäsittelyllä voidaan kuivata lietettä ja saada merkittävä osa kiintoaineesta ja epäpuhtauksista pois vedestä, mutta läpisuotautunut vesi vaatii edelleen jatkokäsittelyn.

TAULUKKO 1. Tuloksia öljynerotuslietteestä ja geotuibin läpi suotautuneesta vedestä tehdyistä määrityksistä. Suuren öljypitoisuuden vuoksi öljyhiilivetyanalyysiä ei voitu suorittaa lietealtaan näytteestä.

	Lieteallas	Geotuibin läpi suotautunut vesi
Kiintoaine	6192 mg/l	377-657 mg/l
pH	5,11	6,11-6,15
Sähkönjohtokyky	0,2 µS/cm	1025-1038 µS/cm
C5-C10 (sis. BTEX ja oksygenaatit)	.	0,674-0,751 mg/l
>C10-C21	.	9,59-12,80 mg/l
>C21-C40	.	6,98-8,39 mg/l
>C10-C40	.	17,1-21,2 mg/l
TPH (InfraCal)	.	16,87-27,08 mg/l

Muualle kuljetus

Itä-Suomen ulkopuolelle kuljettaminen on nykyisin tyyppillisin toimintatapa kiinteälle öljyiselle jätteelle (öljyinen sekajäte) sekä myös öljy-vesiseosten suu-remmille erille ja joissain tapauksissa voimakkaasti pilaantuneille maille. Tällai-

set jätteet kuljetetaan käytännössä useimmiten Riihimäelle Ekokemin vaarallisen jätteen käsittelylaitokselle polttoon. Lisäksi esimerkiksi Lassila & Tikanojan toimipisteistä ja terminaaleista toimitetaan öljyisiä vesiä Lahteen tai Jyväskylään ja kiinteitä öljyjätteitä Tuusulaan yhtiön vaarallisen jätteen käsittelylaitokseen (Taalikka 2016). Lassila & Tikanojan käsittelylaitoksissa öljy-vesiseokset käsitellään ultrasuodatuksella, ja rejekti toimitetaan edelleen käsiteltäväksi. Tuusulassa kiinteä öljyjäte käsitellään mm. linkoamalla, jonka jälkeen materiaalista hyödynnetään metallit ja energijäte. Jätteestä erotettu öljy toimitetaan edelleen käsiteltäväksi (ESAVI/113/04.08/2010). Öljyvahinkojätteet voidaan kuljettaa ensin paikallisille jätekeskuksille tai vaarallisen jätteen terminaaleihin välivarastoon, josta ne toimitetaan edelleen käsiteltäväksi tai sitten jätteet voidaan toimittaa suoraan käsittelylaitokseen.

Kuljetus tapahtuu yleensä kuorma-autoilla tai imuautoilla. Öljyvahinkojätteen kuljetus vaatii vaarallisen jätteen kuljetukseen koulutetun kuljettajan, jolla on kirjallinen VAK/ADR-ajolupa. Vaarallisia aineita (myös jätteitä) kuljettavilla yrityksillä pitää olla nimetty turvallisuusneuvonantaja. Vaarallinen aine on lähes poikkeuksetta pakattava UN-tyyppihyväksytyihin pakkauksiin ja pakkaukset on merkittävä vaaralipukkein. Vaarallisten jätteiden siirtoa koskevat tiedot dokumentoidaan siirtoasiakirjalla. (Ekokem Oy 2012.)

Yhdistelmä- ja/tai imuautojen säiliökoot vaihtelevat 8–14 m³ välillä. Kiinteiden jakeiden vastaanottoon soveltuvien bulk-lavojen koko vaihtelee 18–24 m³ välillä (Taalikka 2016). Käytännössä lavalla voidaan kuljettaa noin 15 tonnia esim. pilaantunutta maata (Itälä 2016). Kuljetuskustannukset vaihtelevat tapauskohtaisesti riippuen mm. eräkoosta, etäisyyksistä, poikkeustilanneveloituksista (esim. hälytys- tai kiirelisät) sekä siitä, onko kyseessä säiliö- vaiko kappaletavarakuljetus (Taalikka 2016). Osa yrityksistä hinnoittelee kuljetukset tuntihinnan mukaan (Itälä 2016). Karkeasti arvioiden kuljetuskustannusten voidaan arvioida olevan täydellä rekalla kuljetettaessa noin 2 e/km + alv (Karvonen 2016).

Suurien öljyvahinkojättemäärien kuljettaminen satojen kilometrien päähän on kallista ja rasittaa ympäristöä. Ympäristövaikutusta voidaan arvioida polttoaineen kulutuksen ja päästökertoimien (taulukko 1) avulla. Kuorma-autojen keskimääräinen polttoaineen kulutus on 0,2641 kg/km. Kuorma-painona on käytetty arvoa 14,2 t/matka. Taulukon 2 päästölaskelmissa on oletettu, että ajossa 5 % tapahtuu kaduilla ja 95 % maanteillä. (Koskela 2002.)

TAULUKKO 2. Keskimääräiset päästökertoimet kuorma-autoille (Koskela 2002).

	Keskimäärin (kaikki) [g/km]	Päästöt kuljettua tonnikilometriä kohti [g/(km·t)]
CO ₂	829,433	58,411
SO ₂	0,010	0,0007
NO _x	10,138	0,714
CO	3,343	0,235
Hiukkaset	0,997	0,070
HC	1,285	0,091
N ₂ O	0,040	0,003
CH ₄	0,114	0,008

Muita käsittelyvaihtoehtoja

Tarkastelussa mukana olleiden käsittelyvaihtoehtojen lisäksi öljyvahinkojätteen käsittelyyn on olemassa myös muita menetelmiä. Öljy-vesiseoksia voidaan käsitellä esimerkiksi siirrettävillä öljynerottimilla. Esimerkiksi Doranova toimittaa öljyvahinkokohteisiin pilaantuneen maan- sekä vedenkäsittelylaitteita noin 1–2 vrk toimitusajalla. Tekniikoina voidaan käyttää mm. skimmausta, öljynerotusta ja aktiivihiihliuodatusta, kemiallista hapetusta sekä biologista kunnosta jne. Esimerkiksi öljynerottimia on vuokralaitteina virtaamavälillä 6–40 litraa sekunnissa (21–144 m³/h), ja niiden käsittelykapasiteetti on noin 5–20 m³/h. (Mattila 2016).

Teknitaloudellinen tarkastelu

Teknitaloudellisessa tarkastelussa verrattiin öljyvahinkojätteen nykyistä käsittelyä Itä-Suomen alueella tässä artikkelissa kuvattuihin vaihtoehtoihin: 1) polttoon alueellisessa voimalaitoksessa, 2) polttoon siirrettävässä polttolaitteistossa, 3) käsittelyyn geotuubilla tai 4) jätteen muualle kuljetukseen (taulukko 3).

TAULUKKO 3. Öljyvahinkojätteen käsittelymenetelmien teknistaloudellinen tarkastelu Itä-Suomen näkökulmasta. Laskelmissa käytetyt käsittely- ja kuljetushinnat (alv 0 %) ovat viitteellisiä ja voivat muuttua tapauskohtaisesti esimerkiksi jätemäärän ja jätteen laadun mukaan.

Käsittely	Yksikkö-hinta (€/t)	Käsittelykus-tannukset (€)	Jätteen kuljetus-kustannukset (€)	Kustannukset yhteensä (€)
Öljy-vesiseos (500 t)				
Nykyinen käsittely Itä-Suomen alueella	110-228	55 000-113 950	3 333	58 383-117 333
Poltto alueellisessa voimalaitoksessa	Alueella ei voimalaitosta, jolla olisi ympäristölupaa nestemäisen öljyvahinkojätteen polttamiseen.			
Siirrettävä polttolaitteisto	Soveltuu paremmin pilaantuneille maille kuin nestemäiselle jätteelle. Korkea vesipitoisuus nostaa kustannuksia. Laitteisto kannattaa siirtää alueelle kun jätemäärä on 25 000-30 000 tonnia.			
Geotuubi	60	30 170	3 333	33 553
Muualle kuljetus (poltto, Riihimäki)	110	55 000	26 667	82 067
Öljyllä pilaantunut maa (2000 t)				
Nykyinen käsittely Itä-Suomen alueella (öljypit. > 20 000 mg/kg)	80-245	160 000-489 440	13 333	173 333-502 773
Poltto alueellisessa voimalaitoksessa	Alueella ei voimalaitosta, jossa pilaantuneen maan polttaminen olisi mahdollista.			
Siirrettävä polttolaitteisto	40-160	80 000-320 0000	13 333	93 333-333 333
	Kannattaa siirtää alueelle kun jätemäärä 25 000-30 000 tonnia.			
Geotuubi	Ei sovellu kyseiselle jätejakeelle.			
Muualle kuljetus (poltto, Riihimäki)	340	680 000	106 667	786 667
Kiinteä öljyjäte (5 t)				
Nykyinen käsittely Itä-Suomen alueella	Kuljetetaan aina muualle käsiteltäväksi.			
Poltto alueellisessa voimalaitoksessa.	Riikinvoima Oy:llä ympäristölupa ottaa vastaan nuhraantuneita öljyisiä jätteitä. Käytännössä vastaanottoa ei katsota mahdolliseksi.			
Siirrettävä polttolaitteisto	40-160	200-800	100	300-900
	Kannattaa siirtää alueelle kun jätemäärä 25 000-30 000 tonnia.			
Geotuubi	Ei sovellu kyseiselle jätejakeelle.			
Muualle kuljetus (poltto, Riihimäki)	340	1700	800	2500

Öljyvahingossa syntyvät jätejakeet eli öljy-vesiseokset/nestemäiset jätteet, pilaantuneet maat ja kiinteä öljyinen jäte tarkasteltiin erikseen. Kustannukset arvioitiin yrityksiltä tai niiden julkisista hinnastoistaan saatujen hintatietojen perusteella. Laskennassa käytetyt hintatiedot ovat viitteellisiä ja voivat muuttua tapauskohtaisesti. Jätteen laatu, määrä ja vapaana oleva käsittelykapasiteetti ratkaisevat lopulliset käsittelymahdollisuudet ja kustannukset. Kuljetusmatkoiksi on arvioitu 50 km, jos käsittely tapahtuu lähialueella ja 400 km, jos jäte kuljetetaan Itä-Suomen alueen ulkopuolelle. Yhteen kuorma-autoon laskettiin mahduttuvan 15 t jätettä.

Nykyisellä käsittelyllä Itä-Suomen alueella tarkoitetaan taulukossa 3 öljyvahinkojätteen käsittelyä alueen jätekeskuksissa, mitä on kuvattu tarkemmin artikkelissa ”Öljyvahinkojätteen käsittely Itä-Suomessa”. Öljy-vesiseoksia ja nestemäistä öljyistä jätettä käsitellään mm. mekaanisesti erottamalla, kemiallisesti saostamalla ja ultrasuodattamalla. Vastaanottokapasiteetti on kerrallaan suurimmillaan noin 300 m³. Öljyllä pilaantuneita maita käsitellään kompostoimalla ja loppusijoittamalla tai hyötykäyttämällä kaatopaikoilla. Kiinteälle öljyiselle jätteelle Itä-Suomen alueella ei ole käsittelymahdollisuuksia.

Kustannustarkastelu osoitti, että öljyvahinkojätteen käsittely alueella on yleensä kannattavampaa kuin muualle kuljettaminen, jos käsittelykapasiteetti vain riittää. Esimerkiksi 500 tonnin öljy-vesiseoksen käsittelykustannuksissa kuljetus 400 km päähän tuo noin 23 000 euron lisäkustannuksen verrattuna alueelliseen käsittelyyn. Tarkasteluun valituista käsittelyvaihtoehdoista (poltto alueellisessa voimalaitoksessa, poltto siirrettävässä polttolaitteistossa tai geotuubikäsitely) ei löytynyt oleellisesti öljyvahinkojätteen käsittelyä parantavia vaihtoehtoja. Esimerkiksi geotuubikäsitelyn soveltuvuutta öljyisten lietteiden käsittelyssä voisi kuitenkin edelleen selvittää testaamalla tarkemmin eri polymeerejä, ja geotubia olisi varmasti mahdollista hyödyntää laajemmin nestemäisten jätteiden käsittelyssä jätekeskuksissa. Tulevaisuudessa voisi selvittää, voisiko esimerkiksi imeytyspuomeja pulpperoita, jotta niistä ei valuisi öljyä, ja poltto olisi mahdollista Itä-Suomen alueella Riikinvoiman ekovoimalaitoksessa. Alueellisten voimalaitosten ympäristöluvista voisi mahdollisesti myös huomioida öljyvahinkojätteen polttomahdollisuuden. Öljyn erottamista vedestä voisi kehittää selvittämällä, voisiko esimerkiksi siirrettäviä öljynerottimia tai imeytystuotteita hyödyntää nykyistä tehokkaammin.

LÄHTEET

Ekokem Oy 2012. Ekokemin ohje 3/12 Jätteiden turvalliseen kuljettamiseen. Hämeen kirjapaino, Tampere 09/2012.

ELSU taustaraportti 2009. Kaakkois-Suomen ympäristökeskus, Hämeen ympäristökeskus, Lounais-Suomen ympäristökeskus, Länsi-Suomen ympäristökeskus, Pirkanmaan ympäristökeskus, Uudenmaan ympäristökeskus. Etelä- ja Länsi-Suomen jätesuunnitelma. Taustaraportti. Jätehuolto poikkeuksellisissa tilanteissa. Kaakkois-Suomen ympäristökeskuksen raportteja 1/2009.

Heikkinen, Lasse 2016: Sähköpostiviesti 22.12.2016. Käyttöpäällikkö. Etelä-Savon Energia Oy (Pursialan Voimalaitos).

Hietala, Meri & Lampela, Kari (toim.). 2007. Öljyntorjuntavalmius merellä -työryhmän loppuraportti. Suomen ympäristö 41/2007. Suomen ympäristökeskus. Edita Prima Oy, Helsinki. ISBN (PDF) 978-952-11-2913-1.

Honkola, Lauri 2014. Kiintoaineen erottaminen Kymijärvi I –voimalaitoksen hiilikattilan pesulietteestä. Lahden ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Opin- näytetyö.

Hupponen Mari, Tanskanen, Anna-Liisa, Luoranen, Mika & Horttanainen, Mika 2007. Öljyvahinkojätteiden käsittely alusonnottomuuden jälkeen Kymenlaakson alueen näkökulmasta. Tutkimusraportti EN B173. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. ISBN 978-952-214-521-5 (PDF)

Isokauppila, Vesa 2016. Sähköpostikeskustelu 13.-30.6.2016. Projektipäällikkö/Työpäällikkö. Sito Rakennuttajat Oy.

Jolma, Kalervo 2009. Kokonaisselvitys valtion ja kuntien öljyntorjuntavalmiuden kehittämisestä 2009-2018. Suomen ympäristökeskus.

Jätealan huoltovarmuustoimikunta, vahinkojätetyöryhmä 2015a. Häiriötilanteiden jätehuolto – Osa A: Häiriötilanteiden jälkivaiheen jätehuoltoa koskeva lainsäädäntö.

Jätealan huoltovarmuustoimikunta, vahinkojätetyöryhmä 2015b. Häiriötilanteiden jätehuolto – Osa B: Häiriötilanteiden jälkivaiheen jätehuollon järjestäminen.

Karhu, Tapani 2015. Henkilökohtainen tiedonanto 10.12.2015. Käyttöpäällikkö. Puhas Oy.

Karvonen, Jari-Pekka 2016. Henkilökohtainen tiedonanto 29.1.2016 ja 13.4.2016. Sales Manager Finland: Pohjois-Savo ja Pohjois-Karjala. Ekokem Oy.

Karvonen, Jarkko 2015. Henkilökohtainen tiedonanto 10.12.2015. Tekninen johtaja. Outokummun kaupunki.

Koskela, Sirkka 2002. Sähköntuotannon ja kuljetusten ominaispäästöt elinkaari-inventaariossa. Suomen ympäristökeskuksen moniste 264. Suomen ympäristökeskus, Helsinki 2002. 20 s. ISBN 952-11-1259-X.

Mattila, Perttu 2016. Sähköpostiviesti 1.7.2016. Toimialapäällikkö, pilaantuneet maa-alueet. Doranova Oy.

Pasula, Mika 2016. Henkilökohtainen tiedonanto 13.4.2016. Laitospäällikkö. Tammervoima Oy.

Pöyry Management Consulting Oy 2015. Jätteiden energiahyödyntäminen Suomessa. Loppuraportti 16.10.2015. Energiateollisuus ry.

Ramboll Finland Oy 2011: Paukarlahden säiliöauto-onnettomuus, Leppävirta. Öljyvahingon torjuntatyöt. Toimenpideraportti 3.5.2011 (Työnro 82139642).

Ranttila, Heidi 2016. Sähköpostiviesti 21.6.2016. Käsittelyinsinööri. Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy.

Sito Rakennuttajat Oy. Pack that mud - Solutions for a cleaner environment. PDF-dokumentti.

Särkkä, Ella 2016: Poikkeuksellisten tilanteiden jätehuoltoa koskevan lainsäädännön kehittäminen. Ympäristöministeriö. Esitys Ympäristövahinkojen torjunnan neuvottelupäivillä 12.5.2016.

Särkkä, Ella 2017. Henkilökohtainen tiedonanto 27.1.2017. Ylitarkastaja. Ympäristöministeriö.

SÖKÖ II manuaali: Ohjeistusta alusöljyvahingon rantatorjuntaan. Kymenlaakson ammattikorkeakoulun julkaisuja. Sarja A. Oppimateriaali. Nro 31. ISBN 978-952-5963-05-2 (PDF)

Taalikka, Lasse 2016. Henkilökohtainen tiedonanto 6.7.2016. Yksikönpäällikkö, vaaralliset jätteet. Lassila & Tikanoja Oyj.

TenCate 2013. Environmental Dredging and Remediation TenCate Geotube Case Studies. PDF-dokumentti. Saatavilla: http://www.tencate.com/amer/Images/BRO_Remediation_tcm29-33446.pdf. Luettu 7.6.2016.

Tepponen, Janne 2015. Henkilökohtainen tiedonanto 30.10.2015. Käyttöpäällikkö. Savon Voima Oy.

Toivola, Vesa 2015. Saimaan syväväylän alueen alusöljy- ja aluskemikaalivahinkojen torjunnan yhteistoimintasuunnitelma. Raportteja 39/2015. Etelä-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. ISBN 978-952-314-255-8 (PDF)

United States Environmental Protection Agency 2010. Enbridge Line 6B MP 608 Pipeline Release Marshall, Michigan. US EPA archive document.

Uotila, Jussi 2015. Henkilökohtainen tiedonanto 21.10.2015. Tekninen johtaja. Savaterra Oy.

Vepsäläinen, Jarmo 2016. Henkilökohtainen tiedonanto 30.6.2016. Toimitusjohtaja. Keski-Savon Jätehuolto liikelaitoskuntayhtymä.

KARTTA-AINEISTOT JA LOGISTIKKAPISTEET ÖLJYVAHINKOJÄTELOGISTIIKAN HALLINTAAN SEKÄ TILANNETIEDON YLLÄPITOON

Joel Kauppinen

Tämä raportti on osa Kymenlaakson ja Mikkelin ammattikorkeakoulujen Itä-Suomen maa-alueiden ja Saimaan vesistöalueen öljyn ja vaarallisten aineiden varastoinnin ja kuljetusten ympäristöriskien älykäs minimointi ja torjunta -hanketta (ÄLYKÖ-hanke). ÄLYKÖ-hankkeessa tuli tehdä hankealueelle kartta-aineisto jätealogistiikan hallintaan sekä tilannetiedon ylläpitoon ja ympäristömonitorointitiedon jakamiseen. Aineisto koostuu kartastoista, logistiikkapistetiedoista ja muista paikkatietoaineistoista. Vastaavia kartoituksia ja tuotoksia on aiemmin tehty Suomenlahdelle (Sökö) ja Perämerelle (Pök). ÄLYKÖ-hankkeessa kartastoista kehitettiin helppokäyttöisempiä ja selkeämpiä aiempiin tuotoksiin verrattuna. Hankesuunnitelmasta poiketen kartastot päätettiin tehdä hankkeen omana työnä ostopalvelun sijaan. Tässä raportissa kuvataan hankkeessa tehtyjen karttojen, niihin liittyvien paikkatietoaineistojen ja logistiikkapisteteiden selvitys-, analyysi- ja työtavat sekä tuotetun aineiston ominaisuudet ja käyttöoikeudet. Raportissa kuvatut työt tehtiin heinä-joulukuun 2016 aikana.

ÄLYKÖ-hankealue kattaa Pohjois-Savon, Pohjois-Karjalan ja Etelä-Savon alueet. Saimaan syväväylä kulkee Etelä-Karjalan poikki Etelä-Savoon. Etelä-Karjalaan tehtiin yhtä aikaa vastaavat työt SököSaimaa-hankkeen parissa. Hankkeiden välillä käytiin tiivistä vuoropuhelua töiden toteuttamistavasta. Tämän raportin statistiikka koskee kaikkien neljän maakunnan alueita, ellei toisin ole mainittu.

