

SAIMAAN VESISTÖN ÖLJYVAHINKO- SKENAARIOIDEN MALLINTAMINEN

Tutkimusraportti Älykö-hankkeessa tehdyistä Saimaan
alueen öljyn leviämismallinnuksista vedessä

Jouni-Juhani Häkkinen



SAIMAAN VESISTÖN ÖLJYVAHINKO- SKENAARIOIDEN MALLINTAMINEN

Tutkimusraportti Älykö-hankkeessa tehdyistä Saimaan
alueen öljyn leviämismallinnuksista vedessä

Jouni-Juhani Häkkinen
Projektipäällikkö, Kyamk



Kotka 2016

Kyminlaakson ammattikorkeakoulun julkaisuja

Sarja B. Tutkimuksia ja raportteja nro 158

Julkaisija: Kymenlaakson ammattikorkeakoulu 2016

Taitto ja paino: Grano Oy 2016

ISBN (NID.): 978-952-306-167-5

ISBN (PDF): 978-952-306-168-2

ISSN: (e-versio): 1797-5972

Lyhenteet ja termit

HELCOM	Itämeren suojelukomissio. Itämeren alueen merellisen ympäristön suojelusopimuksen allekirjoittajavaltioiden perustama hallitusten välinen järjestö.
Seatrack Web	Ruotsin ilmatieteen laitoksen SMHI:n kehittämä www-sovellus öljyn leviämisen laskentaan merialueilla
SpillMod	Venäjällä kehitetty US Coast Guardin/Transas Marinen simulaatiolaskentaan perustuva hydrodynaaminen öljyn leviämisen mallinnusjärjestelmä.
NOAA	Yhdysvaltain liittovaltion sään ja merien tutkimuslaitos.
Gnome	NOAA:n kehittämä Euler-Lagrangen dynaamiseen trajektorimalliin perustuva öljyn leviämisen mallinnusohjelmisto.
Syke	Suomen Ympäristökeskus
BORIS	Syken ylläpitämä ympäristövahinkojen torjuntaviranomaisten käyttöön tarkoitettu Internet-pohjainen tilannekuvajärjestelmä.
ADIOS2	NOAA:n julkaisema erilaisten öljylaatujen ominaisuuksien tietokanta
QGIS	Quantum Gis. Ilmainen paikkatieto-ohjelmisto.
Konveksipeite, konveksianalyysi	Geometrinen operaatio, jossa määritetään pienin mahdollinen pinta-ala joka sisältää kaikki pistejoukon pisteet. Konveksiviiva on em. pinta-alan reunaviiva.

SISÄLTÖ

1. Johdanto	8
2. Mallinnuksen tavoite	10
3. Mallinnuksessa käytetty lähdeaineisto	11
3.1 Pintavirtaukset ja virtausmäärät	11
3.2 Tuulitiedot	12
3.3 Öljyn muuntautuminen vedessä eli säästyminen	13
4. Menetelmä ja mallinnuksessa käytetyt parametrit	14
4.1 Virtaustiedot	14
4.2 Tuulisuustiedot	16
4.3 Öljypäästön määrä ja laatu	17
4.4 Diffuusiokerroin	17
4.5 Uudelleenhuuhtoutumisaika	18
4.6 Öljypäästön alku- ja loppuajankohta	18
4.7 Öljypäästön sijainti	19
4.8 Mallin kesto-aika ja aika-askel	19
4.9 Mallin öljypisteiden määrä.	19
4.10 Mallinnuksessa käytetyt pohjakartat	19

5. Mallinnuksessa saatavien tulosten käsittely	20
5.1 Leviämismallin tietojen tiedostomuoto	21
5.2 Leviämismallinnuksen käsittely paikkatieto-ohjelmistolla	22
6. Mallinnuskohteet	24
6.1 Vekaransalmi, Sulkava - Öljypäästö alusonnettomuuden seurauksena.	26
6.2 Konnuksen kanava, Leppävirta - Öljypäästö alusonnettomuuden seurauksena.	27
6.3 Laitaatsalmen syväväylä, Savonlinna - Öljypäästö alusonnettomuuden seurauksena.	28
6.4 Teollisuuslaitos, Uimaharju, Joensuu - Öljypäästö maalta veteen	29
6.5 Öljyvarasto, Kuopio - Öljypäästö maalta veteen	30
7. Mallinnuksen tuloksia	32
7.1 Vekaransalmi, Sulkava	33
7.2 Konnuksen kanava, Leppävirta	38
7.3 Laitaatsalmi, Savonlinna	39
7.4 Kelloniemi, Kuopio	41
7.4.1 Kuopio, skenaario 1 (perusmalli)	43
7.4.2 Kuopio, skenaariot 2 (itätuuli) ja 3 (länsituuli)	46
7.4.3 Kuopio, skenaariot 4 (etelätuuli) ja 5 (pohjoistuuli)	47
7.5 Uimaharju, Joensuu	48