Rantalohkojako

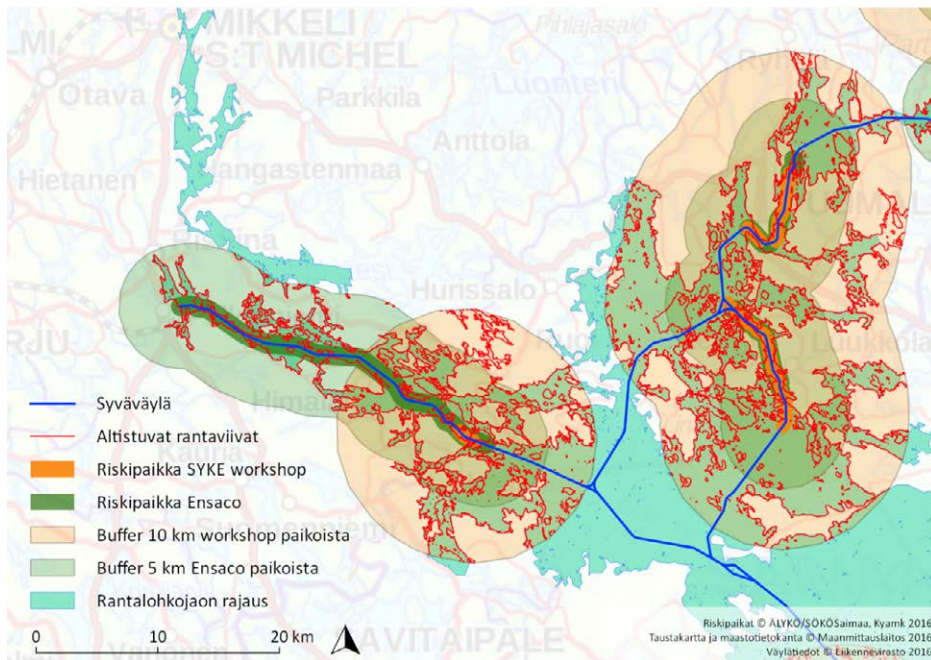
Öljyvahingon rantatorjuntaa varten ranta-alueet on jaettu yksilöityihin, noin 1000 metrin lohkoihin ja lohkot edelleen noin 200 metrin kaistoihin. Rantalohkojaon tarkoitus on helpottaa rantojen puhdistusoperaatiota öljyvahingon tapahduttua. On tärkeää, että likaantuneet alueet voidaan tunnistaa ja yksilöidä tehokkaan torjunta- ja puhdistustoiminnan varmistamiseksi. Lisäksi lohkojakoa voidaan käyttää apuna vahingon laajuuden arvioinnissa ja kuvaamisessa vahinkoskenaarioita tehtäessä.

Lohkojaon alueellinen kattavuus

Aiemmin hankkeessa oli päätetty, että kysytään tarjous rantaviivan digitoimisesta viiden kilometrin säteellä syväväylästä. Joel Kauppinen esitti hankkeessa mukana oleville tahoille, että otetaan lohkojaon kattavuudeksi altistuvien vesialueiden rajat kilometrimääräisen rajauksen sijaan. Kyseinen rajausta palvelee paremmin öljyntorjuntatoimintaa ja on topografialtaan yhtenäisempi. Esitystä kannatettiin.

ÄLYKÖ-hankkeessa selvitettiin Saimaan alueen syväväylän riskipaikat (Halonen ym. 2016) sekä tieliikenteen, rautatieliikenteen ja teollisuuslaitosten riskipaikat ja tehtiin öljyn leviämismallinnuksia muutamiin kohteisiin. Mallinnuksista laskettiin konveksiviivojen pituuksiksi noin viisi kilometriä vuorokauden ja kymmenen kilometriä kahden vuorokauden pisimmiksi leviämismatkoiksi. Aluerajauksen tueksi laskettiin viiden ja kymmenen kilometrin vyöhykkeet (bufferit) syväväylän riskipaikoista (kuva 1), mikä auttoi hahmottamaan mahdollisesti likaantuvien ranta-alueiden määrää ja sijaintia.

Rantalohkojaon aluerajaus tehtiin siten, että kaikki syväväylän ympäristössä olevat avoimet vesialueet, jotka voivat altistua vahingolle, tulevat lohkojakoon mukaan. Rajauksesta jätettiin pois kapeiden salmien takana olevia alueita, joiden arvioitiin jäävän vahingon ulottumattomiin etäisyyden ja virtausten takia. Aluerajaukseen otettiin hankkeen toimijoiden kommentoinnin perusteella mukaan Mikkelin, Uimaharjun ja Punkaharjun vesistöt teollisuuslaitosten ja muun vesiliikenteen aiheuttaman riskin takia. Rantalohkojaon ja kartastojen kattavuus on esitetty kuvassa 2.

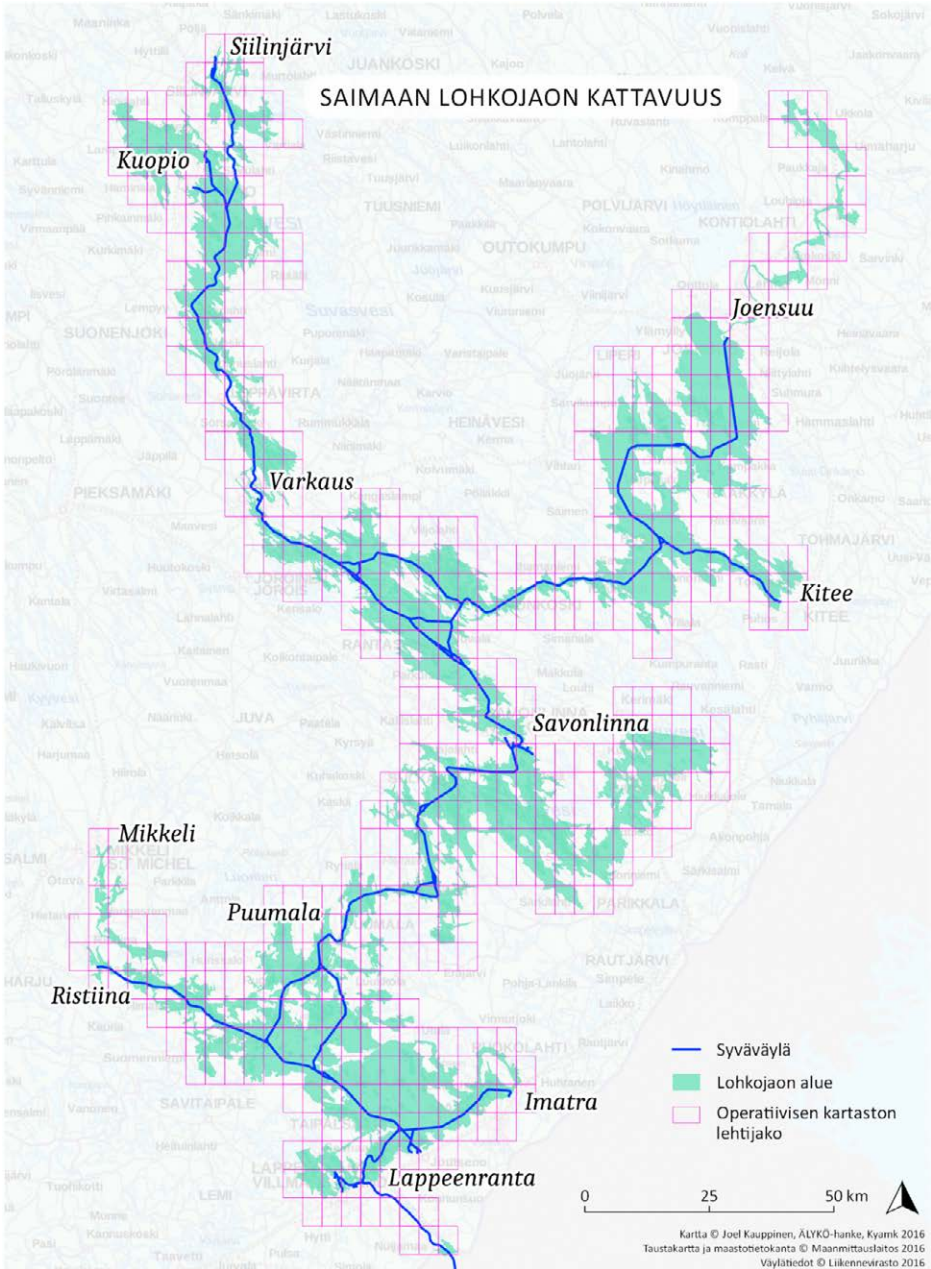


KUVA 1. Esimerkki altistuvien rantojen analyysimenetelmästä.

Aineisto

Rantalohkojakoon käytetty rantaviiva-aineisto irrotettiin Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta. Maastotietokanta on vapaasti ladattavissa Maanmittauslaitoksen avoimien aineistojen tiedostopalvelusta. Rantaviiva-aineisto koostettiin noin 300 tiilestä, jotka kattavat kokonaan kartastojen alueet. Aineisto sisältää vakavesi- (luokka 36200), järvivesi- (luokka 36212) ja virtavesialuekohteet (luokka 36313).

Irrotettua rantaviiva-aineistoa verrattiin Suomen ympäristökeskuksen rantaviiva-aineistoon ja todettiin sen olevan ajantasaisempi mm. laiturirakennelmien ja aallonmurtajien suhteen. Muutoin rantaviivat olivat pääosin yhteneväiset. Irrotettu rantaviiva-aineisto ei sisällä pieniä esimerkiksi pengertien erottamia kohteita, jotka eivät ole kartografisesti yhteydessä järviolueeseen.



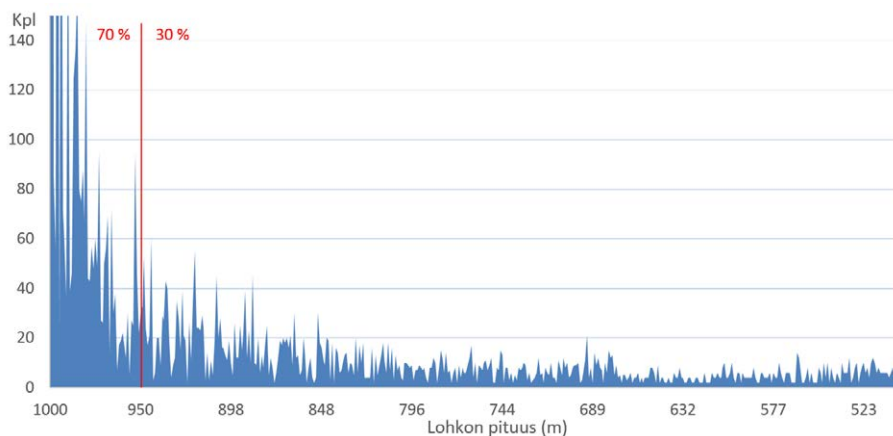
KUVA 2. Rantalohkojaon ja kartastojen alueet Saimaan vesistöalueella.

Lohkot, kaistat ja pienet saaret

Saimaalle rantalohkojako tehtiin irrotetusta rantaviiva-aineistosta Suomenlahdelle kehitettyä Sökö-määrittelyä mukailien (liite 1). Lohkottava aineisto koostui mantereesta ja yli kilometrin ympärysmitaltaan olevista saarista. Saimaan

lohko- ja kaistajaossa on kaksi eroavaisuutta Sökö-määrittelyihin verrattuna. Saimaan lohkojaon saaret, joihin on mantereelta vähintään luokan IIIb (tien leveys yli 3 m) kiinteä tieyhteys, on merkitty mantere-tunnuksilla, koska niiden logistiikka voidaan rinnastaa mantereeseen. Lohkotunnusten numerointi ei kierrä kiinteällä yhteydellä olevien saarten kautta, vaan se jatkuu siitä, mihin varsinaisen mantereen numerointi päättyi. Kulku osaan saarista on usean pitkän siltayhteyden kautta, mikä estää numeroinnin kiertämisen saaren kautta. Toinen eroavaisuus on kaista- ja lohkojaon tekninen toteutus. Saimaalla rantaviiva pilkottiin yleistämättömästä aineistosta siten, että viivasta muodostettiin mahdollisimman monta yhtä pitkää maksimissaan 1000 metrin lohkoa. Tarkastelussa olevalla järviolueella on 5 710 yli kilometrin halkaisijaltaan olevaa saarta. Tällä lohkomismenetelmällä voidaan välttää tuhansien tynkälohkojen muodostuminen. Lohkojen todellisten pituuksien määrät laskettuna tarkasta aineistosta näkyvät kuvassa 3. Lyhimät lohkot ovat pienillä hieman yli kilometrin halkaisijaltaan olevilla saarilla. Yli 70 % lohkoista on vähintään 950 metriä pitkiä ja 88 % vähintään 800 metriä pitkiä. Yhteensä lohkoja on 13 211.

Loppusyksystä 2016 pidetyssä hankeryhmän kokouksessa päätettiin nimetä lohkot kuntanimistä muodostettavien tunnusten mukaisesti siten, että kunnan nimestä otetaan kolme ensimmäistä kirjainta ja perään lisätään juokseva lohkonumero. Saarien osalta käytettiin s-kirjainta kuntatunnuksen perässä ennen numeroa. Poikkeuksena kuntatunnuksen luomisessa oli Savitaipale, joka sai tunnuksen SAT, ettei se mene sekaisin Savonlinnan tunnuksen kanssa. Ennen tunnusten luomista tehtiin tarkastus, etteivät tunnukset mene päällekkäin jo aiemmin luotujen rantalohkojakotunnusten kanssa. Kaikki ÄLYKÖ-hankealueella käytetyt lohkojen kuntatunnukset on esitetty taulukossa 1.



KUVA 3. Lohkojen lukumäärät suhteessa pituuteen. Suurin osa lohkoista on vähintään 950 m pitkiä. Tuhannen metrin lohkoja on 4 720 ja 999 metrin lohkoja 1 185. Lyhimät lohkot ovat pienissä saarissa.

TAULUKKO 1. Kartastojen rantalohkojaon tunnuksot ja lohkojen määrit. Lukumäärät sisältävät sekä manner että saarilohkot.

Kunta	Mantereen tunnus XXX + lohkonro	Saarien tunnus XXXs + saarinro + saaren lohkonro	Lohkojen määrä	Rantaviivan pi- tuus km
Enonkoski	ENO_51	ENOs_3_5	321	296
Imatra*	IMA_32	IMAs_3_1	50	47
Joensuu	JOE_101	JOEs_1_4	421	411
Joroinen	JOR_10	JORs_4_2	122	115
Kitee	KIT_89	KITs_7_6	297	283
Kontiolahti	KON_27	KONs_5_6	135	131
Kuopio	KUO_567	KUOs_12_5	1103	1021
Lappeenranta*	LAP_201	LAPs_9_8	548	509
Leppävirta	LEP_399	LEPs_22_3	768	716
Liperi	LIP_6	LIPs_6_2	442	417
Mikkeli	MIK_77	MIKs_31_3	698	660
Puumala	PUU_845	PUUs_2_2	1407	1324
Rantasalmi	RAN_200	RANs_21_4	736	661
Ruokolahti*	RUO_100	RUOs_12_2	415	392
Rääkkylä	RÄÄ_74	RÄÄs_17_3	456	432
Savitaipale*	SAT_54	SATs_3_5	139	133
Savonlinna	SAV_1569	SAVs_39_2	3113	2885
Siilinjärvi	SII	SIIs_2_1	289	274
Sulkava	SUL	SULs_7_2	477	456
Taipalsaari*	TAI	TAIs_31_2	694	635
Varkaus	VAR	VARs_1_1	581	540
		Yhteensä:	13211 kpl	12338 km

*SököSaimaa hankealuetta

Rantalohkojaosta muodostettiin 200 metrin kaistajako, jolle muodostettiin kirjaintunnus A–E, lohkojaon kulkusuunnan mukaisesti. Kaistajako muodostettiin samalla logiikalla lohkojaon kanssa eli lohko jaettiin maksimissaan 200 metriä pitkään kaistaan. Ne saaret, joiden lohkot ovat alle 800 metriä, jaettiin neljään kaistaan per lohko. Vastaavasti alle 600 metrin lohkot jaettiin kolmeen kaistaan per lohko.

Saarista eroteltiin pienet alle kilometrin mutta yli sadan metrin ympärysmitaltaan olevat saaret. Pieniä saaria on aineistossa yhteensä 7 899, joiden rantaviivan yhteenlaskettu rantaviivan pituus on 2 410 km. Alle sadan metrin ympärysmitaltaan olevat saaret poistettiin aineistosta. Pienten saarten tunnuksat ovat Sököön mukaisesti niiden ympärysmitan metrimäärä. Saarten suuren lukumäärän takia sama tunnus voi olla usealla pienellä saarella tai jonkin muun alueen saarella, missä on käytetty samaa merkitsemismenetelmää.

Logistiikkapisteet

Syksyllä 2016 pidetyssä hankeryhmän kokouksessa päätettiin, että Saimaan osalta voidaan käyttää Perämeren öljyntorjunnan kehittämishankkeessa (Pök) käytettyä logistiikkapisteiden luokittelua, ja että Saimaalta kartoitetaan kaikki V-luokkaan eli välivarastointiin ja keräykseen soveltuvat (Pök 2 -tasoa vastaavat) sekä L-luokan eli loppukäsittelyyn sopivat (Pök 3 -tasoa vastaavat) paikat. Lisäksi kartoitetaan muut esille tulevat selkeät K-luokan eli keräykseen ja lyhytaikaiseen varastointiin soveltuvat paikat (Pök 1 -tasoa vastaavat). Koko alueen kartoittamista Suomenlahden ja Perämeren tarkkuudella ei nähty järkeväksi alueen laajuuden ja työstä saatavan hyödyn suhteen. Esimerkiksi Perämerellä määriteltiin K-luokkaa vastaavia paikkoja kilometrin-kahden välein (Pök 2013: 6).

Kokoukseen osallistujat kokivat Perämerellä käytetyn luokittelun numeroinnin harhaanjohtavaksi ja tästä syystä Saimaalla päädyttiin käyttämään logistiikkapisteiden luokkaa paremmin kuvaavia kirjaimia. Pök-mukaiset kriteerit on esitetty taulukossa 2. Kirjaimet toistuvat logistiikkapisteet yksilöivissä tunnuksissa (kuva 4). Tunnusten numerointi juoksee pelastuslaitosalueittain pohjoisesta etelään päin.

TAULUKKO 3. Maastietokannasta poimitut muut kuin tekstikohteet ja pisteaineiston tekstiselitteiden poiminta ja löydetyt kohteet.

Kohde	Luokka
Lautta	12151, 12192
Lossi	12152, 12193
Uittoränni	39000
Uittolaite	38800
Varastoalueen symboli	38991
Laituri, alle 5 m	45111
Laituri, yli 5m	45112
Teollinen rakennus	42242, 42241, 42240
Liike- tai julkinen rakennus	42222, 42221
Varastoalue	38900
Louhos	32500
Autoliikenne-alue	32421
Lentokenttä-alue	32417, 32416, 32415, 32412, 32411
Kaatoipaikka	32300
Maa-aineksen-ottoalue	32113, 32112, 32111

Hakumääre	Löydetyt kohteet
'%aatopaikk%'	
'%aineksen%'	
'%aivos%'	Kotalahden kaivos
'%alanviljely%'	
'%aloasem%'	Paloasema
'%alvelu%'	Palvelukeskus, palvelut
'%askettelu%'	Laskettelurinne
'%astaus%'	
'%auppa%'	
'%avirat%'	Ravirata
'%eikkiken%'	
'%eirikesk%'	Leirikeskus, Riuttalan leirikeskus, seurakunnan leirikeskus
'%eirinta%'	
'%entokentt%'	Lentokenttä
'%erivartioase%'	
'%harjoittelu%'	Ajoharjoittelurata
'%helikop%'	
'%kentt%'	Golfkenttä, leirikenttä, lentokenttä, tenniskenttä
'%köinti%'	
'%mpumara%'	Ampumarata
'%olfken%'	Golfkenttä
'%olttoaineenj%'	
'%omakyl%'	Lomakylä, Suur-Saimaan lomakylä, Saimaanrannan lomakylä
'%oottorirat%'	Moottorirata
'%ouhos%'	Atomilouhos
'%oulu%'	Kotiteollisuuskoulu, koulu, koulukoti, Kouluranta, koulutuskeskus, maasotakoulu, metsäkoulu
'%sata%'	Kalasadama, matkustajasatama, satama, Satamahiekkä, Satamaluoto, Satamaniemi, Satamataipale, suojasatama, syväsatama, venesatama, Vuoksen satama, öljysatama
'%udotus%'	Pudotusp., pudotuspaikka
'%ukki%'	Kalmukkisaari
'%uoltoase%'	
'%uotsiasem%'	Luotsiasema
'%urssikesk%'	
'%uulivoima%'	
'%vähdys%'	

Maastotietokannan pisteaineiston tekstiselitteistä poimittiin kaikki kohteet, jotka sisälsivät taulukon kolme hakumääreiden mukaiset osat sanoista. Maastotietokannassa on nimetty kohteita sekä isolla että pienellä kirjaimella ja mm. satamia erilaisilla satama-termeillä. Kyseisillä hakutermeillä saatiin kohteita kattavasti irrotettua erilleen kirjoitusasusta riippumatta.

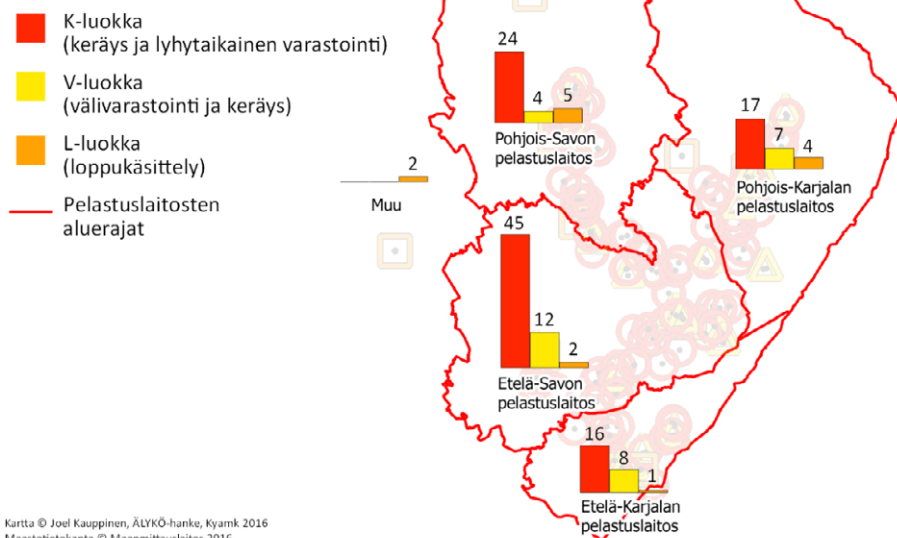
Alustavaa logistiikkapisteiden määrittelyä varten rakennettiin QGIS-projekti, missä on tarkasteltavan järvalueen rajat, maasto- ja ilmakuvataustakartta ja valitut irrotetut maastotietokantakohteet. Maastotietokannan kohteita korostamalla oli mahdollista tehdä kohtalaisen tehokasta visuaalista logistiikkapisteiksi sopivien paikkojen etsintää. WMS-palvelun taustakartat latautuvat hitaasti ja sen vuoksi oli kätevää käyttää erillisiä maastotietokohteita täsmähaun tekemiseksi. Sopiviksi arvioituista kohteista tehtiin oma tiedosto, mihin määriteltiin paikalle alustava logistiikkapisteluokka, paikan tarkastamistarve ja numerotunnus. Alustavan määrittelyn jälkeen noin 160 logistiikkapistepaikasta tehtiin kartat, jotka lähetettiin kommentoitavaksi hankkeessa mukana oleville tahoille.

Kommenttien perusteella tehtiin paikkamäärittelyihin tarkennuksia, osa paikoista poistettiin ja otettiin pohjavesialueet mukaan tausta-aineistoon. Tässä vaiheessa laskettiin myös paikkojen läheisyydessä olevien asuin- ja loma-asuntojen määrä. Muutamia V-luokan paikkoja muutettiin K-luokan paikoiksi, koska niiden läheisyydessä oli paljon asutusta. Tämän jälkeen tehtiin tarkastuskartat, minkä mukaan logistiikkapisteiden tarkastaminen suoritettiin. Tarkastelukieroksilla paikoista arvioitiin tarkemmin soveltuvuus logistiikkapisteiksi ja paikat valokuvattiin. Tarkastuksia tehtiin yli sadalle paikalle hankehenkilöstön ja pelastuslaitosten toimesta. Muutamia kohteita, jotka olivat isompien teiden läheisyydessä, tarkasteltiin Google Street view -palvelusta.

Tässä vaiheessa saatiin käyttöön Jätelaitosyhdistys Ry:n www.kierratys.info -tietokanta, joka kattaa koko Suomen. Tietokanta analysoitiin ja sen perusteella logistiikkapisteisiin lisättiin yksi K-luokan paikka (ES_K_59).

Logistiikkapisteitä määriteltiin koko alueelle 147, joista 102 on K-luokan, 31 V-luokan ja 14 L-luokan paikkoja. Valituista paikoista tarkastuskäynti tehtiin 104 paikalle. Logistiikkapisteiden määrät pelastuslaitosalueittain näkyvät kuvassa 5. Kaikista pisteistä tehtiin kohdekortit.

LOGISTIIKKAPISTEIDEN MÄÄRÄT PELASTUSLAITOSALUEITTAIN



KUVA 5. Logistiikkapisteiden määrät ja luokat pelastuslaitosalueittain.

Öljytorjuntakalusto

Pelastuslaitoksilla olevan öljytorjuntakaluston tiedot on tallennettu öljysuoja-rahaston Parkki-tietojärjestelmään, minkä tiedot löytyvät Boris-tilannekuvajärjestelmästä. Tietojen paikkatieto esitetään kuntatasolla eikä se näin ollen palvele parhaalla tavalla öljytorjuntaa tai sen suunnittelua.

Saimaan syväväylän alueen alusöljy- ja aluskemikaalivahinkojen torjunnan yhteistoimintasuunnitelman liitteeseen 10 on taulukoitu alueen öljytorjuntakalusto (Toivola 2015). ÄLYKÖ-hankkeessa täydennettiin kalustolistaus ajan tasalle ja tehtiin tiedoista tarkka paikkatietoaineisto. Aineisto pyritään saamaan Borikseen. Sen avulla on mahdollista arvioida paremmin esimerkiksi kaluston riittävyyttä ja saavutettavuutta.

Lopputuotteet

Loppusyksystä 2016 pidetyssä hankeryhmän kokouksessa päätettiin, että tuotetaan A3-kokoinen PDF-formaatissa oleva maastokarttapohjainen kartasto. Lisäksi ÄLYKÖ-hankkeen ohjausryhmä on linjannut, että tiedot lisätään Boris-tilannekuvajärjestelmään. Logistiikkapisteistä tehtiin kohdekortit, jotka linkittyvät kartastoihin.

Logistiikkapisteiden kohdekortit

Aikaisempien hankkeiden selvittämien logistiikkapisteiden tiedot ovat Excel-taulukoissa ja kuvat erillisinä kuvatiedostoina. Tiedot löytyvät myös Boris-tilannekuvajärjestelmästä. ÄLYKÖ-hankkeessa logistiikkapisteiden esittämistä varten kehitettiin kohdekortit. Logistiikkapistekohtaiset kohdekortit koostuvat paikan tiedoista, karttakuvasta, ilmakuvasta ja valokuvista, jos niitä on ollut saatavilla. Kortit ovat A4-kokoisia PDF-dokumentteja. Kuvassa 6 on esimerkki kohdekorttien sisältämästä tekstitiedosta.

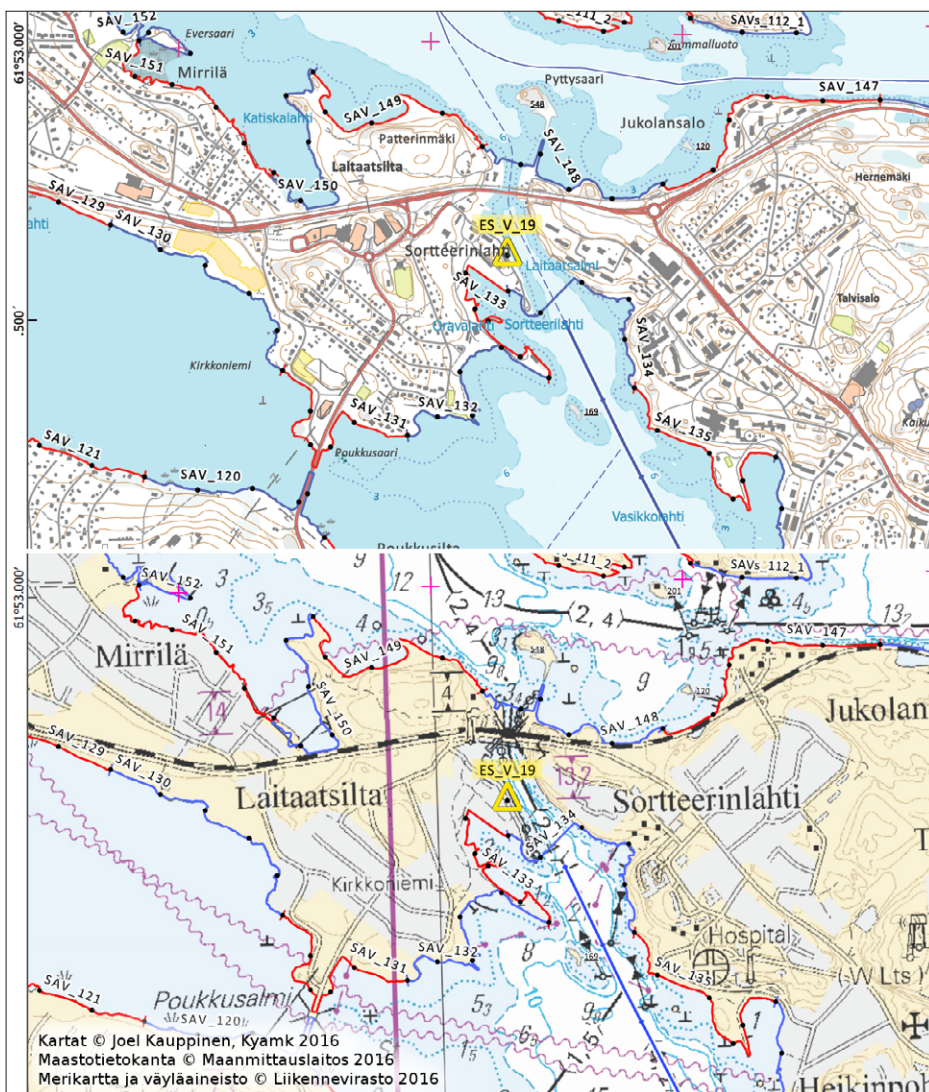
LOGISTIKKAPISTE		
ES_V_39 Mikkelin satama		
(varastointi ja keräys)		
OSOITE: Laiturikatu 1 Mikkeli		
KOORDINAATIT	WGS84	ETRS-TM35FIN
	LAT 61° 41.29254	P 6839479
	LON 27° 16.8807	I 514886
LISÄTIEDOT: Jätteiden keräys- ja kuljetus, henkilöhuolto, veneiden lasku, sähkö, polttoainejakelu, suihku, wc, vesi, kahvio, asfalttipohja 0,15ha + 0,3ha ja tien toisella puolella hiekkakenttä 0,2ha, Navio Satamapalvelut Oy p. 010 666 7222.		
KARTTALEHTI NUMERO: 384, Etelä-Savon alueen kartasto		

KUVA 6. Logistiikkapisteiden kohdekorttien tiedot sisältävät mm. WGS84- ja ETRS-TM35FIN -koordinaatit sekä kartaston sivunumeron, miltä karttalehdeltä paikka löytyy.

Karttatuotanto

Kartastot tehtiin pääasiassa QGIS- ja Adobe Acrobat XI Pro -ohjelmistoilla. Osassa analyysejä ja luokitteluja käytettiin GRASS-, ESRI ArcGIS- ja MS Excel -ohjelmistoja. Logistiikkapisteiden kohdekorttien tekemiseen käytettiin myös MS Word -ohjelmaa.

Kartastot laadittiin pelastuslaitosalueittain A3-kokoisena PDF-formaatissa. Karttalehtijako laskettiin siten, että karttalehdet limittyvät noin 300 metriä. Lehtijako näkyy kuvassa kaksi. ÄLYKÖ-hankkeessa tehtiin kartastot Pohjois-Savon, Pohjois-Karjalan ja Etelä-Savon alueille. Etelä-Karjalan osalta kartasto tuotettiin SököSaimaa-hankkeessa. Kartastoista tehtiin sekä maastokartta- että merikartta-versiot. Versioiden lehtijako ja muut hankkeessa tuotetut aineistot ovat identtisiä (ks. kuva 7) eli karttoja voidaan käyttää yhtä aikaa ilman kohteiden sekaannuksen vaaraa. Merikarttataustalla olevat kartat saattavat olla parempia venekäytössä, kun navigointiin käytetään muutenkin merikarttoja. Liikenneviraston merikartta-aineiston lisenssissä on rajoitettu karttojen käyttö navigoinnin ulkopuolelle. Toisin sanoen merikarttataustalla olevia karttoja ei saa käyttää alusten navigointiin.



KUVA 7. Maasto ja merikarttojen hankkeessa tuotetut aineistot ovat identtisiä. Kuvassa näkyy Laitaatsalmi, johon rakennetaan uutta syväväylän linjausta.

Kartastot koostuvat kansisivusta, joka toimii samalla indeksikarttana, selitesivusta ja karttasivuista. Maastokartastoissa kaikki elementit ovat vektorimuotoisia, mikä mahdollistaa sivun lähentämisen ilman pikselöitymisongelmaa. Maastokartassa käytetyt elementit esitetään liitteessä kaksi. Merikarttaversion taustakartat ovat rasterimuotoisia 300 dpi:n tarkkuudella, mikä mahdollistaa hyvälaatuisten tulosteiden tekemisen. Lisäksi niissä on kartastojen lopussa merikarttojen selitteitä kaksi sivua. Käytön helpottamiseksi kartastoihin on rakennettu linkitys indeksisivuilta karttalehdille. Karttalehdiltä on linkitys logistiikkapisteiden kohdekortteihin. Kopioitaessa tiedostoja kartastojen hakerakenteen täytyy säilyä muuttumattomana, että linkitys toimii. Kartastoissa on yhteensä 588 sivua, joista esitetään 121 sivua Pohjois-Savon, 122 sivua Pohjois-Karjalan, 293 sivua Etelä-Savon ja 92 sivua Etelä-Karjalan kartastossa. Kartastoaineiston koko on noin 4,5 Gt.

Boris-tilannekuvajärjestelmään lisättävät aineistot

Suomen ympäristökeskuksen kehittämän ja ylläpitämän Boris-tilannekuvajärjestelmän tarkoitus on toimia öljyntorjuntaviranomaisten yhdenmukaisen ja ajantasaisen tilannekuvan tarjoavana työkaluna (SYKE 2013). Boriksen käyttöliittymä on karttapohjainen ja se käyttää paikkatietoaineistoja.

ÄLYKÖ-hankkeessa tuotettuja paikkatietoaineistoja lisätään Borikseen seuraavasti:

- Rantalohko- ja kaistajako
- Kartastojen lehtijako
- Syväväylän riski- ja alusonnottomuuspaikat
- Logistiikkapisteet*
- Öljyntorjuntakalusto**

*Lisätään ÄLYKÖ-hankkeen toimesta.

** Tarjotaan materiaaliksi. Kalustotietoja ei ole aiemmin tallennettu järjestelmään vastaavalla tarkkuudella (ks. s. 12).

Datan toimittaminen säilytys ja käyttöoikeudet

Kartastot, valitut osat paikkatietoaineistoista ja muuta hankkeessa tuotettua materiaalia tallennetaan muistitikuille. Aineisto toimitetaan kevään 2017 aikana seuraaville tahoille:

- Pohjois-Savon pelastuslaitos
- Pohjois-Karjalan pelastuslaitos
- Etelä-Savon pelastuslaitos
- Etelä-Karjalan pelastuslaitos
- Pohjois-Savon ELY-keskus
- Pohjois-Karjalan ELY-keskus
- Etelä-Savon ELY-keskus
- Kaakkois-Suomen ELY-keskus
- Liikennevirasto
- Rajavartiolaitos
- Puolustusvoimat
- Huoltovarmuuskeskus, Vesikuljetuspooli
- Suomen ympäristökeskus

Muistitikuille on tallennettu vastaanottavien tahojen yhteystiedot.

Tässä raportissa kuvatuista aineistoista logistiikkapisteiden tiedot (paikkatietoaineisto ja kohdekortit) eivät ole julkista aineistoa.

Avoimet aineistot

ÄLYKÖ-hankkeen hankesuunnitelmassa (ESA-ELY 2016: 2) yhtenä tavoitteena on avoimen ympäristötiedon kehittäminen. Usein hankkeissa tuotettuja materiaaleja, lukuun ottamatta loppuraportteja ja lopputuotoksia, on vaikea tai jopa mahdotonta saada hankkeiden päättymisen jälkeen. Avoimena julkistettavat aineistot auttavat tutkimustyössä ja voivat mahdollistaa uuden liiketoiminnan kehittämistä.

ÄLYKÖ-hankkeessa tuotettuja paikkatietoaineistoja julkaistaan avoimella lisensillä (Common creative 4.0) niiltä osin kuin se on mahdollista. Tämänhetkisen tilanteen mukaan julkaistaan ainakin seuraavat aineistot:

- Lohko- ja kaistajako (tarkka-aineisto)
- Syväväylän järviaalue (suurpiirteinen aineisto taustakarttoihin)
- Syväväylän riskipaikat (sisältää Ensaco- ja SYKE workshop -määrittelyt)
- Öljyvahinkoskenaarioiden konveksiviivat
- Pelastuslaitosten aluerajat (P-S, P-K, E-S ja E-K laitokset)

Avointen aineistojen meta-tiedot ja tiedostojen latauslinkit laitetaan julkiseen www.avoindata.fi -palveluun. Paikkatietoaineistot tallennetaan jo jakelussa olevien Sökön aineistojen kanssa samalle palvelimelle.

Päivittäminen

Kartastot ovat vektorimuotoisia PDF-tiedostoja. Niitä on mahdollista muokata esimerkiksi PDF-pro-ohjelmistolla. Jos kartastojen sisälle lisää sivuja, niiden linkitysjärjestelmä saattaa rikkoutua. Yksittäisiä vektorielementtejä voi lisätä, poistaa tai muokata linkitysjärjestelmän häiriintymättä. Voit kopioida kartastoista testiversiot uuteen hakemistoon kokeilemista varten.

Logistiikkapisteen lisääminen kartastoihin

PDF-kartastoihin on mahdollista lisätä logistiikkapisteitä jälkeinpäin. Helpon lisääminen onnistuu kopioimalla PDF-pro-ohjelmistolla aiemman logistiikkapisteen symboli ja tunnus seuraavalla tavalla:

1. Tee varmuuskopio kartastoista.
2. Valitse kopioitavat kohteet (symboli, tunnus ja tunnuksen tausta) muokkaustyökalulla.
3. Liitä kopioidut kohteet valitsemallesi sivulle.
4. Siirrä elementit oikeaan sijaintiin.
5. Nimeä kohde uuden paikan tunnuksella.
6. Rakenna linkki tekemääsi logistiikkapisteen kohdekorttiin linkkityökalulla.
7. Testaa linkitysten toimivuus.
8. Lisää muutokset myös merikarttapohjalla oleva kartastoon .
9. Päivitä kaikki organisaatiosi kartastot uusilla versioilla.

Muista lisätä uudet logistiikkapisteen myös Borikseen. Ohjeet pisteiden lisäämiseen Borikseen löytyvät Boriksen ohjeista. Pisteiden lisäämisestä on hyvä tiedottaa muita organisaatioita, joilla kartasto on käytössä (ks. s. 16) ja mahdollisesti jakaa päivitetty versio kaikkien käyttöön.

Loppusanat

Aikaisempiin hankkeisiin verrattuna kartastojen tuottamisesta on tullut helpompaa valtion virastojen avoimien aineistojen julkistamisen myötä. Myös pitkälle kehittyneet avoimen lähdekoodin ohjelmistot (esim. QGIS) mahdollistavat sen, että kuka tahansa voi hyödyntää aineistoja ilman ohjelmistomaksuja. QGIS-ohjelma mahdollistaa kattavat paikkatietoanalyysit ja sitä kannattaisi hyödyntää laajemmin pelastuslaitosten varautumisessa ja analyysien tekemisessä.

Yksinkertaisilla toimenpiteillä voidaan usein parantaa käytettävyyttä ja korjata olemassa olevia puutteita. Tässä hankkeessa kehitetyt logistiikkapisteiden kohdekortit ja linkitetty kartasto ovat hyvä esimerkki käytettävyyden parantamisesta yleisesti käytössä olevilla ohjelmistoilla. Kaikista kartoitetuista logistiikkapisteistä kannattaisi valmistaa vastaavat kohdekortit ja ainakin Perämeren kartastojen osalta rakentaa linkitys kartastoihin.

Öljyntorjuntakaluston tarkan paikkatietoaineiston jatkokehittäminen valtakunnan tasolla auttaisi analyysien tekemisessä, varautumisen suunnittelussa ja onnettomuustilanteiden toimenpiteissä. Aineisto voisi sisältää tietoja esimerkiksi puomien määrästä, laadusta ja yhteensopivuudesta, tankkikapasiteetista sekä alusten keräyskapasiteetista, kulkunopeudesta, lähtöajasta ja syvyyksestä. Tällainen aineisto mahdollistaisi mm. tarkempien kaluston saavutettavuusanalyysien tekemisen helposti. Aineisto voisi olla öljysuojarahaston käytössä päällekkäisen järjestelmien karsimiseksi. Tulevaisuudessa tilannekuvajärjestelmä voisi sisältää vastaavat tiedot sekä seurata öljyntorjunta-alusten ja torjuntajoukkojen liikkeitä ja toimintoja reaaliaikaisesti.

LÄHTEET

ESA-ELY (2016). Itä-Suomen maa-alueiden ja Saimaan vesistöalueen öljyn ja vaarallisten aineiden varastoinnin ja kuljetusten ympäristöriskien älykäs minimointi ja torjunta –hankekemus. 18 s. Diaarinro: *EURA 2014/366/09 02 01 01/2014/ESAELY*. Etelä-Savon elinkeino, liikenne- ja ympäristökeskus, Mikkeli.

Halonen J., J-J. Häkkinen & J. Kauppinen 2016. *Alusliikenteen riskialueet Saimaan syväväylällä alusöljyvahingon näkökulmasta*. 46 s. ÄLYKÖ-hankkeen tutkimusraportti. Kymenlaakson ammattikorkeakoulun julkaisuja, sarja B, nro 160. Kotka. ISBN (PDF) 978-952-306-174-3.

Toivola, V. (2015). *Saimaan syväväylän alueen alusöljy- ja aluskemikaalivahinkojen torjunnan yhteistoimintasuunnitelma*. 28 s. Etelä-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. < <http://www.doria.fi/handle/10024/104489> > 2.1.2017.

Pök (2013). *Työryhmä 5 – logistiikan suunnittelu*. 12 s. Perämeren öljyntorjunnan kehittämishankkeen loppuraportteja. Pohjois-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, Oulu.

SYKE (2013). *Tilannekuvajärjestelmä BORIS*. < <http://www.ymparisto.fi/boris> > 2.1.2017.

LIITE 1

SÖKÖ – HANKE

SUOMENLAHDEN ÖLJYJÄTTEIDEN KULJETUS JA VÄLIVARASTOINTI ÖLJYONNETTO- MUUDESSA

KUVAUS KARTTA-AINEISTOJEN TUOTANNOSTA

1 LÄHDEAINEISTOT

Kaikki aineistot ovat ja niiden käsittely tapahtuu yhtenäiskoordinaatiossa (YKJ) ellei tilaajan toimesta muuta päätetä.

Vektoriaineistona käytetään tarkkaa merenrantaviivaa mukaan lukien saarten rantaviivat. Riittävän tarkka aineisto on Maanmittauslaitoksen maastotietokanta, jota yleistetään alla tarkemmin sanotulla tavalla.

Indeksikarttojen pohjakarttana tarvitaan pienimittakaavaista aineistoa esim. 1:500 000, 1:250 000 tai 1:100 000, joka voi olla vektori taikka rasteri kts. tarkemmin alla kohta "karttaindeksit" sekä lehtijakokarttaa (peruskartan lehtijako).

Öljyntorjuntakarttojen karttapohjana käytetään peruskartta- tai maastokartta-aineistoa värirasterina (taikka vektorina). Karttapohjassa tulee näkyä pohja-aineisto (maastokohteiden reunat, rakennukset, suot, kalliot, nimistö jne.), tiestö, vedet mukaan lukien ojaverkosto, pellot ja korkeuskäyrät. Kiinteistörajoja ei tarvita eikä niitä saa olla pohjakartassa. Rasteriaineistona soveltuu käytettäväksi esim. MMLn 2 m ruutukoon rasteri "Kxxxxxx_RK1_2.tif", missä xxxxxx on karttalehden numero.

Tilaaaja toimittaa välivarastopaikkojen tiedot luettelona, esim. Excel-taulukkona, sisältäen kustakin kartalle merkittävästä välivarastopisteestä seuraavat tiedot:

- koordinaatit (YKJ taikka WGS84)
- tunnus tai osoite tms.
- pisteen tyyppi, mikäli sellainen on

2 LASKENTAPERIAATTEET

2.1 Yleistys

Rantaviiva yleistetään käyttäen 5 metrin käytäväleveyttä. Saaret tai luodot joiden (yleistetty) ympärysmitta on alle 100 m poistetaan vektoriaineistosta ennen muuta laskentaa. Niiden tulee kuitenkin näkyä karttapohjassa tai taustakartassa.