8. Yhteenveto ja päätelmiä	51
9. Liitteet	52
11. Lähteet	66

I. JOHDANTO

Tämä tutkimusraportti 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). Hanketta rahoittavat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan unionin aluekehitysrahastosta, Öljysuojarahasto, Etelä-Savon ja Pohjois-Karjalan pelastuslaitokset, Metsäsairila Oy ja Meritaito Oy. Hanke alkoi 1.1.2015 ja päättyi 31.12.2016.

Kyamkin ja Mamkin yhteisessä ympäristövahinkojen torjuntaa kehittävässä Älykö-hankkeessa tutkittiin ympäristöriskejä Saimaan vesistöalueella. Saimaan vesistöalueen ympäristövahinkojen ennakointia varten kerättiin tietoja Saimaan syväväylän laivaonnettomuusriskeistä sekä maa-alueiden riskikohteista. Riskianalysissä havaituista kohonneen onnettomuusriskin alueista valittiin kuusi onnettomuuspaikkaa, joista viidessä tehtiin öljyn leviämismallinnus 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 raportissa käsitellään vain vesistöalueelle tehtyjä leviämismallinnuksia.

Suomen vesistöalueilla on tehty öljyn leviämismalleja mm. Suomen ympäristökeskuksen toimesta. Suomenlahden leviämismallinnuksista on saatavana julkinen raportti¹. Tämän lisäksi öljyntorjuntaan kytkeytyneiden viranomaisten käytössä olevaan BORIS-järjestelmään² 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. SpillMod on Sergei Ovsienkon kehittämä MapInfoon linkitetty sovellus³ ja Seatrack Web on Ruotsin ilmatieteen laitoksen SMHI:n kehittämä www-sovellus⁴. Seatrack Web on myös HELCOMin käyttämä malli⁵.

Älykö-hankkeen käyttöön valittiin USA:n liittovaltion meri- ja ilmakehän ympäristönsuojeluvirasto NOAA:n käyttämä GNOME-mallinnusohjelma⁶. 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 mallin-

netaan annettujen rajatietojen määrittämällä alueella, joten mikä tahansa rantaviivan rajoittama vesialue voidaan mallintaa. Ohjelma käyttää leviämislaskentaan Euler-Lagrange-tyyppistä laskentamallia⁷ ja eroaa tältä osin esimerkiksi SpillModin käyttämästä hydrodynaamisesta mallinnustavasta⁸. 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.

2. 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 parametreja⁹. Tässä tutkimusraportissa 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.