2.2 Rantaviivan jakaminen osiin ja koodaus

Mantereen rantaviiva jaetaan osiin kunnittain. Ensin 1000 m osiin (lohko), jotka edelleen 200 m osiin (kaista). Kunkin vektoriviivan tulee olla viivaa pitkin mitaten tasan 1000 m ja 200 m. Jakaminen tehdään alkaen kunnan itäisimmästä kohdasta edelleen länteen päin. Isot saaret,

joihin on maayhteys kiinteää siltaa ja autotietä pitkin, luetaan manne-
ralueeksi eli rantaviivan jako ”kiertää” niiden kautta.

Kukin 1000 metrin kaista koodataan seuraavasti: kuntakoodi (3 kirjainta
ensimmäistä kunnan nimestä) + järjestysnumero esim. Kotkassa:
”KOT1” >> ”KOT2” >> jne.

Kartta: kts liite 1: Kartalla 1 km kaistojen vaihtumiskohta merkitään vii-
vaan näkyvällä symbolilla (mallissa tähtisymboli). Peräkkäiset viivat
merkitään eri väreillä esim. parittomat viivat punaisella ja parilliset sini-
sellä viivalla. Lohkon vaihtuminen merkitään pisteellä ao. kohtaan mutta
niitä ei koodata tunnuksin. Pohjakartta tulee himmennetty, jotta kaikki
viivat, symbolit ja tekstit näkyvät pohjasta selvästi.

2.3 Saarten käsittely

Saaret, joiden rantaviivan pituus on 100 m – 999 m, merkitään kartalle
alleviivattuna numerokoodina, joka kertoo saaren rantaviivan yhteispi-
tuuden, esim. ”451”. Rantaviivaa ei merkitä tai korosteta vektoriaiaineis-
tossa mutta saaren tulee näkyä pohjakartassa.

Saaret, joiden rantaviiva on 1000 m tai yli, jaetaan samalla tavalla loh-
koihin ja kaistoihin kuin mantereen rantaviiva. Jaon aloituskohta voi olla
satunnainen ts. ei tarvitse olla esim. saaren eteläisin taikka pohjoisin
piste. Saarien koodi on muotoa ”KOTs_35_4” missä:

- KOTs = saari, kunta = KOTKA
- 35 = saaren järjestysnumero. Saaret numeroidaan siten, että lähimpänä mannerta oleva saari (keskipisteen pohjois-koordinaatin mukaan) saa numeron 1, seuraavaksi lähin nro 2 jne. Numerointi kasvaa kauemmas rantaviivasta siirryttäessä ts. kauimmaisilla saarilla on suurimmat numerot.
- 4 = kaistan numero.
- Kaistojen ja lohkojen merkintä kartalle kuten mantereen rantaviivalla. Koodaus kiertää saarta myötäpäivään.

2.4 Välivarastointipaikkojen merkintä

Välivarastopisteet (keskipiste) merkitään ympyräsymbolilla ja tunnus-
koodilla. Koodin fonttityyppi pitää olla poikkeava kaistojen merkinnästä.
Tunnuskoodit erillisen listauksen mukaan esim. *K_KOT567* tms.

Kunkin varastopisteen ympärille lasketaan säteeltään 200 m suuruinen
ympyrä, jonka tulee näkyä kartalla.

LIITE 2

Operatiivisissa kartastoissa (maastokarttaversio) käytetyt Maanmittauslaitoksen maastotietokohteet ja Liikenneviraston aineistot

Maanmittauslaitoksen paikkatietokohteet			
Luokka	Selite		
12192	Lauttasymboli	26200	Vedenottamo
12193	Lossisymboli	22200	Muuntamo
16600	Ankkuripaikka	22311	Sähkölinja, suurjännite
48111	Kaupungin nimi	22312	Sähkölinja, jakelujännite
48112	Muun kunnan nimi	30300	Pato
48190	Muun asutuskohteen nimi	30400	Sulkuportti
36410	Vakaveden osan nimi	34400	Jyrkänne
36420	Virtaveden osan nimi	36311	Virtavesi, alle 2 m
36490	Muu vesistökohteen nimi	36312	Virtavesi, 2-5 m
38201	Kosken nimi	38200	Koski
32201	Kaatopaikan nimi	44500	Ilmarata
34601	Kiven nimi	45700	Rakennelma
35020	Metsäalueen nimi	84111	Valtakunnan raja
35030	Suon nimi	84113	Kunnan raja
35040	Kohouman nimi	12111	Autotie Ia
35050	Painanteen nimi	12112	Autotie Ib
35060	Niemen nimi	12121	Autotie IIa
35070	Saaren nimi	12122	Autotie IIb
35080	Matalikon nimi	12131	Autotie IIIa
35090	Muu maastonimi	12132	Autotie IIIb
36201	Vakaveden nimi	12141	Ajotie
36291	Vedenpinnan korkeusluku	12151	Lautta
36301	Virtaveden nimi	12152	Lossi
34200	Harva louhikko	12313	Polku
34600	Kivi	12314	Kävely- ja pyörätie
38100	Kaislikko	12316	Ajopolku
38511	Vesikivi, vedenalainen	14111	Rautatie, sähköistetty
38512	Vesikivi, pinnassa	14112	Rautatie, sähköistämätön
38513	Vesikivi, vedenpäällinen	72200	Luonnonsuojelualue
38800	Uittolaite	72202	Kansallispuisto
38991	Varastoalueen symboli	42210	Asuinrakennus
44591	Ilmaradan kannatinpylväs	42211	Asuinrakennus, 1-2 krs.
44800	Masto	42212	Asuinrakennus, 3-n krs.
45200	Portti	42220	Liike- tai julkinen rakennus
45300	Savupiippu	42221	Liike- tai julkinen rakennus, 1-2 krs.
45500	Tuulivoimala	42222	Liike- tai julkinen rakennus, 3-n krs.
45800	Vesitorni	42230	Lomarakennus
22100	Muuntaja	42231	Lomarakennus, 1-2 krs.
22392	Suurjännitelinjan pylvä	42232	Lomarakennus, 3-n krs.
		42240	Teollinen rakennus
		42241	Teollinen rakennus, 1-2 krs.

42242	Teollinen rakennus, 3-n krs.
42250	Kirkollinen rakennus
42251	Kirkollinen rakennus, 1-2 krs.
42252	Kirkollinen rakennus, 3-n krs.
42260	Muu rakennus
42261	Muu rakennus, 1-2 krs.
42262	Muu rakennus, 3-n krs.
42270	Kirkko
44300	Allas
52100	Korkeuskäyrät
54100	Syvyyskäyrät
38300	Maatuva vesialue
38400	Tulva-alue
38600	Vesikivikko
38700	Matalikko
38900	Varastoalue
39110	Avoin metsämaa
32111	Maa-aineksenottoalue, karkea
32112	Maa-aineksenottoalue, hieno
32113	Maa-aineksenottoalue, eloperäinen
32200	Hautausmaa
32300	Kaatopaikka
32411	Kiitotie, päällystetty
32412	Kiitotie, päällystämätön
32413	Lentokenttäalue
32415	Lentokenttäalue
32416	Lentokenttäalue
32417	Lentokenttäalue
32418	Lentokenttäalue
32421	Autoliikennealue
32500	Louhos
32611	Pelto
32612	Puutarha
32800	Niitty
32900	Puisto
33000	Täytemaa
33100	Urheilu- ja virkistysalue
34100	Kallio
34300	Hietikko
34700	Kivikko
35300	Soistuma
35411	Suo, helppokulkuinen puuton
35412	Suo, helppokulkuinen metsäinen
35421	Suo, vaikeakulkuinen puuton
35422	Suo, vaikeakulkuinen metsäinen
36200	Vakavesi
36313	Virtavesialue

Liikenneviraston paikkatietokohteet

Väylät	VL2: kauppamerenkulun väylä
	VL3: Hyötyliikenteen matalaväylä
	VL4: Veneilyn runkoväylä
	VL5: Veneväylä
	VL6: Venereitti
Syvyys- käyrät	3 ja 6 m
Syvyys- alueet	6, 10, 15, 20 ja 50 m

ICT-TEKNOLOGIA ÖLJYVAHINGOJÄTTEEN KULJETUSTEN JA VARASTOINNIN SEURANNASSA

Vuokko Malk & Justiina Halonen

Öljyvahingon yhteydessä voi syntyä huomattavia määriä jätettä, jonka määrä on yleensä moninkertainen suhteessa vuotaneeseen öljymäärään. Suomen rannikolla jätemäärät voisivat pahimmillaan olla tuhansia ja Saimaallakin satoja kuormalavallisia jätettä - vahinkotilanteesta riippuen.

Suuressa merellisessä öljyvahingossa likaantunutta rantaviivaa saattaa olla useita satoja kilometrejä. Sisävesilläkin ÄLYKÖ-hankkeessa tehtyjen leviämismallinusten mukaan öljyntyymisvaarassa olevaa rantaviivaa on kahden vuorokauden jälkeen keskimäärin 30 kilometriä. Likaantuneet alueet voivat sijaita etäällä toisistaan ja mantereesta, jolloin jätteen logistisesta ketjusta tulee moniportainen. Jätteen määrästä ja laadusta riippuen käsittelylaitokset eivät pysty vastaanottamaan kerättyä jätettä suoraan, vaan jätettä joudutaan välivarastoimaan. Tällaisissa tilanteissa jätteen seuranta voi olla erittäin haastavaa, sillä eteen voi tulla tilanne, jossa jäteyksiköt odottavat noutoa talven yli vaikeapääsyisessä paikassa. Tilanne on etenkin haastava, jos välivarastointia joudutaan suorittamaan saaristossa. Vahinkojätteen keräämisen, kuljetusten, varastoinnin ja käsittelyyn toimittamisen seurantaan tulisi olla käytettävissä sähköinen dokumentointi- ja seurantajärjestelmä, joka olisi nopeasti käyttöön otettavissa.

ÄLYKÖ-hankkeessa selvitettiin, minkälainen sähköinen seurantajärjestelmä öljyvahinkojätteen seurantaan olisi mahdollista kehittää, huomioiden eri toimijoiden tarpeet sekä tekniikan mahdollisuudet.

Öljyvahinkojäte

Öljyvahingossa syntyvä jäte lajitellaan neljään eri jätelajikkeeseen: öljy-vesiseos, öljyinen maa-aines, öljyinen sekajäte (esim. suojahansikkaat ja haalarit, imeytyspuomit ja -matot) ja öljyinen riskijäte (esim. kuolleet eläimet). Jatkokäsittelyn kannalta öljyvahinkojätte on järkevää lajitella myös öljyisyyden perusteella, jolloin öljy-vesiseos pumpataan yleensä säiliöihin tai suoraan imuautoon, ja pilaantunut maa-aines voidaan kaivaa kaivinkoneella suoraan kuorma-auton lavalle. Vahinkojäte on tarkoituksenmukaisinta lajitella heti toiminnan alussa, jotta jätelogistiikka on paremmin hallittavissa. Rantojen puhdistuksessa huomionarvoista on, että se on yleensä käsityötä, jolloin jäte kerätään saaveihin tai säkkeihin. Lajitellut jätelajikkeet tulee pitää toisistaan erillään koko jätehuoltoketjun ajan keräyksestä loppukäsittelyyn asti.

Jätteen kuljetusketju

SÖKÖ-mallissa on luotu öljyvahinkojätteen logistinen ketju, joka kuvaa rannalta kerättävän vahinkojätteen matkan eri käsittelyvaiheiden ja niihin liittyvien pisteiden kautta loppukäsittelyyn (SÖKÖ II-manuaali). Ensisijaisena tavoitteena on kerätä vahinkojäte suoraan kuljetusyksiköihin, ja mantereella vahinkojätteen polku kulkeekin yksinkertaisimmillaan rannan keräys-kuljetuspisteeltä suoraan loppukäsittelypaikalle. Rannoille joihin ei pääse ajoneuvokalustolla tulee perustettavaksi erilliset keräys- ja kuljetuspisteet. Keräyspisteelle vahinkojäte tuodaan ihmisvoimin, esimerkiksi saaveilla kantaen, ja viedään sieltä lähimpään ajoneuvolla saavutettavaan paikkaan, jonne perustetaan kuljetuspiste. Kuljetuspisteestä vahinkojäte kuljetetaan suoraan tai välivarastointin kautta pidempiaikaiseen varastointiin tai käsittelyyn. Saimaalle ÄLYKÖ-hankkeessa kehitetyssä jätelogistiikkamallissa kuljetusketjun vaiheita on pyritty minimoimaan tarkentamalla käsitteitä keräyspiste ja keräys-kuljetuspiste. Katsottiin, että keräyspisteitä muodostuu rantaviivalle aina tarpeen mukaan öljyn sijaintiin perustuen. Suurempien jäte-erien kuljettamiseen riittää kuljetusketjun määrittely keräyksestä ja lyhytaikaisesta varastoinnista (K), välivarastointiin (V) ja loppukäsittelyyn (L).

Lainsäädännön vaatimukset öljyvahinkojätteen seurannalle

Öljyvahinkojätteiden keräämistä, kuljettamista ja käsittelyä säädellään sekä öljyvahinkojen torjuntalailla (ÖTL 1673/2009), että Valtioneuvoston asetuksella öljyvahinkojen torjunnasta (ÖT As 249/2014). Jätelaki 17.6.2011/646 sovelletaan öljyvahinkojen torjuntalaissa (ÖTL 1673/2009) tarkoitettussa öljyvahingossa tai aluskemikaalivahingossa syntyneeseen jätteeseen, sen jälkeen kun välttämättömät torjuntatoimet vahingon rajoittamiseksi ja öljyn tai muun haitallisen aineen keräämiseksi on tehty (Jätelaki 646/2011 2§). Jätteen haltijan on oltava selvillä jätteen määrästä, lajista, laadusta ja muista jätehuollon järjestämiselle merkityksellisistä jätteen ominaisuuksista, ja tarvittaessa annettava näitä koskevat tiedot muille jätehuollon toimijoille (Jätelaki 646/2011 12§). Jotta jätelain mukainen selvillä olo-velvollisuus on mahdollista toteuttaa, tulee kulloinkin torjuntavastuussa olevan viranomaisen siirtää tieto vahinkojätteen tilanteesta seuraavalle torjuntavastuuta kantavalle taholle, tai torjuntatöiden lopettamisen jälkeen jätehuoltotehtävän vastaanottaneelle taholle. Tietojen dokumentointia tarvitaan myös vahingonkorvausmenettelyä varten.

Vaarallisesta jätteestä ja pilaantuneesta maa-aineksesta on laadittava siirtoasiakirja. Jätteen haltijan on huolehdittava siitä että siirtoasiakirja on mukana jätteen siirron aikana ja että se annetaan siirron päätyttyä jätteen vastaanottajalle. Vastaanottajan on vahvistettava jätteen vastaanotto ja vastaanotetun jätteen määrä asiakirjaan tehdyllä allekirjoituksellaan. Siirtoasiakirja voi olla sähköisesti tallennettuna, jos se varustetaan sähköisin allekirjoituksin ja on luettavissa kuljetuksen aikana. (Jätelaki 646/2011 121§) Lisäksi vaarallista jätettä kuljetettaessa on lähettäjän laadittava jokaisesta kuljetuksesta erillinen rahtikirja kuljetusliikkeelle sekä annettava kuljettajalle turvaohjekortit. Vaarallisia jätteitä luovutettaessa vastaanottaja voi pyytää myös käyttöturvallisuustiedotteen. (Pirkanmaan Jätehuolto Oy 2017.)

Jätehuoltoyhtiön toiminta ja rooli vahinkotilanteessa

Tietoa jätehuoltoyhtiön toiminnasta ja roolista vahinkotilanteessa saatiin Lassila & Tikanoja Oyj:ltä. Vahingon sattuessa pelastuslaitos pyytää jätehuoltoyhtiön apuun vahinkopaikalle. Jätehuoltoyhtiö toimii aina pelastusviranomaisten eh-

doilla. Pelastuslaitokselta saatujen tietojen perusteella varaudutaan torjuntaan. Jätehuolto-yhtiö voi osallistua apuna torjuntaan. Esimerkiksi L&T:llä on henkilökuntaa jolla on säiliöautojen onnettomuuskoulutus, jolloin heillä on osaaminen esimerkiksi säiliöauton venttiileihin, paineiden säätöön jne. (Taalikka 2016.)

Jätteiden käsittelyyn kuljettaminen on jätehuolto-yhtiön vastuulla, ja esimerkiksi Lassila & Tikanoja Oy:llä on useilla paikkakunnilla omia vaarallisen jätteen terminaaleja, josta jätteet kuljetetaan isommissa erissä käsittelyyn. Jätehuolto-yhtiö laatii siirtoasiakirjat kullekin autokuormalliselle, joidenka sisältämä jäte on tässä vaiheessa Lassila & Tikanoja Oy:n hallussa olevaa jätettä, ja yritys päättää sen käsittelypaikan. (Taalikka 2016.)

L&T raportoi vuosittain viranomaisille ns. TYVI-raportin, jonka lisäksi viranomaisille voidaan pyydettyä raportoida jäte-eräkohtaiset tiedot. Lisäksi tiettyyn vahinkoon liittyvistä laskuista tehdään usein koontilasku, johon on koottu eri jäte-erät. Laskut kohdistuvat yleensä vahingon aiheuttajan vakuutusyhtiöön. Jätehuolto-yhtiö voi joissakin tapauksissa pyytää pelastuslaitoksilta lausunnon korvausmenettelyjä varten todistukseksi siitä, että pelastuslaitos on tilannut heidät vahinkopaikalle. (Taalikka 2016.)

Jätelogistiikassa käytössä olevia sähköisiä seurantajärjestelmiä

Sähköisten seurantajärjestelmien käyttöä jätelogistiikassa Suomessa selvitettiin kirjallisuuden perusteella ja haastatteleamalla puhelimitse alan yrityksiä. Suomessa jätehuoltoalalla on yleisesti käytössä sähköisiä järjestelmiä esimerkiksi tilauksissa, laskutuksissa ja raportoinneissa. Sähköisten esim. RFID-tunnisteiden käyttö tekee tuloaan jätealalle, mutta tekniikka ei ole vielä yleisesti laajassa käytössä. Eniten seurantatekniikkaa ja QR-tageja on hyödynnetty tähän mennessä paperinkeräyksessä (Kaskinen 2016).

Esimerkiksi Tietomitta Oy on kehittänyt ohjelmistopalveluja ympäristöhuoltoalalle jo 25 vuoden ajan. JHL-ohjelmisto kehitettiin aluksi helpottamaan jätehuoltolaskutusta, mutta nykyään ohjelmistolla voidaan hallita koko ketju jätteiden noudosta laskutukseen, kirjanpitoon ja raportointiin asti (Tietomitta Oy 2016). Ohjelmisto on käytössä suurimmalla osalla jätteen käsittely- ja kuljetusyrityksistä Suomessa. Sen avulla voidaan luoda myös sähköiset siirtoasia-

kirjat. Siirtoasiakirjan tiedot täytetään ohjelmistoon ja asiakirja allekirjoitetaan sähköisesti. Ohjelmistoa on käytetty myös vaarallisten jätteiden kuljetuksissa. Ohjelmistoa käytetään enimmäkseen ammattikäyttöön tarkoitetuilla Panasonicin tableteilla, joita on käytössä myös mm. pelastuslaitoksilla, ohjelmisto toimii kuitenkin myös muilla laitteilla. (Sivula 2016.)

Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy:n ja Tietomitta Oy:n pilottiprojektissa yhdistettiin RFID-tekniikka Tietomitta Oy:n JHL-ohjelmistoon sähkö- ja elektroniikkaromun, sekä tietoturvapapereiden keräyksessä ja kuljetuksessa. RFID-tunnisteiden valinnan perusteena oli (esim. QR-tagien sijaan) toimintavarmuus, riittävän pitkään käytössä ollut tekniikka, sekä ammattipäätelaitteiden käyttö. Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy:llä käytössä olevat RFID-tunnisteet (NFC) ovat laminoituja tarroja, jotka kiinnitetään muovisiin jäteastioihin. Metallisissa rullakoissa tarvitaan erilaiset tunnisteet. Tähän mennessä tunnisteet ovat pysyneet hyvin kiinni jäteastioissa. Jokainen jäte-erä luetaan ja punnitaan erikseen, ja lukemiseen käytetään Panasonicin tabletteja. Luketaisyys tableteissa on alle metrin. Järjestelmä tuottaa kaiken tiedon asiakasraportointijärjestelmään, josta saadaan tiedot esimerkiksi viranomaisraportointia varten. Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy:llä on käytössä myös astianumerointi, jota käytetään varajärjestelmänä RFID:n ohella sekä muilla jätejakeilla, joilla RFID ei vielä ole käytössä. Kokemukset RFID-tunnisteista ovat olleet tähän mennessä hyviä, sillä tekniikka on vähentänyt valtavasti paperityötä. Erityistä hyötyä on ollut aikaleimoista. Jatkossa aineistoa on tarkoitus hyödyntää mm. kuljetustehokkuuden arvioinnissa, ja esim. Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy:llä on tarkoitus laajentaa RFID:n käyttöä vähitellen myös muihin jätejakeisiin. (Kaskinen 2016.)

Myös esimerkiksi joensuulainen Enpros Oy tarjoaa ZeroWaste-järjestelmää, johon kuuluu jäteraportointi, siirtosasiakirja- sekä ajohallintajärjestelmäsovellukset. ZeroWaste-järjestelmän tarkoitus on yhdistää eri toimijoiden tietojärjestelmiä, kuten esimerkiksi teollisuuslaitosten, kuljetusyriyten ja viranomaisten järjestelmät yhteen tietokantaan. Järjestelmästä voidaan saada myös ympäristöhallinnon VAHTI-järjestelmän mukaiset raportit. Järjestelmä toimii kännykällä tai tabletilla, eikä muita laitteita tarvita. Siirtoasiakirjasovellus on lanseerattu loppuvuodesta 2016, ja se on saanut käyttökokemusta vasta tavanomaisten jätteiden kuljetuksissa, eli kokemuksia sen soveltuvuudesta vaarallisten aineiden osalta ei vielä ole. Sähköiset siirtoasiakirjat allekirjoitetaan sähköisesti kännykän tai tabletin kosketusnäytöllä sormenpäällä, tai kosketusnäytölle tarkoitettulla kynällä. ZeroWaste on käytössä esimerkiksi Valio-konsernilla, useilla kuljetusyri-

tyksillä kuten itä-suomalaisella Joen Loka Oy:llä, joka tekee myös vaarallisten aineiden kuljetuksia. (Karttunen 2016.)

ZeroWaste-järjestelmä ei käytä esim. RFID-tunnisteita, mutta tunnisteet olisi mahdollista liittää järjestelmään. Sähköiset tunnisteet eivät ole yleisesti käytössä jätteiden seurannassa, koska käytännössä ongelmaksi on havaittu, että tunnisteet eivät pysy erilaisissa jäteastioissa kiinni. Jäteastiat on numeroitu ja niissä on näkyvissä tieto, mitä jätettä astia sisältää (mm. jätteen laatu, asiakas, kohde, sopimus). Nämä numerot ja tiedot syötetään käsin järjestelmään. (Karttunen 2016.)

Vaikka sähköisiin siirtoasiakirjoihin on ohjelmistoja jo tarjolla, Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisussa ”Siirtoasiakirjamenettelyn toimivuus käytännössä” (2014) kerrotaan, että jätelain edellyttämä siirtoasiakirja on useimmiten paperinen, eikä sähköinen versio näyttäisi vielä olevan yleistymässä. Selvitys pohjautuu jätteen kuljettajille lähetettyyn kyselyyn sekä työmaakerroksiin. Myös esimerkiksi Lassila & Tikanoja Oy:stä kerrottiin, että he käyttävät paperisia siirtoasiakirjoja (Taalikka 2016).

Helsingin seudun ympäristöpalveluiden pilottikokeilussa Laajasalossa RFID-tunnisteet ja sekajäteastioiden punnitustiedot on yhdistetty paikkatietoanalyysiin. Jätekeritymiä voidaan monitoroida yksittäisistä astioista isompiin alueisiin. Spatiaalisten analyysien avulla voidaan esimerkiksi tarkastella kuinka kaukaa poltettavaa sekajätettä kannattaa tuoda, ja mitkä ovat polton ja kuljetuksen päästöt eri alueilta tuoduissa kuormissa. (Serkkola & Niska 2016.)

Kymenlaakson Jäte Oy puolestaan on ottanut käyttöön biojätteen keräyksessä painoon perustuvan laskutuksen. Kun kuljettaja tuo astian nostimeen, lukija tunnistaa astian RFID-tägin avulla ja punnitsee astian painon kiloina. Tunnistekoodi ja painotieto siirtyvät ajoneuvoon, jossa kuljettaja näppäilee ajo-ohjausjärjestelmään painon ja mahdolliset huomautukset. Tieto siirtyy ohjausjärjestelmästä Kymenlaakson Jäte Oy:n palvelimelle, jossa punnitustiedot yhdistyvät muihin tietoihin, kuten omistajaan, osoitteeseen, astian tilavuuteen jne. Tulevaisuudessa punnitustiedot siirtyvät automaattisesti laskutukseen ja raportointiin. (Serkkola 2016.)

Öljyvahinkojätteen logistiikkaan kehitetyt seurantajärjestelmät

Öljyvahinkojätteen seurantaan ei tällä hetkellä ole käytössä omaa seurantajärjestelmää, mutta jätelogistiikkaan kehitettyjä ohjelmistoja (esim. Tietomitta Oy:n JHL-ohjelmisto) on hyödynnetty esimerkiksi pilaantuneiden maiden seurannassa. RFID-tekniikkaa tai muita sähköisiä tunnisteita ei tiettävästi ole vielä hyödynnetty vaarallisten jätteiden kuljetusten seurannassa.

RFID-tekniikkaan perustuvaa öljyvahinkojätteen seurantajärjestelmää on kuitenkin kehitetty Kymenlaakson pelastuslaitoksen ja HT Industry Solutions Oy:n yhteistyönä eOIL-hankkeessa 2007–2010. eOIL-järjestelmässä jokaiseen astiaan ja säkkiin kiinnitetään jätelajikohtainen RFID-tagi heti keräyspaikassa. Passiivinen A5-kokoinen RFID-siru kiinnitetään tarralla jätessäkin kylkeen, ja se sisältää ainoastaan yksilöivän tunnuksen salatussa muodossa. (Huovinen, Kuosmanen & Vuorinen 2008, 5, Peräkylän 2009, 54 mukaan). Tagit on ryhmitelty jätelajin mukaan esim. öljyt ja maa-aines erikseen. Jätelajin voi tunnistaa sekä tagin värin perusteella että tagin sisäisen koodin perusteella (HT Industry Solutions Oy).

Lukijasoluun rekisteröidään kaikki keräyspisteeseen koottavat jätteastiat ja -säkit. Rekisteröinti tapahtuu automaattisesti lukijan RFID-antennien kautta, kun astiat kootaan keräyspisteessä. Tarvittaessa keräyspiste voidaan varustaa myös käsilukijalla, jolla voidaan lukea kiinteän lukupisteen ulottumattomissa olevat astiat. (HT Industry Solutions Oy.)

Säkin sisällöstä viedään tietojärjestelmään vahinkopaikka, sisältö, milloin vahinko on tapahtunut ja milloin jäte on kerätty, jätteen määrä, missä säkki on tällä hetkellä, minne se on menossa ja onko se loppukäsitelty (Huovinen, Kuosmanen & Vuorinen 2008, 5, Peräkylän 2009, 53 mukaan). eOil-järjestelmän tiedot kootaan palvelimelle, josta kerätyn materiaalin määrä ja laatu on luettavissa kaikkialta, jolloin koko torjuntaorganisaatio voi ennakoida tilanteen kehittymistä koko torjuntatyön aikana. Raporttien avulla torjuntatyön johto näkee öljynkeruun etenemisen, kuljetuksesta vastaavat tahot näkevät kuljetustarpeen kehittymisen, ja jätteenkäsittelystä vastaavat tahot voivat puolestaan ennakoida laitoksille saapuvan materiaalin määrää ja ajankohtaa. (HT Industry Solutions Oy.)

eOil-järjestelmää ei kuitenkaan ole käytetty oikeissa vahinkotilanteissa. Järjestelmän ongelmana on, että esimerkiksi pelastuslaitosten on kallis ostaa se varastoon kaiken varalta, ja tekniikka vanhenee ajan myötä.

Öljyvahinkojätteen sähköisen seurantajärjestelmän tekninen toteutus

ÄLYKÖ-hankkeessa selvitettiin voisiko öljyvahinkojätteen kuljetusten ja varastoinnin seurantaan kehittää edullista ja helposti käyttöönotettavaa ratkaisua. Suurin haaste öljyvahinkojätteen seurantajärjestelmän teknisessä toteutuksessa on järjestelmän satunnainen käyttötarve. Järjestelmän luominen, ylläpito ja käyttäminen voi olla liian kallista tai hankalaa, koska se ei ole jatkuvassa käytössä. Toinen suuri haaste on vaihtelevat sääolosuhteet ja pinnat. Tunnisteiden pitäisi kestää ja niiden pitäisi pysyä kiinni esimerkiksi öljyisissä varastointisäiliöissä ankarissakin sääolosuhteissa. Tunnisteet voivat myös sotkeutua öljyyn ja kastua. Tunnisteen lukeminen pitäisi olla helppoa ja varmaa kaikissa olosuhteissa. Haasteena on myös, että välivarastointipaikat voivat sijaita internet-yhteyksien ulottumattomissa, eli järjestelmän pitäisi pystyä toimimaan myös ilman internet-yhteyttä.

Alla on tarkastelu öljyvahinkojätteen kuljetusten seurantajärjestelmän vaatimia toimintoja ja sisältöä, sekä eri tunnistetekniikoiden soveltuvuutta käyttötarkoitukseen.

Seurannan ”solmukohdat”

Sähköisen seurantajärjestelmän järkevä aloituspaikka olisi ns. keräyspaikka, jossa jätteet siirretään ensimmäisen kerran kuljetusyksikköön, kuten imuautoon tai kuorma-auton lavalle. Tätä ennen rantojen puhdistustyössä sähköisten tunnisteteiden käyttö nähdään paitsi hankalaksi, myös tarpeettomaksi.

Seurantajärjestelmä kattaisi jätteen kuljetuksen mahdollisen välivarastointipaikan kautta loppukäsittelyyn. Välivarastointipaikassa vahinkopaikan läheisyydessä tai jätekeskuksen tms. alueella jätteet varastoidaan konteissa tai säiliöissä ennen kuljetusta loppukäsittelyyn. Pilaantuneet maat voidaan varastoida myös kasoina asiantuntijien suojarakenteiden päällä. Sähköinen seuranta päättyisi käsittelylaitoksen vastaanottaessa jätteen. Näin ollen seurantaan sisältyy neljä ”solmukohtaa”:

1. Kuljetus keräyspaikasta välivarastointipaikkaan tai loppukäsittelyyn alkaa
2. Vastaanotto välivarastointipaikassa
3. Kuljetus välivarastointipaikasta loppukäsittelyyn alkaa
4. Vastaanotto loppukäsittelylaitoksessa

Jos välivarastointia ei tarvita, seuranta kohdistuisi vain kohtiin 1 ja 4. Myös tässä tapauksessa kuljetuspisteitä ja loppukäsittelylaitoksia voi olla useita, jolloin sähköinen järjestelmä helpottaisi jätteen seurantaa.

Kerättävä tieto

Sähköisen seurantajärjestelmän tulisi kerätä lain edellyttämät tiedot jätteen määrästä, lajista, laadusta, ja muista jätehuollon järjestämiselle merkityksellisistä jätteen ominaisuuksista. Järjestelmässä voitaisiin tarvittaessa luoda ja allekirjoittaa sähköiset siirtoasiakirjat.

Järjestelmään tulisi voida päivittää jätteen status, eli onko jäte kuljetuksessa, varastoinnissa vai käsittelyssä. Lisäksi järjestelmän pitäisi kerätä jätteen sijaintiin liittyvät tiedot, eli koordinaatit ja aikaleima. Järjestelmään tulisi jäädä myös tieto jätteen haltijasta kuljetusketjun eri vaiheissa, ja mahdollisesti sähköinen allekirjoitus.

Sähköinen seurantajärjestelmä mahdollistaisi erilaisten raporttien koostamisen esimerkiksi kunkin logistisen pisteen kokonaisjättemäärästä, tai eri jäte-erien kuljetus-, varastointi- tai käsittelystatuksesta reaaliajassa. Tämä helpottaisi jätehuollon suunnittelua, hallintaa ja dokumentointia.

Sähköiset tunnisteet

Seurantajärjestelmä voitaisiin toteuttaa esimerkiksi viivakoodeja, QR-koodeja tai RFID-tekniikkaa hyödyntäen. Kaikissa tekniikoissa tunnisteesta siirtyy numerosarja lukijan kautta palvelimena toimivalle tietokoneelle taulukkoon, josta ne siirtyvät esimerkiksi pilvipalveluun. Lukija voi olla kännykkä tai erillinen laite, ja tunnisteiden numerosarjan mukana siirtyviä tietoja hallitaan tietokone/kännykkä-sovelluksella. (Rossi 2016.)

RFID-tekniikka soveltuu yleensä viivakoodeja ja QR-koodeja paremmin ulkokäyttöön. Tunniste voi olla tarrassa, kortissa tai avaimenperässä. Kestävin vaihtoehto on kaikkia sääolosuhteita ja eri kemikaaleja kestävä ”nappi”. Näissä napeissa on kuitenkin yleensä taustalla liimapinta kiinnittämistä varten, ja liimapinta ei välttämättä kestä esimerkiksi öljyä. (Rossi 2016.)

RFID-tunnisteita on erilaisia. NFC-tunnisteiden etuna on, että useissa kännyköissä ja tableteissa on NFC-lukija, jolloin erillisiä lukijoita ei tarvita. Kännykän GPS-toimintoa hyödyntämällä saadaan kännykästä tallennettua suoraan lukuhetken koordinaatit. NFC-tunnistimien lukuetaisyys on hyvin pieni eli käytännössä lukijan (kännykän) täytyy koskettaa tunnistetta. UHF-tunnisteilla lukuetaisyys on noin 2 metriä eli tunniste voidaan lukea automaattisesti kun esimerkiksi kuorma-auto ajaa portin läpi, johon on liitetty lukija. Tämä säästää työaikaa, mutta UHF-tunnisteita ei voi lukea kännykällä vaan tarvitaan erillinen lukija. Lukija ei näe metallin taakse, joten tunniste on oltava samalla puolella esim. autoa kuin lukija. (Rossi 2016.)

RFID-tekniikassa tunnisteeseen on mahdollisuus lisätä tekstiä myöhemmin, kun taas viivakoodissa ja QR-koodissa tulostettua koodia ei voi jälkikäteen muuttaa. Tästä ominaisuudesta voi olla hyötyä esimerkiksi silloin kun tietoja luetaan internet-verkon ulottumattomissa. Tiedot voidaan tallettaa tunnisteeseen, josta ne siirtyvät eteenpäin kun tunniste luetaan seuraavan kerran paikassa jossa internet-yhteys on saatavilla. (Rossi 2016.)

RFID-tunnisteet ovat hieman kalliimpia kuin viivakoodit tai QR-koodit. PVC-kuoristen NFC-tunnisteiden hinnat ovat n. 1,2 €/kp pienissä erissä, kun taas viivakoodi- tai QR-kooditarrojen hinta on vain noin 0,10 €/kpl. Sekä viivakoodit että QR-koodit ovat alttiita sääolosuhteille, vaikka koodi voidaankin tulostaa vahvalle ja säänkestävälle paperilaadulle. Esimerkiksi öljytahrat estäisivät tunnisteiden lukemisen. Viivakoodin lukeminen vaatii käytännössä viivakoodin lukijan, sillä esim. kännykän viivakoodilukijoiden toiminta on epävarmaa ja olosuhderiippuvaista. Tämä lisää kustannuksia, ja viivakoodilukijoiden hankkiminen pelkästään harvoin tapahtuvia öljyvahinkotilanteita varten ei ole järkevää tai kannattavaa. QR-koodin kuva sen sijaan on helppo lukea esimerkiksi kännykällä myös pienen etäisyyden päästä, mutta huono sää, valaistus jne. voivat jonkin verran heikentää kuvan lukemista. (Rossi 2016.)

Sähköinen tunnistautuminen ja tietoturva

Sähköisellä seurantajärjestelmällä voidaan kerätä automaattisesti tietoja esim. lukijana toimivan kännykän elektroniikalta. Näin voitaisiin esimerkiksi laite-tunnisteen avulla tunnistaa lukija jätteen kuljetusketjun eri vaiheissa. Lukijana toimivien kännyköiden olisi hyvä olla asianmukaisten tietoturvakäytäntöjen ja päivitysten piirissä. (Rossi 2016.)

Öljyvahinkojätteen tapauksessa jäteasiat ovat esimerkiksi välivarastointipisteessä tyypillisesti ulkona ilman valvontaa, ja tällöin ei ehkä haluta, että kuka tahansa voi lukea tunnisteen kännykällä ja päästä käsiksi tietoihin. Tunnistautuminen voidaan toteuttaa niin, että sovelluksessa eteenpäin pääseminen vaatii käyttäjätunnuksen ja salasanan. Toinen vaihtoehto on, että jäte-erän vastaanottavalla tms. henkilöllä on oma esim. NFC-henkilötunniste, joka henkilön pitää ensin lukea sovelluksessa eteenpäin pääsemiseksi. (Rossi 2016.)

Siirtoasiakirjojen sähköinen allekirjoitus on olemassa olevissa järjestelmissä toteutettu kirjoittamalla allekirjoitus kännykän tai tabletin näytölle sormenpäällä tai kosketusnäytölle tarkoitetulla kynällä. (Sivula 2016, Karttunen 2016.)

Mobiilisovellus ja pilvipalvelu

Sähköisen tunnisteen lukeminen liitetään sovellukseen. Öljyvahinkojätteen seuranta-järjestelmässä sovellukseen liittyisi lomake, jonka kautta tiedot esimerkiksi jätteen alkuperästä, jätelajista, pitoisuuksista, haltijasta jne. liitetään sähköisen tunnisteen numerosarjaan. Kuljetusketjun eri vaiheessa sovellus keräisi lukijasta (esim. kännykästä) automaattisesti tietoja, kuten ajan, GPS-koordinaatit ja tarvittaessa esim. lukijapuhelimen tunnisteen. Sovelluksen kautta voidaan täyttää käsin lisätietoja, kuten kuljetus-, varastointi- tai käsittelystatus. Sovellus mahdollistaisi sähköisen allekirjoituksen. Sovelluksen kautta tietoihin on mahdollista liittää myös valokuvia tai videoita, ja sovelluksen avulla tiedoista on mahdollisuus koostaa raportteja. (Rossi 2016.)

Tunnisteiden ja jäte-erien yhdistäminen

Siirrettäessä öljyvahinkojätettä pienemmistä kuljetusyksiköistä suurempiin, uudelle jäte-erälle voidaan antaa uusi tunnus. Jos esimerkiksi viisi pientä säiliötä tyhjenetään yhteen isoon säiliöön, pienten säiliöiden sähköiset tunnistet lue-taan lukijalla, ja sovellukseen kirjataan kaikille näille uusi yhteinen tunnus. Yksi sähköinen tunniste jatkaa matkaa ison säiliön mukana, ja loput neljä tunnistetta voidaan halutessa heittää pois. Pienten säiliöiden aikaisemmin tallentuneet tiedot säilyvät sovelluksessa uuden ison säiliön tiedoissa. (Rossi 2016)

Järjestelmän luominen, ylläpito ja kustannukset

Järjestelmän kokonaiskustannukset koostuvat järjestelmän ja sovelluksen luomisesta, ylläpidosta, tunnisteen ja mahdollisten lukulaitteiden kustannuksista, sekä myös tunnisteen lukemiseen käytetystä työajasta.

Järjestelmän ja sovelluksen luomisen hinta-arvio alan yritykseltä hankittaessa on noin 35 000 euroa. Esimerkiksi Mikkelin ammattikorkeakoulu on aiemmin rakentanut sähköisen seurantajärjestelmän järvikalan alkuperän ja kuljetusten seurantaan. Ylläpitovaiheessa tarvitaan palvelin jonne tiedot tallentuvat, ja josta ne siirtyvät pilvipalveluun. Palvelinkustannukset ovat yleensä alle 20 e/kk. Jos järjestelmä lopetetaan kokonaan ja otetaan uudelleen käyttöön vahingon sattuessa, käyttöönottoon voi tulla noin viikon viive, mikä voi olla öljyvahinkotilanteessa liian pitkä aika. Palvelin voi myös olla asiakkaalla itsellään. (Rossi 2016.)

RFID-tekniikkaan perustuvien, kännykällä tai tabletilla luettavien NFC-tunnisteen hinta on noin 1,2 e/kpl pienissä erissä, ja etäluettavien kestävien UHF-tunnisteen hinta noin 2,5 e/kpl suurissa erissä (Rossi 2016), eli esimerkiksi 1000 jäte-erän (esim. kuormalavallisen) tapauksessa hinta pysyisi noin 1200–2500 eurossa. UHF-lukijamoduulin hinta sen sijaan on noin 220 e/kpl, ja valmiin UHF-käsilukijan hinta on 7,5-kertainen. Jos jokaisessa keräys- ja välivarastointipisteessä sekä loppukäsittelylaitoksessa olisi lukijat, ja esimerkiksi 1000 jäte-erän tapauksessa keräyspisteitä olisi 100 kpl, välivarastointipisteitä 20 kpl ja loppukäsittelylaitoksia 4 kpl, tarvittava lukijoiden määrä olisi yhteensä 124 kpl. Tämä tarkoittaisi karkeasti arvioituna yli 60 000 euron kustannusta (sis. moduuli ja tuotekehitystyötä), tai valmiilla käsipäätteillä toteutettuna noin 200 000 euron kustannusta (Rossi 2016). Toisaalta etälukijoiden käyttö säästäisi työaikaa, sillä kännyköillä toimivat NFC-tunnisteen täytyy käydä lukemassa lähietäisyydeltä.

Johtopäätökset

Suurin tarve ja hyöty sähköisestä seurantajärjestelmästä öljyvahinkojätelogistiikassa olisi isossa vahinkotilanteessa, jossa torjuntatöihin, sekä jätteen kuljetuksiin ja käsittelyyn osallistuu useita eri toimijoita. Tavanomaisessa vahinkotilanteessa nykyiset toimintatavat nähdään usein riittäviksi. Jätteet kerätään korkeintaan muutamaaan pisteeseen, ja kuljetuksen hoitaa yksi tai muutama jätehuolto-yhtiö. Torjuntaviranomainen vastaa siitä, että jätteet menevät asianmukaisen jätehuolto-yhtiön kuljetettavaksi, jonka jälkeen jätehuolto-yhtiö vastaa käsittelystä ja viranomainen saa jätehuolto-yhtiöltä tarpeelliset tiedot. Jätehuolto-yhtiöiden käyttöön kehitetyt seurantajärjestelmät, sähköiset siirtoasiakirjat, ja RFID-tunnisteiden käyttö tulevat jatkossa helpottamaan paperityötä ja viranomaisten ja jätehuolto-yhtiöiden välistä tiedonvaihtoa.

Hyvin isossa vahinkotilanteessa tietojen hallittu koonti ja reaaliaikaisen tilannetiedon koostamisen tarve korostuvat. Jätehuolto-yhtiöiden kehittyvät järjestelmät auttavat tässäkin, mutta eri toimijoiden omat järjestelmät eivät välttämättä keskustele keskenään. Torjuntaviranomaisen pitää pyytää tiedot eri jätehuolto-yhtiöiltä ja yhdistää ne raportoinnissa, eivätkä he itse pääse suoraan katsomaan tilannetietoja. Tällaisessa tilanteessa öljyvahinkojätelogistiikkaan kehitetystä omasta seurantajärjestelmästä olisi hyötyä. Järjestelmä tulisi luoda siten, että tunnisteet voidaan lukea kännykällä tai olemassa olevilla tableteilla, eikä erillisiä lukulaitteita tarvita. Tarvittaessa UHF-tunnisteisiin perustuvia etälukulaitteita olisi järkevää hyödyntää, jos ne voisi vuokrata tai ostaa käyttöön vasta tarpeen tullen. Palvelin, ja tietojen hallintaan käytettävä sovellus olisi luontevinta olla esimerkiksi pelastuslaitosten tai Suomen ympäristökeskuksen hallinnassa - mahdollisesti Boris-tilannekuvajärjestelmään kytkettynä. Järjestelmän luominen on kertaluonteinen kustannus. Ylläpitokustannukset ja tunnisteiden hinnat eivät ole kohtuuttomat. Järjestelmän käyttö vaatisi harjoitusta pienemmissä vahinkotilanteissa, jotta sen käyttöön olisi valmius ja siitä saataisiin todellinen hyöty irti isossa vahinkotilanteessa.