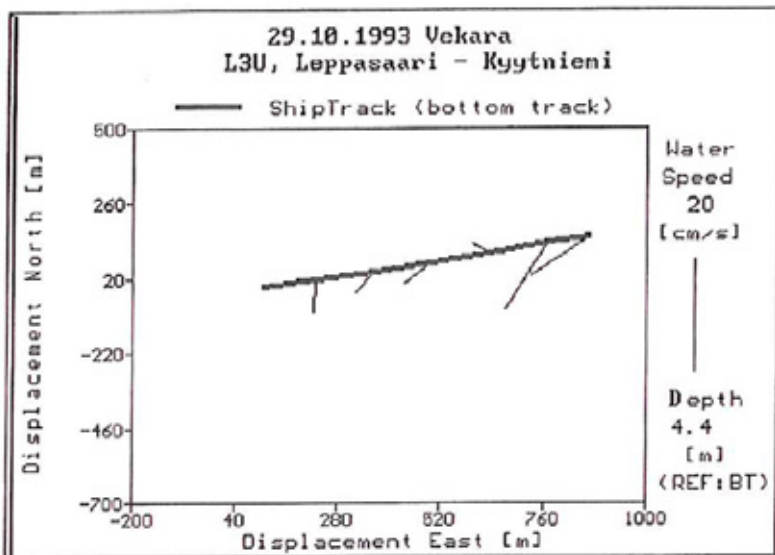
Älykö-hankkeessa tehtyjen mallinnuksien toimintatapa oli luoda riskipaikalle sijoittuva kuvitteellinen ympäristöonnettomuusskenaario ja tutkia sen johdosta ympäristöön päässeen öljyn leviämistä. Öljyn leviäminen pyrittiin arvioimaan matemaattisen leviämismallinnusohjelmiston avulla. Leviämismallinnuksella pyrittiin selvittämään öljyn kulkeutumisreittejä ja kulkeutumismisnopeuksia. Mallinnuksessa pyrittiin myös selvittämään kulkeutumisetäisyyksiä sekä rannoille ajautuneen öljyn määriä. Tärkeitä tutkimuskysymyksiä olivat myös öljyn kulkeutumisen etäisin piste sekä erilaisten ympäristöolosuhteiden vaikutus kulkeutumiseen.

3. MALLINNUKSESSA KÄYTETTY LÄHDEAINEISTO

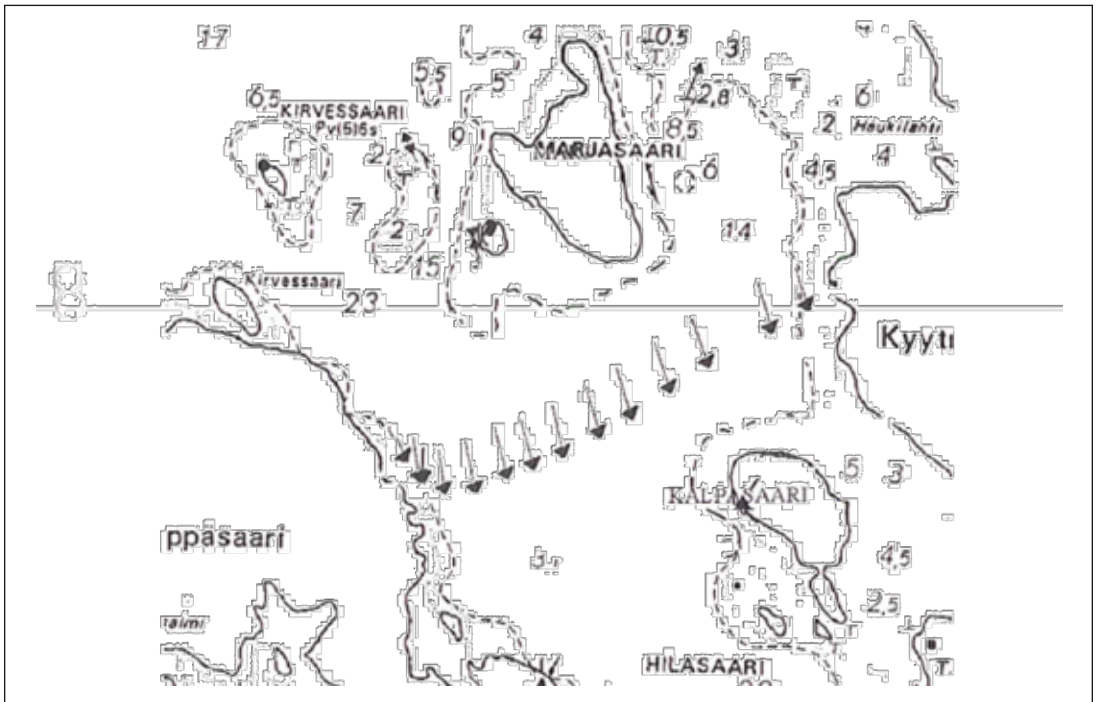
3.1 Pintavirtaukset ja virtausmäärät

Mallinnuksen tekemiseen oli käytettävissä Saimaan alueella tehtyjen pintavirtausmittauksien raportteja 1990-luvulta. Mittaustiedot saatiin Etelä-Savon ELY-keskukselta paperimuodossa¹⁰. Mittausraporttien tietolähteenä oli käytetty 1993, 1996 ja 1997 RV Muikun tekemiä pintavirtausmittauksista saatuja tuloksia, jotka oli jälkikäteen muutettu pintavirtausta kuvaaviksi vektorikuvaajiksi. 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.



Kuva 2. Esimerkki mittausten perusteella tehdystä vektorikuvaajasta. Leppäsaari–Kyytiemi 29.10.1993.

Suomen ympäristökeskus ylläpitää www-palvelua, josta on saatavana Suomen järvialueiden virtaamatietoja. Virtaamatietoja on saatavana sekä reaaliaikaisesti että tilastomuodossa¹¹. Järvialueiden virtauksia on raportoitu myös Hydrologisissa vuosikirjoissa¹². 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 Kyrönsalmen pysyvää virtausmittausjärjestelmää¹³, Suurjärviseminaarin (2010)¹⁴ aineistoa, Pielisjoen koskikartoitusta¹⁵, Vesirakennushallituksen julkaisua vuodelta 1976¹⁶ sekä asiantuntijoilta saatuja lausuntoja ja aineistoja¹⁷. Edellä mainituista tietolähteistä on käytetty virtausmäärä- ja virtausnopeustietoja mallinnuksessa käyttökelpoisilta ja muuten soveltuvilta osiltaan.

3.2 Tuulitiedot

Saimaan alueen tuulisuustiedot on saatu Suomen tuuliatlaksista¹⁸ sekä Ilmatieteen laitoksen toimittamista sääasemien havainnoista¹⁹. 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 virtaus²⁰. Joissakin mallinnettavissa sijainneissa tehty useita malleja erilaisilla tuulen arvoilla. Yksittäisessä mallinnuksessa on kuitenkin käytetty samaa tuulen suuntaa ja nopeutta koko mallin keston ajan.

3.3 Öljyn muuntautuminen vedessä eli säistyminen

Öljyn päästyä veteen se leviää ja kulkeutuu^{21,22}. Tämän lisäksi öljy osittain haihtuu ja jäljelle jäänyt osuus muodostaa vedessä seoksen, jonka ominaisuudet poikkeavat alkuperäisen öljyn ominaisuuksista. Öljyn muuntumisen ilmiöitä on useita, joita kutsutaan yleisnimellä säistyminen. Öljyn säistymisen mekanismit ovat joki- ja järivedessä erilaiset kuin merivedessä²³. Osittain tämä johtuu veden suola- ja humuspitoisuudesta ja osittain meri- ja järvialueiden erilaisista ympäristöominaisuuksista (tuulet, aaltoilu ja veden sekoittumistilanteet)²⁴. Järvi- ja jokivesistöissä tapahtuvia säistymisen mekanismeja on tutkittu vain vähän^{25, 26} 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 haihtumiskäyriä²⁷.