LÄHTEET

HT Industry Solutions Oy (ei vuosilukua): eOil EcoFlow toimintamalli ja RFID-tukijärjestelmä. (ei julkinen)

Karttunen, Jukka 2016: Henkilökohtainen tiedoanto 1.12.2016. Enpros Oy.

Kaskinen, Pasi 2016: Henkilökohtainen tiedonanto 16.12.2016. Viestintäpäällikkö. Lohmi-Hämeen Jätehuolto Oy.

Peräkylä, Aija 2009: Tiestön valintaperusteet öljyvahinkojätteen maantiekuljetuksissa. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, Logistiikka/Johtaminen ja tietojärjestelmät. Opinnäytetyö.

Pirkanmaan Jätehuolto Oy 2017. Yrityksen www-sivut. Saatavissa: http://pjhoy.fi/Palvelut/vaarallistenjatteiden_asiakirjat. Luettu 4.1.2017.

Rossi, Markku 2016: Keskustelu 2.9.2016. projektipäällikkö, Informaatioteknologian koulutusyksikkö. Mikkelin ammattikorkeakoulu.

Serkkola, Ari 2016: Biojätteen punnitustieto jyvittää kustannuksia. Uusiouutiset 6/2016.

Serkkola, Ari & Niska, Harri 2016: Sekajätteen kertymät näkyvät kartalla. Uusiouutiset 8/2016

Sivula, Timo 2016: Henkilökohtainen tiedonanto 1.12.2016. Toimitusjohtaja. Tietomitta Oy.

Taalikka, Lasse 2016: Henkilökohtainen tiedonanto 1.12.2016. Yksikönpäällikkö. Lassila & Tikanoja Oy.

Tietomitta Oy 2016. Yrityksen www-sivut. Saatavissa: <http://www.tietomitta.fi/>. Luettu 1.12.2016.

YMPÄRISTÖN MONITOROINTI JA PIKAMITTAUSMENETELMIEN HYÖDYNTÄMINEN ÖLJYVAHINKOTILANTEESSA

Vuokko Malk & Arto Sormunen

Öljyvahinkotilanteessa tarvitaan tietoa haitta-aineiden pitoisuuksista ympäristössä, jotta vahingon laajuutta ja ympäristö- ja terveysriskejä voidaan arvioida. Ympäristön monitorointia tarvitaan myös tarvittavien torjunta- ja kunnostustoimenpiteiden arviointiin. Öljyhiilivedyt analysoidaan perinteisesti laboratoriossa kaasukromatografisesti. Laboratorioanalyysit ovat kohtuullisen kalliita ja aikaa vieviä. Erilaisilla pikamittaus- ja online-mittareilla pitoisuustietoja voidaan saada nopeammin ja laajemmalla alueelta.

Öljypitoisuuksien lisäksi vahinkotilanteessa ympäristön monitorointitietoa voidaan hyödyntää mm. virtausten, paikallisten sääolosuhteiden tai vedenlaatumuuttujien arvioinnissa. ICT-teknologia ja erilaiset sovellukset auttavat monitorointitiedon jakamisessa.

Öljyvahingon monitorointiin soveltuvia pikamittausmenetelmiä kartoitettiin keräämällä tietoa kirjallisuudesta sekä laitteiden valmistajilta ja jälleenmyyjiltä. Lisäksi Metsä-Sairilan jäteasemalla seurattiin öljyllä pilaantuneiden maiden kompostointia vertaamalla pikamittareilla saatuja tuloksia ulkopuolisessa akkreditoitussa laboratoriossa teetettyihin analyyseihin.

Kenttämittarit perinteisen laboratorioanalytiikan tukena

Perinteisen laboratorioanalytiikan rinnalle on kehitetty erilaisia kenttämittareita, joiden avulla ympäristöä voidaan monitoroida perinteisiin laboratorioanalyysiin verrattuna nopeammin ja edullisemmin. Viime vuosina kehitys on ollut nopeaa, ja eri laitetoimittajat tuovat markkinoille uusia laitteita jatkuvasti. Kenttämittausten etuna ympäristöseurannassa voidaan nähdä nopeat tulokset, kustannusten väheneminen, mittausten lukumäärän kasvattaminen ja sen myötä parantunut tulosten luotettavuus.

Lähtökohtaisesti haitallisten aineiden tutkimusten tulee perustua standardoituihin tai niitä luotettavuudeltaan vastaaviin menetelmiin. Laitetoimittajien haasteena onkin tehdä kenttäkelpoisia laitteita, jotka pystyvät tuottamaan nopeasti ja edullisesti laadukasta analyysitulosta. Toisaalta näytteenottajien on tunnistettava laitteiston epävarmuustekijät ja edustavaa näytteenottoa vaarantavat tekijät.

Aina kenttämittausten ja laboratoriotulosten suora vertailu ei ole järkevää. Joskus tietoa tarvitaan nopeasti, jolloin valmisteluun on aikaa hyvin vähän. Esimerkiksi onnettomuustilanteessa näytteenottoa ehditään suunnitella ennakoon vain vähän, eikä näytteenottajalla ole mahdollisuutta vierailta kohteessa etukäteen. Nämä ovat jo hyviä perusteita erilaisten kenttämittareiden ja pikamittausmenetelmien käytölle. Toisaalta on hyvä tunnistaa ja tiedostaa, että kenttämittausten luonne poikkeaa hyvin paljon eri mittareiden välillä ja laboratoriomittauksiin verrattuna. Tämän vuoksi myöskään tuloksia ei voida aina suoraan verrata toisiinsa. Esimerkiksi kenttämittareilla mitatut pitoisuudet ovat usein summaparametreja, ja ne joudutaan ilmaisemaan tuorepainoa kohden.

Vahinkopaikalla tehtävien pitoisuusmittausten lisäksi pikamittausmenetelmiä voidaan hyödyntää esimerkiksi pilaantuneiden maiden välivarastoinnin tai kompostikäsittelyn seurannassa. Nykyisin kompostointikäsittelyn etenemistä seurataan useimmiten ottamalla näytteet pari kertaa vuodessa ja analysoimalla ne laboratoriossa. Pikamittaus- ja online-menetelmiä hyödyntämällä välivarastointia tai kompostointikäsittelyä voitaisiin monessa tapauksessa seurata nykyistä edullisemmin ja tehokkaammin.

Mittalaitteita öljyn määrittämiseen vedestä

Öljyn mittaamiseen vedestä on olemassa markkinoilla monenlaisia mittalaitteita kuten jatkuvatoimisia online-antureita, kannettavia mittalaitteita ja kenttämitareita, joilla öljypitoisuus voidaan määrittää muutamassa minuutissa vesinäytteistä (taulukko 1). Pikamittalaitteita hyödynnetään maailmalla esimerkiksi pinta- ja pohjavesien sekä jätevesien tarkkailussa. Muita käyttökohteita ovat muun muassa laivojen pilssivesien tarkkailu ja teollisuus.

Fluoresenssiin perustuva tekniikka on yleistä mittalaitteissa, jotka mittaavat vedessä olevan öljyn määrän. Öljyn sisältämät aromaattiset hiilivedyt absorboivat UV-valoa ja emittoivat sitten fluoresoivaa valoa pidemmällä aallonpituuksilla. Mittaamalla tämän fluoresoivan valon intensiteettiä voidaan määrittää aromaattisten hiilivetyjen kokonaismäärä. Aromaattisten hiilivetyjen ja hiilivetyjen kokonaismäärän välinen suhde öljyssä on melko vakio. (Yang 2011.) Fluoresenssiin perustuvat mittalaitteet eivät mittaa alifaattisia (suoraketjuisia) hiilivetyjä, sillä alifaattiset hiilivedyt eivät ole fluoresoivia. Fluoresenssiin perustuvat mittalaitteet toimivat loistavasti, jos tiedetään etukäteen suhteellisen tarkasti, mitä öljytyyppiä mitataan ja öljyn tyyppi ei juuri vaihtele. Tulosten tulkitseminen voi olla ongelmallisempaa, jos öljytyyppiä ei tunneta etukäteen. Osa laitteista pystyy tunnistamaan öljytyypin. (Polet 2015.)

Muita pikamittauslaitteissa hyödynnettäviä mittaustekniikoita ovat esimerkiksi infrapunamenetelmät ja valonsirontamenetelmät. Infrapunatekniikka perustuu hiilivetyjen infrapuna-absorptioon. Hiilivedyt absorboivat energiaa tietyllä aallonpituudella. Absorboidun energian määrä on suhteellinen hiilivetyjen määrään. (Yang 2011.)

Tietoa tarjolla olevista mittalaitteista kerättiin internetistä sekä laitteiden valmistajilta ja jälleenmyyjiltä. Seuraavaksi on kuvattu tarkemmin tässä selvityksessä löydettyjä, markkinoilla tarjolla olevia mittalaitteita.

Jatkuvatoimiset online-anturit

Jatkuvatoimiset online-anturit asennetaan mittauspaikalle esimerkiksi poijuun. Esimerkiksi fluoresenssiin perustuva EHP-OIL mittaa öljyistä veteen liuenneita PAH-yhdisteitä ja pystyy havaitsemaan jopa 1 µg/l:n PAH-arvot. Laite havait-

see esimerkiksi kevyen polttoöljyn, dieselin, mäntyöljyn, hydraulikkaöljyt ja -rasvat sekä voiteluöljyt. Laite soveltuu erityisesti purkuojiin ja -putkiin, öljynerotusaltaisiin, putkilinjoihin, altaisiin tai luonnonvesiin. Laite toimii ympäri- vuotisesti ja itsenäisesti ilman verkkovirtaa tai tiedonsiirtokaapeleita. Laitteeseen on mahdollista liittää automaattihälytyksiä. (EHP-Tekniikka Oy 2017.) Laite on käytössä useilla suomalaisilla teollisuusyrityksillä (mm. Outokumpu Tornio, Stora Enso Oulu, SSAB Raahe, Ekokem Riihimäki) (EHP-Tekniikka Oy 2016). Lisäksi on käynnissä useita testiajoja teollisuusyritysten kanssa, jotka haluavat minimoida mahdolliset ympäristövahingot monitoroimalla mahdollisia öljypäästöjä ja reagoimalla vuotoihin välittömästi. Mittalaite on halpa vakuutus mahdollisten öljyvahinkojen varalle. (Kaiponen 2017.)

EHP-tekniikka tarjoaa EHP-OIL-mittalaitteen ohella asennus- ja huoltopalvelun. Lyhyille alle vuoden jaksoille mittausasemia tarjotaan myös vuokrattuina. Oikein tehty asennus ja huolto ovat avainasemassa mittauksen luotettavuudessa, sillä epäluotettavan mittauksen syynä on yli 90 % tapauksista puutteellinen asennuksen suunnittelu tai huollon puute. Mittaustulokset siirtyvät automaattisesti EHP-Datapalveluun, jossa voi piirtää kuvaajia halutuille parametreille tai laskea nopeasti pitoisuuksien keskiarvoja. Datapalvelun kautta EHP-huolto näkee tarvittaessa datan ja pystyy tekemään esimerkiksi kalibrointeja mittauksille, asettamaan hälytyksiä ja auttamaan ongelmatilanteissa. Järjestelmään on mahdollista liittää myös muita vedenlaatuantureita, virtausmittauksia tai sääparametrien mittauksia. Esimerkiksi tuulen suunnan mittauksilla voidaan arvioida, mihin suuntaan öljylautat lähtevät ajautumaan. (Kaiponen 2017.)

Tiedon jakaminen onnistuu datapalvelun kautta. Öljyvahinkotilanteessa esimerkiksi Suomen ympäristökeskuksen Boris-tilannekuvajärjestelmään voitaisiin liittää onnettomuustilanteen tietoihin linkki datapalveluun, jonka kautta kaikki torjuntaan osallistuvat viranomaiset pääsisivät katsomaan mittausdataa reaaliaikaisesti. Datapalvelun API-rajapinnan kautta tiedonsiirto onnistuu myös suoraan mihin vain sähköiseen järjestelmään helposti (Kaiponen 2017).

Myös Suomi Analytics Oy toimittaa fluoresenssiin perustuvia Advanced Sensors -mittalaitteita, joissa on jatkuvatoimisia malleja. Laitteisiin saa lisävarusteena spektrometrin, joka tunnistaa ensin öljytyypin ja huomioi mittaustuloksissa oikean referenssispektrin. Laitteita ei juuri ole Suomessa käytössä, mutta niitä on käytössä muissa Pohjoismaissa ja kyseisillä laitteilla on mm. öljynporauslautoilla iso markkinaosuus. (Polet 2017.)

Luode Consulting Oy toimittaa öljyhiilivetyjen mittaamiseen fluoresenssiin perustuvaa TriOS enviroFlu-HC -fluorometriä ja optista öljykalvoanturia, jonka nimi on LDI ROW. LDI ROW havaitsee veden pinnalla kelluvan öljyn. Laitteisto asennetaan 0,1–10 metriä mitattavan kohteen yläpuolelle. Laitteisto havaitsee paksuudeltaan vähintään 3 µm:n öljykalvot. Mittaustulokset voidaan siirtää molemmista laitteista Luode Consulting Oy:n toimesta www-sivuille, josta mittaustulosten ja antureiden kunnon seuranta on mahdollista reaaliajassa. Järjestelmään voidaan liittää myös muita vedenlaatuantureita tai virtaamamittauksia. Antureita on eniten käytössä vedenottamoilla vahtimassa, että öljyä ei pääse juomaveden sekaan. Lisäksi myös merellä on poijussa yksi TriOS-öljyanturi öljyvahinkoja päivystämässä. (Kiiriikki & Lindfors 2017.)

Labkotec Oy toimittaa OMD-32A-mittalaitetta, joka erottaa öljypisarat kiinteistä partikkeleista ja kaasukuplista vedessä. Mittaustekniikka perustuu optiseen sirontaan. Laite on tarkoitettu erityisesti jäähdytysvesisovelluksiin sekä merenkulun ja teollisuuden sovelluksiin (mm. pilssivedet) mutta myös luonnonvesille. Laitteessa on mukana pumppu, ja se asennetaan esimerkiksi seinälle. Laite vaatii verkkovirran. Se on helppo asentaa ja vaatii suhteellisen vähän huoltoa. Mittaustulokset voidaan siirtää LabkoNet-palveluun. Järjestelmään on mahdollista liittää myös muita vedenlaatuantureita. (Pasonen 2015.)

Öljymittausanturit ovat yleensä kalliimpia muihin vedenlaatuantureihin verrattuna. Kun esimerkiksi pH-, happi-, johtokyky- tai redox-antureiden hinnat ovat anturista riippuen muutamia satoja tai tuhansia euroja, voi öljymittausanturin hinta olla kymmenkertainen. Osa laitteista on vielä jopa huomattavasti tätä kalliimpia. Antureiden lisäksi kustannuksia aiheutuu esimerkiksi mittausasemasta, asennuksesta, huollosta ja datapalvelusta. Osassa laitteista tiedonsiirtoyksikkö hankitaan erikseen.

Kannettavat mittalaitteet

Kannettavilla mittareilla voidaan mitata nopeasti öljypitoisuus vedestä ilman näytteenottoa. Laite on helppo kuljettaa mukana, kun mittauksia halutaan tehdä eri kohteissa.

Esimerkiksi Suomi Analyticsin jälleenmyymä Advanced sensors HD1000 on fluoresenssiin perustuva kannettava mittalaite, joka mittaa aromaattiset yhdis-

teet vedestä reaaliaikaisesti. Mittarissa on myös öljytyypin ja kemikaalin tunnistus. Mittausdatan voi jakaa sähköpostin, Bluetoothin tai Wi-Fi:n kautta. (Polet 2017.)

Kenttämittarit vesinäytteiden pika-analyysiin

Kenttämittareilla voidaan määrittää pitoisuudet vesinäytteistä muutamassa minuutissa joko kentällä tai laboratoriossa. Mittaustulokset saadaan huomattavasti nopeammin kuin perinteisissä laboratorioanalyyseissä. Mittalaitteet ovat hieman halvempia kuin esimerkiksi fluoresenssiin perustuvat jatkuvatoimiset tai kannettavat mittalaitteet. Mittauksissa on huomioitava näytteenoton edustavuus kuten laboratorioanalyyseissäkin.

Infrapuna-tekniikkaan perustuvalla InfraCal-analysaattorilla (Wilks/Spectro Scientific) voidaan määrittää kokonaisöljyhiilivetypitoisuus sekä vesi- että maanäytteistä. Öljyhiilivedyt uutetaan näytteestä liuottimeen. Tulos saadaan alle 10 minuutissa. (Spectro Scientific 2016) Pohjoismaissa InfraCal-analysaattoria jälleenmyy Instrument Companiet AS Norjassa.

Fluoresenssiin perustuvalla FluoroCheck-laitteella (Arjay Engineering) voidaan määrittää aromaattisia yhdisteitä sisältävät öljyt vesinäytteistä. Näytettä ei tarvitse välttämättä esikäsitellä, mutta näytteelle voidaan tehdä myös liuotinuutto. (Arjay Engineering 2014.) Pohjoismaissa FluoroCheck-mittalaitetta jälleenmyy Houm AS Norjassa.

TAULUKKO 1. Eräitä pikamittauslaitteita öljypitoisuuden määrittämiseen vedestä (tiedot valmistajien kotisivuilta) (Malk ym. 2015).

Laite (valmistaja)	Mittausperiaate	Analyytit	Määrittysalue (tarkkuus)	Analyysiaika	Käyttölämpötila
*EHP-OIL (EHP-Tekniikka)	UV-fluoresenssi	PAH-yhdisteitä sisältävät öljyt, esim. diesel, bensiini, hydraulikaöljyt	0-50 ppb 0-500 ppb 0-5000 ppb	Jatkuva-toiminen mittaus	0-45 °C
*TriOs enviro-Flu-HC (TriOS Optical sensors)	UV-fluoresenssi	mm. diesel, PAH-yhdisteet, naftaleeni, fluoreeni, fenoli sekä noin 10 muuta ainetta	0-50 ppb 0-500 ppb 0-5000 ppb herkkyys 0,01 ppb puhtaassa vedessä	Jatkuva-toiminen mittaus	0-40 °C
*LDI ROW (Laser Diagnostic Instruments AS)	fluoresenssi	Havaitsee veden pinnalla kelluvan öljykalvon, kaikki öljyt	öljykalvon paksumuus $\geq 3 \mu\text{m}$	Jatkuva-toiminen mittaus	-25-60 °C
*OMD-32A (Deckma Hamburg GmbH)	optinen sironta	Eroottaa öljypisarat kiinteistä partikkeleista ja kaasukuplista	0-200 ppm ($\pm 1 \text{ ppm}$)	Jatkuva-toiminen mittaus	1-55 °C
*Advanced sensors HD1000 (Advanced Sensors Ltd)	Laser-indusoitu fluoresenssi	Mittaa aromaattisia hiilivetyjä. Öljytyypin ja kemikaalin tunnistus.	0-3000 ppm	Kannettava analyysiaattori, reaaliaikainen mittaus	-5-50 °C
FluoroCheck II (Arjay Engineering)	fluoresenssi	Aromaattisia yhdisteitä sisältävät öljyt	0-100 ppm ($\pm 0,1 \text{ ppm}$)	Pöytälaite	15-40 °C
**InfraCal (Wilks/Spectro Scientific)	Infrapuna	Kokonais-öljyhii-livedyt (TPH), rasvat (FOG - fats, oil and grease)	0,3 ppm (vesi) 3 ppm (maa) (mallissa ATR-SP)	Pöytälaite, analyysi alle 10 minuutissa	

*saatavilla Suomessa, **laite soveltuu myös maanäytteille

Passiivikeräimet

Öljyvahinkotilanteessa pinta- tai pohjaveden monitoroinnissa voidaan hyödyntää myös passiivikeräimiä. Esimerkiksi SorbiCell ”suodattaa” läpi kulkevasta vedestä liuenneet yhdisteet sorbenttia sisältävään patruunaan. Tuote soveltuu myös öljyille, ja sen avulla voidaan määrittää vedestä aromaattiset ja alifaattiset hiilivedyt. Patruunaan jääneet yhdisteet määritetään laboratoriossa kaasuk-

romatografisesti. Patruuna sisältää myös ”jäljitinsuolan”, jonka avulla voidaan määrittää patruunan läpi kulkevan veden määrä. Tämä mahdollistaa keskiarvopitoisuuden määrittämisen tietyllä ajanjaksolla. (Sorbisense A/S 2017.)

Mittalaitteita öljyn määrittämiseen maaperästä

Öljystä pilaantuneilla maa-alueilla on Suomessakin yleisessä käytössä Petro-FLAG-kenttämittari (Dexsil Corporation), jota Suomessa jälleenmyy GWM-Engineering Oy. Mittaus koostuu kolmesta yksinkertaisesta vaiheesta: uutto, suodatus ja analyysi. Yksi käyttäjä voi tutkia jopa 25 näytettä tunnissa. (GWM-Engineering Oy 2017.) Myös yllä kuvatulla InfraCal-analyysaattorilla voidaan määrittää öljypitoisuus maaperänäytteistä noin 10 minuutissa.

Internetistä kartoitettiin myös muita maailmalla käytössä olevia pikamittausmenetelmiä öljyn mittaamiseen maasta (taulukko 2, Malk ym. 2015). Menetelmät öljyn mittaamiseen maasta jakaantuvat karkeasti kahteen ryhmään. Taulukossa 2 mainitut Hanby TPH Soil Test Kit, Oil-In-Soil ja Oil Screen Soil koostuvat vain reagensseista, joita sekoitetaan näytteeseen. Niiden aikaansaaman reaktion voimakkuus indikoi öljyn määrää maassa. Tällaiset menetelmät antavat vain karkean kuvan tilanteesta, lähinnä onko maassa öljyä vai ei. Chemetrics Remedaid, Hach Pocket Colorimeter II Test Kit ja SiteLAB Model UVF-3100D Portable Field Analyzer sisältävät mittauslaitteen, johon ennalta valmistellut näytteet asetetaan mittausta varten. Näin saatu tulos on tarkempi mutta edelleen vain suuntaa-antava.