4. MENETELMÄ JA MALLINNUKSESSA KÄYTETYT PARAMETRIT

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

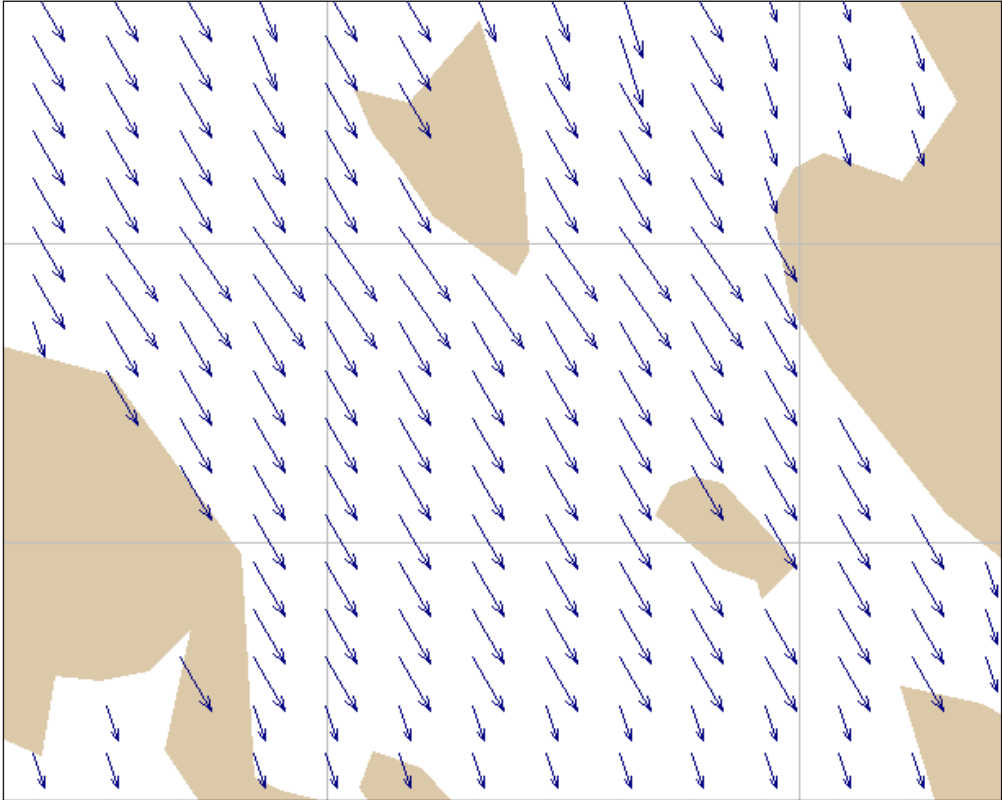
4.1 Virtaustiedot

Leviämismallin tärkein parametri on veden virtaus. Veden pinnalla kelluvan öljyn tapauksessa kyseessä ovat pintavirtaukset²⁸. 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-mallinnusohjelmassa 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-mallinnusohjelman omaan tiedostomuotoon. Tämä johtaa siihen, että tie-

dostoja ei voida luoda automaattisesti, vaan ne on editoitava itse. Kuvassa 3 on esitetty esimerkki virtauskenttien graafisesta esitysmuodosta Gnome-mallinnusohjelmassa.

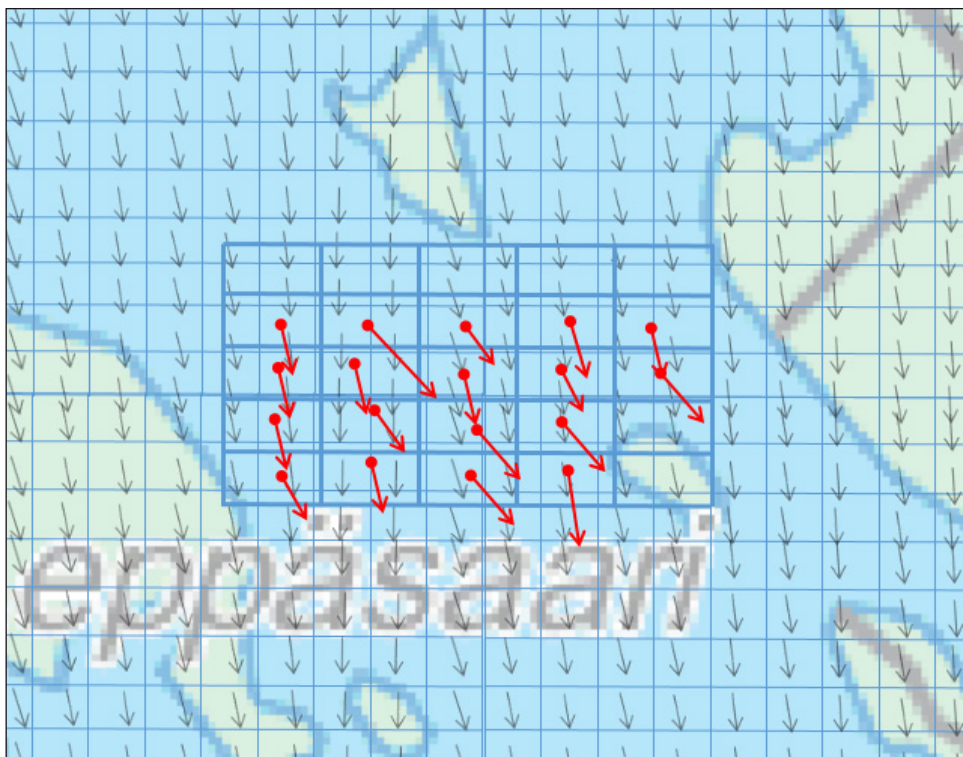


Kuva 3. Kuvissa 1 ja 2 esitetyn Vekaransalmen alapuolisen Leppäsaaren ja Kyytniemen välisen salmen virtausten muunnos Gnome-mallinnusohjelman käyttämään vektorimuotoon. Kuvakaappaus.

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 pääpiirteisään saman kokoisia. Mallinnuksen laskennassa pintavirtausalkioista 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 alkioiden 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 vektori yhteenlasku. Tarkentavissa virtaustietohiloissa on perusvirtaustiedoista poiketen tarkoituksenmukaista käyttää useita resoluutiota riippuen virtaustiedosta ja salmien, kapeikkojen yms. sijainnista. Kuvassa 4 on havainnollistettu päällekkäisiä vektori hiloja 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 vektori hilan havainnollistamisen takia. Virtaustiedot syötetään Gnome-mallinnusohjelmalle erillisinä tiedostoina.



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

4.2 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 muodosta-

maa katvetta. Tämä johtunee siitä, että ohjelma on alun perin luotu suuremmille vesialueille, joissa tuulen pyyhkäisymatkat 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 turbulentsia. Tästä syystä mallinnuksessa 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 ilmion vaikutus voi olla jopa 10–15 senttimetriä ja heilahtelu voi jatkua muutamia päiviä^{29 30}. Mallinnuksessa ei ole huomioitu tätä ilmiötä, sillä ominaisheilahteluiden vaikutus kulkeutumiseen on todettu merkityksettömäksi. Heilahteluista johtuva liike on luonteeltaan edestakaista, vaikutukseltaan sekoittavaa ja siten pysyvän siirtymisen, kuten vuorokautisen kulkeutumisen kannalta merkityksetöntä.³¹

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

4.3 Öljypäästön määrä ja laatu

Öljypäästön laatu voidaan valita suppeasta joukosta vaihtoehtoja. Neljä mallia viidestä tehtiin käyttämällä laatuvalintana dieselöljyä ja yksi käyttämällä yleistä (generic) öljylaatua. Tämä poikkeus perustuu Uimaharjun mallinnuksen peruslähtökohtaan, jossa mallinnettava öljyalaatu on raskasta polttoöljyä, mutta Gnome-ohjelman vaihtoehdoissa ei vastaavaa ole. Oletettavasti syynä tähän on se, että raskaan polttoöljyn vesiseoksessa polttoöljy painuu vettä lähellä olevan tiheydensä³² ja suuren viskositeettinsa takia pinnan alapuolelle, eikä muodosta vastaavaa kelluvaa öljylautta kuin muut öljyalaadut.

Öljylle voidaan valita myös sen säästymisen vaihe (eli ”ikä”) vesistöön joutumisen hetkellä. Tätä mahdollisuutta on käytetty Kuopion mallissa. Muissa malleissa öljy joutuu vesistöön suoraan säiliöstä eikä ole näin ollen päästöhetskellä säästynyt.

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 mallinnuksissa öljypäästön määrä ilmoitettiin tonneina.

4.4 Diffuusiokerroin

Öljy leviää veden liikkeen vaikutuksesta myös muuhun kuin veden virtauksen pääsuuntaan. Pääasiassa tämä tapahtuu aaltoilun, Langmuir-virtausten^{33 34} ja pintaveden lämpötilojen alueellisten vaihteluiden³⁵ aiheuttaman turbulenssin vaikutuksesta. Myös edellä kuvatun seiche-ilmion aihe-

uttama veden lämpötilakerrostumien sekoittuminen aiheuttaa veden kulkeutumista satunnaiseen suuntaan³⁶. Näiden ilmiöiden vaikutusta öljyn leviämiseen kuvataan diffuusiokerroimeksi nimetyllä parametrilla*. Diffuusiokerroin on aaltoilun kautta voimakkaasti kytköksissä tuulen voimakkuuteen. Koska Gnome-mallinnusohjelman laskentatapa tuulen vaikutukselle on jossakin määrin järvalueelle sopimaton, saattaa myös diffuusiokerroimen yksinkertainen kytkentä pelkkään aaltoilun vaikutukseen johtaa vääristyneisiin lopputuloksiin. Tämän takia diffuusiokerroimen arvoille käytettiin tapauskohtaisesti sovitettuja arvoja sen sijaan että ne olisi johdettu suoraan tuulen ominaisuuksista. Diffuusiokerroimen arvot valittiin yleisesti ottaen verrattain korkeiksi, koska Saimaalla yleisen rikkonaisen rannanmuodon ja suurien syvyysvaihteluiden arveltiin tuottavan verrattain voimakasta turbulenssia.