TAULUKKO 2. Eräitä pikamittauslaitteita öljypitoisuuden määrittämiseen maaperästä (tiedot valmistajien internet-sivuilta, Malk ym. 2015).

Laite (valmistaja)	Mittausperiaate	Analyytit	Määrittysalue (tarkkuus)	Analyysiaika	Käyttölämpötila
PetroFLAG (Dexsil Corporation)	Optinen sironta	Kokonaisöljyhiilivedyt (TPH)	15-2000 ppm Yli 2000 ppm:n PetroFLAG's High Range -reagensseilla		4-5 °C
Chemetrics Remediate (CHEMetrics, Inc.)	Optinen sironta	Kokonaisöljyhiilivedyt (TPH)	Esim. Diesel: 60-400 mg/kg, PAH (16 yhdistettä): 8-60 mg/kg		
Hanby TPH Soil Test Kit (Hanby Environmental, USA)	Kemiallinen	Kokonaisöljyhiilivedyt (TPH)	1-1000 ppm Korkeat pitoisuudet 500-50000 ppm		
Hach Pocket Colorimeter II Test Kit (Hach Company, USA)	Optinen sironta	Kokonaisöljyhiilivedyt (TPH)	20-200 ppm		10-40 °C
Oil-In-Soil (Oil In Soil, USA)	Kemiallinen	Kokonaisöljyhiilivedyt (TPH)	Ilmaisee, onko näytteessä yli 500 ppm TPH:ta		
Oil Screen Soil (Cheiron Resources Ltd, Canada)	Kemiallinen	Alifaattiset ja aromaattiset hiilivedyt, Kokonais-öljyhiilivedyt (TPH)	Ilmaisee, onko näytteessä TPH:ta yli 500 ppm		
SiteLAB Model UVF-3100D -Portable Field Analyzer (Sitelab corporation)	Optinen sironta	Kokonaisöljyhiilivedyt (TPH)	TPH 5 ppm, PAH 25 ppb	Pöytälaite	
**InfraCal TOG/TPH Analyzer (Wilks Enterprise, Inc.)	Infra-puna	Kokonaisöljyhiilivedyt (TPH), rasvat (FOG - fats, oil and grease)	0,3 ppm (vesi) 3 ppm (maa)	Pöytälaite, analyysi alle 10 minuuttia	4-45 °C

**Laite soveltuu myös vesinäytteille

Haihtuvien yhdisteiden mittaus

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) mittaamiseen tarkoitettut laitteet sopivat myös öljystä pilaantuneille alueille, erityisesti vahinkotilanteessa, jossa öljyvuoto on tapahtunut äskettäin ja ilmassa on haihtuvia yhdisteitä. Mittalaitteilla voidaan mitata VOC-pitoisuus pilaantuneen maan tai veden pinnalta. Esimerkiksi Ion Science ProCheck Tiger on PID-anturilla (photoionization detector) varustettu kannettava mittalaite VOC-kaasujen mittaukseen. Kaasumolekyylit ionisoidaan UV-valolla. Ionit tuottavat sähkövirtaa, jonka detektorin mittaa. Jokaisella kaasulla on oma ionisaatiopotentiaali. Laite kalibroidaan tavallisesti isobutyleenillä. Eri kaasujen pitoisuus voidaan mitata käyttämällä korjauskertoimia. (International Sensor Technology 2017). Mittarilla voidaan mitata VOC-pitoisuus suoraan kentällä tai näytepullojen tai -pussien ilmatilasta. Pitoisuustieto saadaan muutamassa sekunnissa.

Esimerkiksi Majasaaren jätekeskuksella (Kainuun Jätehuollon kuntayhtymä, Ekokymppi) kompostoitavien maiden öljypitoisuuksia seurataan RS Dynamics Ecoprobe 5 -kaasuanalysaattorilla. Ecoprobe 5 mittaa maaperän huokosilmasta PID-tekniikalla VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuuden ja infrapunatekniikalla erikseen metaanin, öljyhiilivedyt ja hiilidioksidin. Tulokset siirtyvät laitteen omaan ohjelmistoon, jolla voidaan tehdä esimerkiksi karttaesityksiä (RS Dynamics 2004). Majasaaren jätekeskuksella analysaattori mittaa auman huokosilmasta öljypitoisuutta. Aikaisemmin on tehty rinnakkain laboratorioanalyysejä maanäytteistä. Aineiston perusteella on kertynyt kokemusta laboratorioanalyyseistä ja analysaattorin tulosten vastaavuudesta, joten laboratorioanalyysejä ei enää tarvita. (Kinnunen & Piirainen 2016.)

Muita mittalaitteita ympäristön monitorointiin

Vahinkotilanteessa voidaan hyödyntää myös muita kuin öljypitoisuuden mittaamiseen tarkoitettuja mittalaitteita. Virtaamamittareista ja virtauspoijuista voi olla hyötyä öljyn leviämisen ennustamisessa. Jatkuvatoinisilla vedenlaatumittareilla voidaan seurata esimerkiksi veden happipitoisuutta. Esimerkiksi joidenkin biopoltoaineiden, kuten biodieselin, kasviöljyjen ja bioetanolin on havaittu aiheuttavan ympäristössä hapettomuutta nopean biohajoamisen seurauksena. Näiden biopoltoaineiden kohdalla on suositeltu happipitoisuuden seuraamista vahinkotilanteessa (ITRC 2011). ÄLYKÖ-hankkeessa tehdyt demonstraatiokoeket taas osoittivat, että pyrolyysiöljy ja muut happamat kemikaalit alentavat

ympäristön pH:ta, jolloin vahinkotilanteessa on tarpeen seurata veden pH-arvoja.

Öljy ei johda sähköä, ja siksi öljyvuoto voi alentaa veden sähkönjohtokykyä. (International Water Institute 2011, Fondriest Environmental Inc. 2016) Öljyvuoto voi lisätä myös liuenneen kiinteän aineen määrää (TDS, total dissolved solids). Veden johtokykyä voidaan seurata jatkuvatoimisilla mittalaitteilla kuten happipitoisuutta ja pH:takin. Esimerkiksi Mikkelin ammattikorkeakoulun VIM-hankkeessa YSI-antureilla pystyttiin luotettavasti seuraamaan pintaveden sähkönjohtavuutta, happipitoisuutta ja pH:ta (Viljanen ym. 2015).

Pikamittausmenetelmien testaus

Pikamittausmenetelmiä testattiin käytännössä seuraamalla öljystä pilaantuneiden maiden kompostointia Metsäsairila Oy:n jäteasemalla ja vertaamalla pikamittareilla saatuja tuloksia ulkopuolisessa akkreditoitussa laboratoriossa teetettyihin analyyseihin. Käytössä olivat PetroFLAG-testi maaperänäytteille, PhoCheck Tiger PiD -mittari haihtuville orgaanisille yhdisteille (VOC) sekä InfraCal 2 ATR-SP -analysaattori, jolla öljypitoisuus voidaan määrittää sekä maasta että vedestä. Työn tarkoituksena oli kerätä tietoa pikamittausmenetelmien soveltuvuudesta öljymaiden pitoisuuksien tarkkailuun.

Näytteenotto ja esikäsittely

Näytteet otettiin jäteaseman öljystä pilaantuneista maista kolme kertaa (30.11.2015, 18.5.2016 ja 21.9.2016). Pilaantuneet maat olivat hiekkaa tai liettä, joissa pilaantuneisuuden aste vaihteli lievästi pilaantuneesta voimakkaasti pilaantuneeseen (taulukko 3). Näytteet otettiin kaivamalla lapiolla satunnaisista pisteistä eri puolilta kasaa sekä pintamaasta että syvemmältä. Jokaisesta kasasta otettiin 3–5 rinnakkaista näytettä. Näytteet varastoitiin kaasutiiviisiin pusseihin.

Ensimmäisellä näytteenottokerralla (30.11.2015) näytteet sekoitettiin pussin päältä. Toisella ja kolmannella näytteenottokerralla (18.5.2016 ja 21.9.2016) näytteet homogenisoitiin seulomalla näytteet 2 mm:n seulalla. Seulonnan tarkoituksena oli saada näytteet mahdollisimman homogeenisiksi, jotta pikamittausmenetelmillä tehdyt analyysit ja laboratoriossa teetetyt pitoisuusanalyysit olisivat mahdollisimman vertailukelpoiset. Sekoituksen tai seulonnan jälkeen

maanäytteet jaettiin kahteen osaan. Toinen osa lähetettiin akkreditoituun laboratorioon (ALS Finland) ja toinen osa jäi Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa tehtäviin analyysiin.

TAULUKKO 3. Monitoroitujen pilaantuneiden maiden lähtötiedot.

Maa	Alkuperä ja lähtötiedot	Näytteenotto
Maa 1	Pilaantunut maa peräisin vanhan kaatopaikan lietealtaan pohjalta. Tuotu Metsä-Sairilaan 8. -9.10.2015. Lähtöpitoisuudet C10-21 1200 mg/kg ja C21-C40 3400 mg/kg.	30.11.2015 18.5.2016 21.9.2016
Maa 2	Öljystä pilaantunut hiekkamaa. Tuotu Metsä-Sairilaan elokuussa 2015. Lähtöpitoisuus 2700 mg/kg.	30.11.2015 18.5.2016
Maa 3	Jätekeskuksen omien lietealtaiden pohjasakkaa. Siirretty PIMA-kentälle syksyllä 2015. Lähtöpitoisuuksia ei tiedossa, oletuksena voimakkaasti pilaantunut.	30.11.2015 18.5.2016 21.9.2016
Maa 4	Öljystä pilaantunut hiekkamaa. Lähtöpitoisuus 9000 mg/kg.	21.9.2016



KUVA 1. Kompostoitavia pilaantuneita maita jäteasemalla (kuva Vuokko Malk 2016)

Öljypitoisuuden määrittäminen InfraCal 2 ATR-SP -analysaattorilla

Analyysi toteutettiin laboratoriossa laitteen ohjeiden mukaisesti. Tilavuudeltaan 40 ml:n näyteputkesta täytettiin 2/3 maanäytteellä. Maahan sekoitettiin silikageeliä veden ja polaaristen yhdisteiden poistamiseksi näytteestä. Näytteet

uutettiin heksaanilla (uuttosuhte 1:1). Näyteputkia ravisteltiin voimakkaasti 2 minuutin ajan. Uuttoliuos suodatettiin ruiskusuodattimella sekä silikageelin läpi. Mittaus InfraCal 2 ATR-SP analysaattorilla (Wilks Enterprise/Spectro Scientific) tehtiin mittaamalla 60 µl uuttoliuosta mittalaitteen kristallille. Käytetty kalibrintialue oli 100–2000 ppm. Kalibrointi tehtiin valmistajan kalibrintiliuoksilla. Tulokset muutettiin kuiva-ainetta kohden jakamalla InfraCal-laitteen näyttämä tulos (tuorepainoa kohden) kuiva-aineosuudella.



KUVA 2. InfraCal2 ATR-SP -analysaattori (kuva Vuokko Malk 2016)

Öljypitoisuuden määrittäminen PetroFLAG-mittarilla

Analyysi toteutettiin laboratoriossa laitteen ohjeen mukaisesti ja käyttäen PetroFLAG (Dexsil Corporation) -analyysikitin reagensseja (tai vastaavia). Mittari kalibroitiin ohjeiden mukaisesti. Näyteputkeen punnittiin 10 g maanäytettä. Laitteen maksimimittauspitoisuus on 2000 mg/kg. Jos maan öljypitoisuus ylitti tämän, analyysi uusittiin käyttämällä 1 g näytemäärää ja kertomalla tulokset 10:llä. Näytteet uutettiin lisäämällä uuttoliuos ja sekoittamalla voimakkaasti ravistellen 15 sekuntia. Näytteiden annettiin seistä 5 minuutin ajan välillä sekoitellen. Uuttoliuos kaadettiin ruiskusuodattimeen ja suodatettiin kehitepulloon. Reagenssipulloa ravisteltiin 10 sekunnin ajan ja annettiin seistä 10 minuuttia. Mittauksessa käytettiin vastekerrointa 5.

Tulokset muutettiin kuiva-ainetta kohden. Lisäksi huomioitiin laimenemisvaikutus. Tulokset korjattiin laitteen käyttöohjeessa annetun kaavan mukaan (kaava 1).

$$R' = R ((2 / FS) - 1) \quad (1)$$

R' = korjattu tulos

R = PetroFLAG-mittalaitteen näyttämä tulos

FS = Kuiva-aineen osuus. $FS = (100 - \%kosteus) / 100$

Haihtuvien yhdisteiden määrittäminen PID-mittarilla

Mittaus toteutettiin Ion Science ProCheck Tiger -laitteella laboratoriossa laitteen ohjeen mukaisesti. Mittari kalibroitiin ennen mittauksia ohjeiden mukaisesti käyttäen isobutyleenikaasua. Mittaus tehtiin asettamalla mittausanturi kaasutiiviin pussin sisään. Mittauslukemien annettiin tasaantua.

Öljyhiilivetyjen kaasukromatografinen analyysi akkreditoitussa laboratoriossa

Näytteiden öljyhiilivetypitoisuudet määritettiin kaasukromatografisesti ulkopuolisessa akkreditoitussa laboratoriossa (ALS Finland). Näytteistä määritettiin haihtuvien C5–C10-hiilivetyjen ja BTEX-yhdisteiden sekä oksygenaattien (MTBE, TAME, TAEE, ETBE, DIPE, TBA) pitoisuudet GC-MS- ja GC-FID-tekniikoilla menetelmien US EPA 8260, US EPA 5021A, US EPA 5021, US EPA 8015, MADEP 2004, rev. 1.1, ISO 15009 mukaan. C10–C40-hiilivetyjen pitoisuus (eroteltuna fraktiot C10–C21 ja C21–C40) määritettiin GC-FID-tekniikalla menetelmän CSN EN 14039 mukaan. Ensimmäisellä näytteenotokerralla (30.11.2015) näytteistä määritettiin lisäksi PAH-yhdisteet ja VOC-yhdisteet laajemmin GC-MS-tekniikalla.

Muut analyysit

Maanäytteiden pH määritettiin standardin SFS-EN 15933 mukaisesti. Kosteuspitoisuus ja hehkutushäviö määritettiin standardin SFS-EN 15935 mukaisesti. Kokonaistyyppi määritettiin ulkopuolisessa laboratoriossa (ALS Finland) UV-VIS-menetelmällä (CSN ISO 11261).

Tulokset

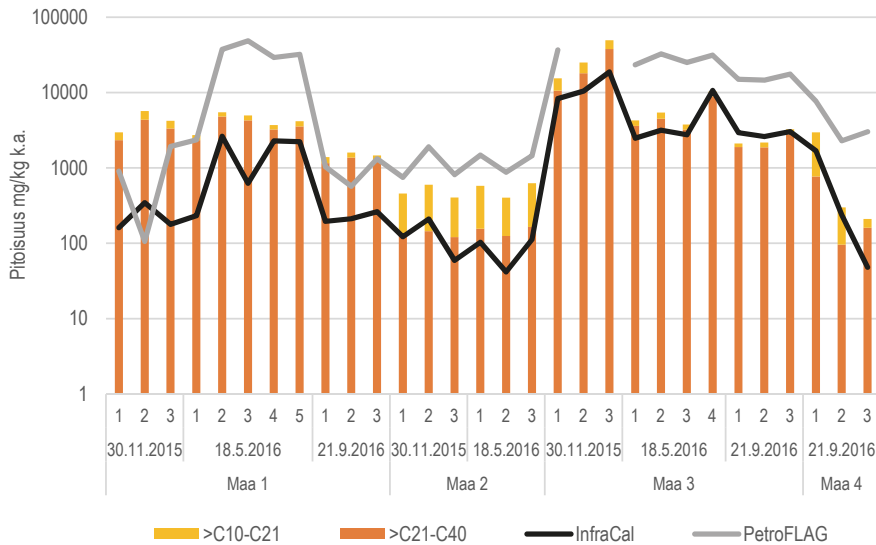
Ulkopuolisessa laboratoriossa mitatut öljyhiilivetyypitoisuudet (>C10–C40) vaihtelivat näytemaissa noin välillä 500–30 000 mg/kg. Suurin lähtöpitoisuus oli maassa 3, joka oli jäteaseman omien lietealtaiden pohjasakkaa. Näytemaiden öljypitoisuus koostui pääasiassa raskaasta >C21–C40-fraktiosta, paitsi maassa 2, jossa keskiraskaan fraktion osuus oli suurempi. Maassa 2 kokonai-
söljypitoisuus oli alhaisin. Fraktion >C5–C10 pitoisuudet olivat alle määrittys-
rajan (<10 mg/kg). Ensimmäisellä näytteenotokerralla tehdyissä laajemmissa
VOC- ja PAH-määrittelyissä havaittiin vain hyvin pieniä pitoisuuksia (BTEX
0,3–2,5 mg/kg, PAH 1–3,4 mg/kg) muutamissa näytteissä.

Lietepohjaisissa maa 1- ja maa 3 -näytteissä oli selvästi korkeampi kosteus ja
orgaanisen aineen osuus (hehkutushäviönä mitattuna) kuin hiekkaisissa maa 2-
ja maa 4 -näytteissä. Maassa 4 rinnakkaisten näytteiden välillä oli huomattavaa
vaihtelua mitatuissa parametreissa (kuva 4).

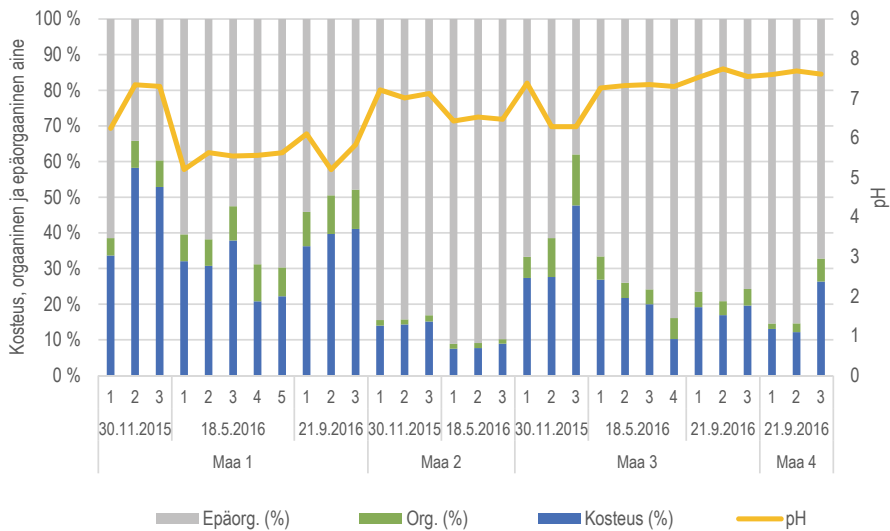
InfraCal- ja PetroFLAG-tulokset

Pikamittausmenetelmillä (PetroFLAG ja InfraCal) määritetyt öljypitoisuudet
maanäytteissä myötäilivät akkreditoidussa laboratoriossa GC-FID-menetelmällä
määritettyjä pitoisuuksia, mutta tuloksissa oli huomattavia eroja eri menetelmi-
en välillä (kuva 3). PetroFLAG-testillä määritetyt pitoisuudet olivat suurimmas-
sa osassa näytteistä selvästi korkeampia ja InfraCal-analysointorilla määritetyt
pitoisuudet puolestaan selvästi alhaisempia kuin GC-FID-menetelmällä määri-
tetyt pitoisuudet. Mittausepätaarkkuus vaihteli eri maiden ja myös eri näytteen-
ottoajankohtien ja rinnakkaisten näytteiden välillä.

Erityisesti maassa 1 sekä PetroFLAGilla että InfraCalilla mitatut tulokset oli-
vat vaihtelevia ja epäluotettavia. Tässä lietemaassa sekä kosteus että orgaanisen
aineen määrä olivat korkeita ja toisaalta pH oli keskimäärin alhaisempi kuin
muissa näytemaissa. Näytteiden kromatografinen profiili muistutti luonnollisen
orgaanisen aineen profiilia, joten myöskään laboratoriossa mitatut öljypitoisuu-
det eivät ole maassa 1 täysin luotettavia.



KUVA 3. GC-FID-menetelmällä määritetyt hiilivetytitoisuudet (eroteltuna fraktiot >C10-C21 ja >C21-C40) ja pikamittausmenetelmillä (InfraCal ja PetroFLAG) määritetyt öljypitoisuudet eri maanäytteissä.



KUVA 4. Kosteus (%), orgaaninen aineksen osuus (hehikutushäviö, %), epäorgaanisen aineksen osuus (hehikutusjäännös, %) ja pH eri maanäytteissä.

InfraCal- ja PetroFlag-mittausten eroja laboratorioanalyysiin verrattuna ei voi selittää millään yksittäisellä tekijällä vaan erot ovat monen tekijän yhteisvaikutusta. Maaperän kosteus ja luonnollinen orgaaninen aines voivat aiheuttaa virhettä mittaustuloksissa. PetroFLAG-testi havaitsee kaikki hiilivedyt mukaan lukien luonnolliset hiilivetyjen kaltaiset yhdisteet (Dexsil 2009). Tämä selittää osittain PetroFLAG-testin kauttaaltaan korkeampia pitoisuuksia laboratorioanalyysiin verrattuna. PetroFLAG-testiä käytettäessä suositellaankin pilaantumattomien näytteiden taustapitoisuuden määrittämistä sellaisille maanäytteille, joissa orgaanisen aineen pitoisuus on suuri (Dexsil 2009). InfraCal-analyysissä vesi ja luonnolliset orgaaniset yhdisteet poistetaan silikageelin avulla, joten orgaanisella aineella ei pitäisi olla yhtä suuri merkitys. Myös käytetyssä laboratoriostandardimenetelmässä (CSN EN 14039) tehdään vastaavantyyppinen Florisil-puhdistus.