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

4.5 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. Uudelleenhuuhtoutumisaian 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 uudelleenhuuhtoutumisaian 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.

4.6 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.

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

4.7 Öljypäästön sijainti

Gnome-mallinnusohjelmalle voidaan antaa parametrina joko paikallaan pysyvä pistemäinen tai ajan myötä liikkuva viimamainen 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.

4.8 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.

4.9 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.

4.10 Mallinnuksessa käytetyt pohjakartat

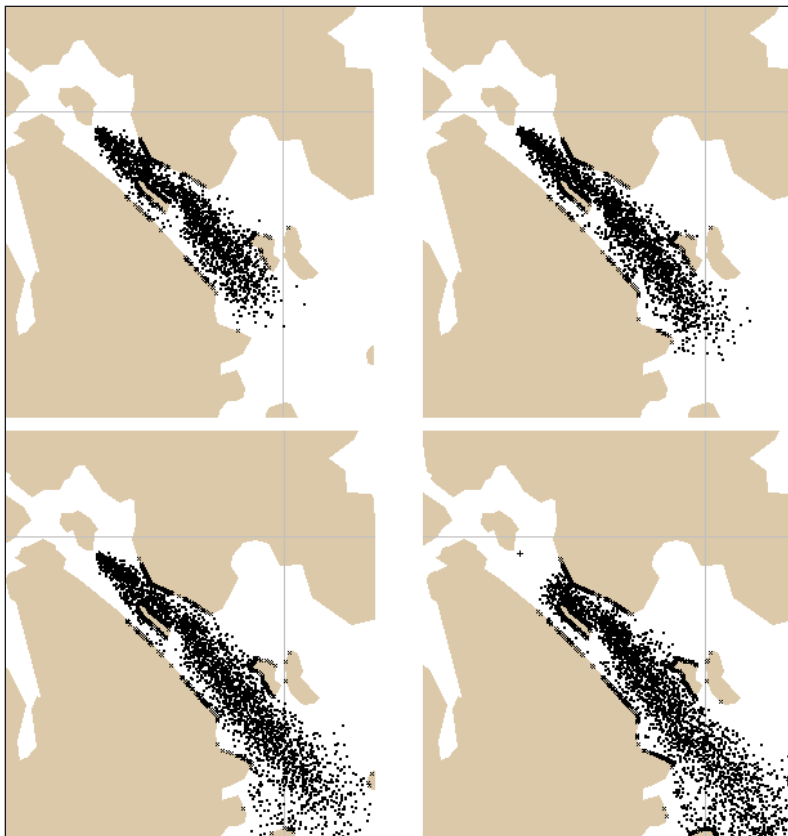
Gnome-mallinnusohjelmassa voidaan käyttää maailman rannikoista saatavana olevia karttapohjia GOODS-palvelun kautta³⁷. Valitettavasti palvelussa ei ole käyttökelpoisia Suomen sisävesien karttoja. Tästä syystä mallinnettavien alueiden maa- ja vesirajat tuotettiin erikseen QGIS-ohjelmaa käyttäen ja tallennettiin Gnome-ohjelman käyttämään Atlas BNA - formaattiin³⁸. 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 kerrollaan yksi karttapohja.

5. 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. Ruutukaappaus.

5.1 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-askelen 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 karttanäkymään millä tahansa paikkatieto-ohjelmalla. Taulukkomuotoista koostetiedostoa voi käsitellä myös tietokanta- tai taulukkolaskentaohjelmilla.