Kosteus vaikuttaa PetroFlag-tuloksiin yleensä pitoisuuksia alentamalla. PetroFLAG-testissä näytteet uutetaan metanoliliuoksella ja vesi liukenee metanoliin. Veden vaikutuksesta tulokset voivat olla todellista alempia alentuneen uutotehokkuuden ja laimenemisen vuoksi (Dexsil 2009). Laimenemisvaikutus huomioitiin tuloksissa. Laimenemisvaikutuksen korjaus soveltuu tyypillisille maanäytteille, joiden kosteus on ≤ 15 %. Kosteuden ollessa suurempi (kuten osassa analysoiduista näytteistä oli) veden vaikutus tuloksiin pitäisi määrittää tapauskohtaisesti (Dexsil 2009). InfraCal-analyysissä laimenemista ei pitäisi tapahtua, koska vesi poistetaan näytteistä silikageelin avulla. Lisäksi näytteet uutetaan heksaaniin, joka ei ole vesiliukoinen. Käytännössä kuitenkin havaittiin, että hyvin kosteat maanäytteet paakkuituivat helposti uuttovaiheessa silikageelin lisäyksestä huolimatta. Tämä saattoi heikentää uutotehoa. PetroFlag-testissäkin veden vaikutusta voi myös pyrkiä vähentämään lisäämällä näytteisiin vedetöntä natriumsulfaattia (Dexsil 2009).

Maaperän sisältämä öljyalaatu voi vaikuttaa mittaustuloksiin. PetroFLAG-testin antama optinen vaste vaihtelee eri öljyalaaduilla. Testi on herkin raskaimmille hiilivedyille. Öljyalaadun huomioimiseksi mittausvaiheessa valitaan vastekerroin (2–10). Kevyimmillä ja haihtuvimmilla öljyalaaduilla on alhaisimmat vastekerroimet ja raskaimmilla öljyalaaduilla korkeimmat. Jos öljyalaatua ei tiedetä (kuten analysoitujen maanäytteiden tapauksessa), suositellaan valittavaksi alhaisin arvioitu vastekerroin. Useimmilla öljytuotteilla vastekerroin on ≥ 5 . (Dexsil 2009.) Mittauksissa käytettiin dieselin vastekerrointa 5. Alhaisempia vastekertoimia on hyvin kevyillä ja haihtuvilla öljyalaaduilla, kuten kerosiinilla (Dexsil 2009). La-

laboratorioanalyysijä suuremmat pitoisuudet PetroFLAG-testissä viittaisivat siihen, että käytetty vastekerroin olisi liian suuri. Kuitenkin vertailuarvoina olevat laboratorioanalyysien pitoisuudet ovat keskiraskaiden ja raskaiden jakeiden pitoisuuksia ja erityisesti maassa 1 ja maassa 3 pitoisuudet koostuvat pääasiassa raskaasta fraktiosta. Näin ollen vastekerroin ei voi olla ainakaan pienempi eikä käytetty vastekerroin selitä laboratorioanalyysiin verrattuna suurempia pitoisuuksia.

InfraCal-analysaattori on kalibroitu kevyen mineraaliöljyn kalibroitiluuksilla. Analysaattori ei sovellu haihtuvien yhdisteiden analysoimiseen. Haihtuvilla yhdisteillä tarkoitetaan sellaisia yhdisteitä, jotka haihtuvat uuttoliuottimena käytetyn heksaanin mukana mittausvaiheessa. Liuottimena voitaisiin käyttää heksaanin sijaan myös pentaania, jonka kiehumispiste on alhaisempi (pentaani 36 °C, heksaani 69 °C). Tämän vuoksi se pidättää paremmin alhaisen kiehumispisteen yhdisteitä (Wilks Enterprise 2013). Lisäksi InfraCal-analysaattorista on olemassa myös toinen malli (InfraCal 2 TRAN-SP), jossa haihtuvat yhdisteet sisältyvät analyysiin. Osassa analysoiduista näytteistä InfraCalilla määritetyt pitoisuudet näyttivät myötäilevän paremmin raskaan fraktion (>C21–C40) pitoisuutta kuin keskiraskaiden ja raskaiden fraktioiden kokonaispitoisuutta (>C10–C40).

InfraCal-tuloksille voidaan laskea korjauskerroin vertailumenetelmällä laitteen ohjeen mukaan. Kun InfraCal-pitoisuudet ovat järjestään alle vertailumenetelmän pitoisuuksien, korjauskerroin lasketaan jakamalla vertailumenetelmän tulosten summa InfraCal-tulosten summalla (Wilks Enterprise 2013). Tässä työssä kerätyllä aineistolla korjauskertoimeksi saadaan 2,15. Korjauskertoimen käyttö ei kuitenkaan tässä tapauksessa paranna tulosten tarkkuutta laboratorioanalyysiin verrattuna, koska ”virhe” laboratorioanalyysiin verrattuna vaihteli huomattavasti eri näytteissä ja maissa. Korjauskerrointa voisi kuitenkin käytännössä hyödyntää määrittämällä korjauskerroin kullekin maalle erikseen. Jos maan kosteudessa tai orgaanisen aineksen määrässä tapahtuu selviä muutoksia, korjauskerroin olisi kuitenkin syytä tarkistaa tulosten varmistamiseksi.

Lisäksi näytteen käsittelyllä voi olla ratkaiseva merkitys tulosten vertailtavuuden kannalta, kun näytteet jaetaan eri analyysiin (Dexsil 2009). Ensimmäisellä näytteenottokerralla näytteiden homogenisointi tehtiin sekoittamalla. Toisella ja kolmannella näytteenottokerralla homogenisointia tehostettiin seulomalla näytteet. Tämän perusteella olisi oletettavaa, että pikamittausmenetelmillä määri-

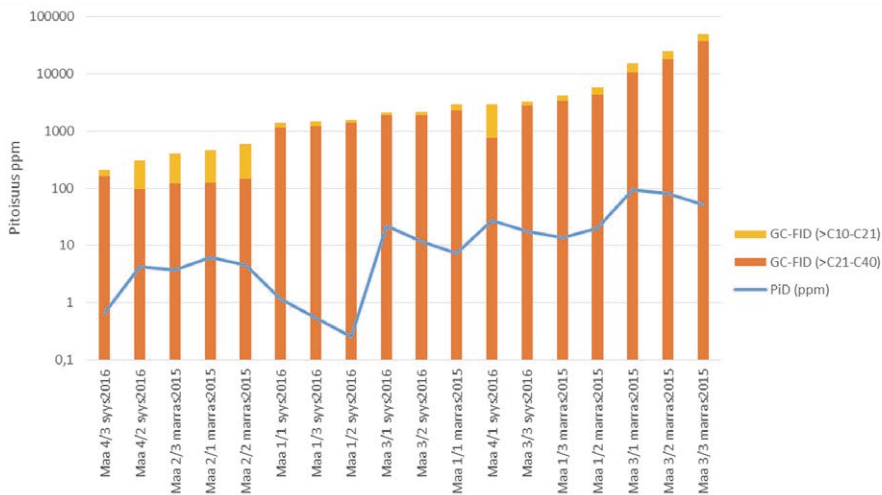
tetyt pitoisuudet olisivat lähempänä laboratorioanalyysien pitoisuuksia toisen ja kolmannen näytteenottokerran näytteissä, mutta selvää yhteyttä tuloksiin ei kuitenkaan havaittu. Korkeissa pitoisuuksissa PetroFLAG-testi tehtiin ohjeiden mukaisesti vain 1 g näytemäärästä. Tämä näytemäärä on hyvin pieni ja entisestään korostaa näytteen homogenisoinnin merkitystä.

PetroFLAG-testin suoritusvaiheessa esim. näyteliuoksen suodattaminen kehitepulloon on tarkkaa. Näytettä pitäisi olla kehitepullon kierteiden alareunaan saakka, mutta käytännössä tässä tuli näytteiden välillä pientä vaihtelua, joka voi vaikuttaa tuloksiin. Myös uuttoaajassa saattoi olla pientä vaihtelua, vaikka aika pyrittiin pitämään ohjeen mukaisena ja samana kaikille näytteille.

Myös laboratoriossa suoritettujen GC-FID-menetelmien välillä on havaittu eroja eri laboratorioiden tuloksien välillä. Merkittävimpiä tuloksiin vaikuttavia tekijöitä ovat uutossa käytetyt liuottimet, uuttoaika, puhdistuksessa käytettävä adsorbentti ja sen määrä sekä näytteen öljypitoisuus. Standardimenetelmien mukauttaminen voi vaikuttaa tuloksiin aiheuttaen yli 200 % tai alle 70 % saantoja. (Saari ym. 2008) Käytetyistä pikamittausmenetelmistä InfraCal-analyysi korreloi standardimenetelmien EPA 1664, ASTM D7066, EPA 413.1 ja EPA 418.1 kanssa (Wilks Enterprise 2013). Tässä työssä laboratorioanalyysijä ei tehty näillä menetelmillä ja menetelmät poikkeavat sekä liuottimen, uuttoaajan että puhdistuksen osalta.

PiD-mittarilla määritetyt pitoisuudet

PiD-mittari havaitsi haihtuvia yhdisteitä kaikissa mitatuissa näytteissä (taulukko 2), vaikka kaasukromatografisissa analyyseissä haihtuvien yhdisteiden pitoisuudet (>C5–C10) olivat pääosin alle määrittämissä tai hyvin pieniä. Pitoisuudet myötäilivät pääosin GC-FID-menetelmällä määritettyjä >C10–C40-pitoisuuksia (kuva 5).



KUVA 5. Maanäytteiden PiD-mittausten tulokset (ppm) GC-FID-menetelmällä määritettyihin hiilivetypitoisuuksiin (mg/kg k.a.) verrattuna.

Kompostoinnin toteutuminen

Kompostoinnin toteutumista voitiin seurata maissa 1 ja 3, jotka olivat PI-MA-kentällä koko seurantajakson ajan. Öljypitoisuudet laskivat seurantajakson aikana. Erityisesti maassa 3 pitoisuudet laskivat vajaassa vuodessa huomattavasti 30 000 mg/kg:sta noin 2500 mg/kg:aan. Kirjallisuuden mukaan biohajoamisen kannalta optimaalinen hiili-typisuhde olisi 1:10, mutta biopuhdistuksessa on käytetty myös suhdetta 1:100, koska myös liiallinen typpi voi estää mikrobitoinnin (Simpanen 2015). Näytemaissa hiili-typisuhde oli 1:10–1:17 maassa 1, 1:48–1:71 maassa 2, 1:26–1:38 maassa 3 ja 1:20 maassa 2.

Johtopäätökset

Öljypitoisuuden määrittämiseen vedestä löydettiin useita jatkuvatoimisia mitausantureita, kannettavia mittalaitteita sekä kenttämittareita, joista voisi olla todellista hyötyä ympäristön monitoroinnissa öljyvahinkotilanteessa. Selvityksessä saatujen tietojen perusteella öljyn mittaamiseen vedestä tarkoitettuja mittalaitteita hyödynnetään enimmäkseen teollisuudessa ja vedenottoamoilla. Esimerkiksi kannettavista mittalaitteista voisi olla hyötyä pelastuslaitoksilla tai ympäristökonsulteilla, mutta mittalaitteet ovat melko kalliita ja niiden hyödynnettävyydestä pitäisi olla enemmän käytännön kokemuksia. Jatkuvatoimisia

mittausantureita voitaisiin hyödyntää enemmän öljyvahinkojen pitkäaikaisessa pitoisuuksien seurannassa sekä ennakoivassa varatutumisessa. Niiden käyttö vaatii kuitenkin asiantuntemusta. Mittauslaitteita tarjoavilla yrityksillä on jo olemassa palveluita, joiden kautta mittalaitteiden hyödyntäminen voi olla helppoa niin teollisuusyrityksille kuin viranomaisillekin. Palveluita ja niiden tunnetuksi tekemistä kannattaa varmasti kehittää jatkossakin.

Pikamittausmenetelmien tärkeimpänä tarkoituksena on yleensä antaa suunta-antava arvio, ylittääkö pitoisuus esimerkiksi tietyn raja-arvon. Metsä-Sairilan jäteasemalla tehdyt käytännön testaukset osoittivat, että PetroFLAG- ja InfraCal-mittareilla saadut tulokset myötäilivät akkreditoidussa laboratoriossa standardimenetelmillä määritettyjä pitoisuuksia. Toisaalta testaukset myös osoittivat hyvin menetelmiin liittyvät epävarmuudet, ja eri menetelmillä määritetyissä pitoisuuksissa oli huomattavia eroja. Tarkkoja pitoisuuksia määritettäessä tulokset onkin aina syytä tarkistaa laboratoriossa. Rutiini ja kokemus auttavat arvioimaan pikamittausmenetelmien sovellettavuutta ja tulosten luotettavuutta erilaisissa olosuhteissa.

InfraCal-analysaattorilla voidaan määrittää öljypitoisuus myös vedestä. Analysaattoria testattiin ÄLYKÖ-hankkeessa esimerkiksi geotuubin läpi suotautuvan veden öljypitoisuuden määrittämisessä. Näissä vesinäytteissä InfraCal-analysaattorilla määritetyt pitoisuudet olivat hyvin lähellä laboratoriossa standardimenetelmillä määritettyjä pitoisuuksia.

LÄHTEET

Arjay Engineering 2014. FluoroCheckppm Oil in Water Monitor. Saatavissa: <http://www.arjayeng.com/fluorocheck.html>. Viitattu 13.1.2017.

Dexsil 2009. PetroFLAG User's Manual. April 1, 2009.

EHP-Tekniikka Oy 2016. EHP-OIL, ONLINE OIL-IN-WATER MONITORING. Esite 24.2.2016.

EHP-Tekniikka Oy 2017. Yrityksen www-sivut. Saatavissa: <http://www.ehp-tekniikka.fi/index.php?p=EHPOIL>. Luettu 13.1.2017.

Fondriest Environmental Inc. 2016. Fundamentals of environmental measurements. Conductivity, Salinity & Total Dissolved Solids. Saatavissa: <http://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/conductivity-salinity-tds/>. Viitattu 14.1.2017.

GWM-Engineering Oy 2017. PetroFLAG-kenttäanalyysointilaitteisto. Saatavissa: <http://www.gwm-engineering.fi/fi/tuoteryhmat/pima-naytteenotto-kenttatestit-ja-analyysointilaitteisto/flag/>. Viitattu 27.1.2017.

International Sensor Technology 2017. Photoionization Detectors. Saatavissa: <http://www.intlsensor.com/pdf/photoionization.pdf>. Viitattu 13.1.2017.

International Water Institute 2011. Conductivity. Saatavissa: <http://www.iwinst.org/wp-content/uploads/2012/04/Conductivity-what-is-it.pdf>. Viitattu 14.1.2017.

ITRC (The Interstate Technology & Regulatory Council) 2011. Biofuels: Release Prevention, Environmental Behavior and Remediation. BIOFUELS-1. The Interstate Technology & Regulatory Council, Biofuels Team. Washington D.C.

Kaiponen, Lasse 2017. Henkilökohtainen tiedonanto 21.5.2015 ja 17.1.2017. Asiakaspalvelu- ja laatuinsinööri. EHP-tekniikka Oy.

Kiiriikki, Mikko & Lindfors Antti 2017. Henkilökohtainen tiedonanto 21.5.2017 ja 18.1.2017. Luode Consulting Oy.

Kinnunen, Marjut & Piirainen, Eero 2016. Henkilökohtainen tiedonanto 29.1.2016. Asiakaspalvelupäällikkö & ympäristöpäällikkö. Kainuun jätehuollon kuntayhtymä, Ekoympäristö.

Lepistö, Westerholm, Schultz, Uljas, Björklöf 2014. Hyvät käytännöt pilaantuneiden maiden kenttätutkimuksissa. Suomi: Suomen ympäristökeskus.

Malk, Vuokko, Sormunen, Arto, Leinonen, Juha, Tanskanen, Maija & Kela, Anu 2015. Pikamittausmenetelmät öljyvahinkojen monitoroinnissa. Artikkeliteoksessa Materiaalit ja ympäristöturvallisuus. Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Vuosijulkaisu 2015. Sivut 154–161. ISBN 978-951-588-532-6.

Pasonen, Tommi 2015. Henkilökohtainen tiedonanto 25.5.2015. Aluemyyntipäällikkö. Labkotec Oy.

Polet, Jouni 2017. Henkilökohtainen tiedonanto 11.6.2015 ja 16.1.2017. Sales Engineer. Suomi Analytics Oy.

Reeves, Greg 2000. Understanding and Monitoring Hydrocarbons in Water. Canada: Arjay engineering ltd.

RS Dynamics 2004. Ecoprobe 5 Operator's Manual.

Saari, Eija & Peräkämä, Paavo & Jalonen, Jorma 2008: Evaluating the impact of extraction and cleanup parameters on the yield of total petroleum hydrocarbons in soil. Analytical and Bioanalytical Chemistry 392 (6): 1231-1240. DOI. 10.1007/s00216-008-2361-9.

Simpanen, Suvi 2015. Henkilökohtainen tiedonanto 19.11.2015. Tutkija. Helsingin yliopisto.

Sorbisense A/S 2017. Yrityksen www-sivut. Saatavissa: http://www.sorbisense.com/index.php?action=text_pages_show&id=40&menu=23. Viitattu 13.1.2017.

Spectro Scientific 2016. InfraCal 2 analyzers. Saatavissa: <http://www.spectrosci.com/infra-cal-2-analyzers/>. Viitattu 13.1.2017.

Viljanen, Ville, Laurila, Niina & Ranta-Korhonen, Tuija 2015. Vesistön monitorointia YSI-antureilla. Materiaalit ja ympäristöturvallisuus. Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä. Vuosijulkaisu 2015. Toim. Hanne Soininen & Kari Dufva & Kati Kontinen. Mikkelin ammattikorkeakoulu.

Wilks Enterprise 2013. InfraCal 2 Analyzer. Model ATR-SP. User's Guide. Rev. 1.5, October 2013.

Yang, Ming 2011. Measurement of Oil in Produced Water. Teoksessa Lee, K & Neff, J (eds.) Produced Water. Springer Science + Business Media, LLC 2011.

YRITYKSILLE UUTTA TIETOA YMPÄRISTÖVAHINKOJEN RISKEISTÄ JA TORJUNNASTA

Vuokko Malk & Hanne Soininen & Jyri Silmäri

ÄLYKÖ-hankkeella syvennettiin Itä-Suomen alueen osaamista ympäristövahinkojen torjunnassa. Riskikartoituksella, mallintamisella ja älykkäällä ympäristömonitoroinnilla luotiin puitteet ympäristövahinkojen ennaltaehkäisemiseksi ja ympäristökuormituksen vähentämiseksi. Keskeisiin riskikohteisiin luotujen öljynleviämismallien avulla voidaan harjoitella toimenpiteitä vahinkotilanteessa sekä todentaa kerättävien jätemassojen mahdollista määrää. Hankkeen tuloksena saatiin myös tietoa eri käsittelymenetelmien soveltuvuudesta öljyllä pilaantuneiden maa- ja vesimassojen käsittelyssä. Jätehuoltoyhtiöiden kanssa tehty kartoitus Itä-Suomen jäteologiikasta ja vastaanottoalueista ja jäteologiikan optimoinnista toi esiin kehittämistarpeita ja vaihtoehtoja resurssitehokkuuden lisäämiseksi. Konkreettisenä tuloksena saatiin Saimaan syväväylän alueelle laaja ja monikäyttöinen kartta-aineisto jäteologiikan hallintaan. Kartta-aineisto tukee varautumisen suunnittelua, öljyntorjuntaharjoituksia ja erityisesti öljyntorjuntatilanteita.

Ympäristövahinkojen torjuntaan, riskienarviointiin ja kunnostukseen kytkeytyy monenlaista yritystoimintaa. Hankkeessa tehtiin tunnetuksi yritysten palveluita, joiden avulla ympäristöriskien hallintaa voidaan kehittää entistä älykkäämmäksi. Hankkeessa esimerkiksi kasvatettiin osaamista kansainvälisillä markkinoilla olevien pikamittausmenetelmien soveltuvuudesta öljyvuojojen havaitsemiseen ja ympäristön monitorointiin Suomen olosuhteissa. Hankkeessa selvitettiin myös ICT-tekniikan sovellusmahdollisuuksia öljyvahinkojätteen logistiikassa. Tehokkaammat monitorointi- ja seurantajärjestelmät minimoivat ympäris-

tövahingosta aiheutuvaa haittaa mahdollistamalla nopeamman reagoinnin sekä täsmälliset ja kustannustehokkaat torjuntatoimenpiteet. Lisäksi ne tehostavat yhteistyötä keskitetyn ja avoimen tiedonvaihdon kautta. Hankkeen tulokset mahdollistavat tekniikoiden entistä laajemman käyttöönoton. Tuotteiden ja palveluiden testauksella ja tunnetuksi tekemisellä on osaltaan voitu edesauttaa yritysten liiketoimintaa.

Hankkeen avulla voitiin myös nostaa esiin uusia kehityskohteita, joihin yritysten kannattaisi jatkossa kehittää palveluitaan ja tuoteinnovaatioitaan. Esimerkiksi demonstraatiokokeiden tuloksena tuotettu uusi tutkimustieto bioöljyn ja -polttoaineiden sekä kevyen polttoöljyn käyttäytymisestä ja torjunnasta vahinkotilanteessa antaa yrityksille eväitä kehittää jatkossa omia tuotteitaan ja asiantuntemustaan näille polttoaineille. Tätä tuotekehitys- ja testaustyötä aloitettiin jo hankkeen aikana. Alusten miehistölle ja teollisuuden vesilaitokselle kehitetyt toimintamallit ja ohjeistukset onnettomuustilanteiden ensitoimenpiteistä lisäävät yritystoiminnan ympäristöturvallisuutta.

Hankkeessa tehtiin yhteistyötä muun muassa Metsäsairila Oy:n, Meritaito Oy:n, Knorring Oy AB:n, Fortum Oyj:n, Neste Oyj:n ja Etelä-Savon Energia Oy:n kanssa. Hankkeen tuloksista hyötyvät kaikki pilaantuneita maita käsittelevät yritykset, insinööritoimistot sekä riskinhallintatoimia ja -päätöksiä tekevät henkilöt. Hanke on myös tukenut yritysten, tutkimuslaitosten ja viranomaisten yhteistyötä sekä varautumisen kustannustehokkuutta. Hanke mahdollistaa yhteisen näkemyksen luomisen ja todentamisen hankkeen tuoman materiaalin ja mallien kautta. Tulokset ovat hyödynnettävissä Suomen laajuisesti ja myös kansainvälisesti samantyyppisissä vesistöissä ja ilmasto-olosuhteissa.