Paikkatietojen tiedostot koko mallin ajalta muodostavat valitun aika-askelen (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 analyysejä. Tässä raportissa 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	2014-04-27 00:00

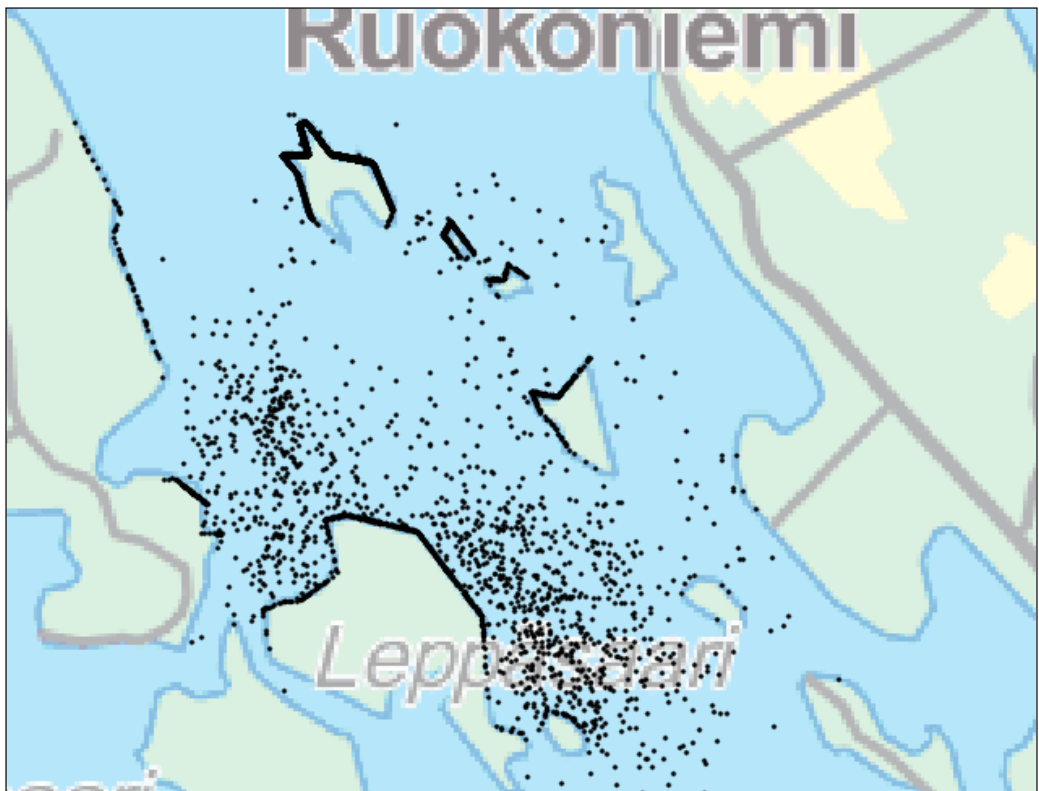
5.2 Leviämismallinnuksen käsittely paikkatieto-ohjelmistolla

Leviämismallin paikkatietotiedostot voidaan avata käyttämällä paikkatieto-ohjelmistoa. Yleisesti käytössä olevia paikkatieto-ohjelmistoja ovat ArcGis³⁹, MapInfo⁴⁰ ja Quantum Gis⁴¹ (eli Qgis). Tässä työssä käytettiin maksutonta Qgis-ohjelmistoa.

Qgis-ohjelmaan ladattiin Maanmittauslaitoksen avoimien aineiston karttapalvelusta saatavia karttapohjia ja ilmakuvia⁴², Liikenneviraston väyläkarttoja ja muita aineistoja⁴³ sekä Saimaan alueen vesistö- ja maa-alueiden karttoja ja muita paikkatietoja, jotka oli ladattu Tieteen tietotekniikan keskuksen ylläpitämästä Paltuli spatial data - palvelusta⁴⁴.

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 ilmakuvaan tai muuhun paikkatietoa hyödyntävään ohjelmistoon.



Kuva 6. Esimerkki Qgis-karttaohjelmaan syötetystä leviämismallista. Kuvakaappaus.

Qgis-karttaohjelmalla on mahdollisuus tuottaa kuvasarjoja tai animaatiojaksuja aikaindeksoiduista karttatasotiedoista. Tähän on käytössä erillinen liitännäisohjelma Timemanager⁴⁵. Tässä raportissa esitetyt Qgis-ohjelman kuvakaappaukset ovat pääosin peräisin animaatioliitännäisen tuottamista kuvasarjoista. Kuvakaappauksissa olevat öljyn mallinnuspisteet ovat havainnollisuuden takia voimakkaasti liioiteltuja.

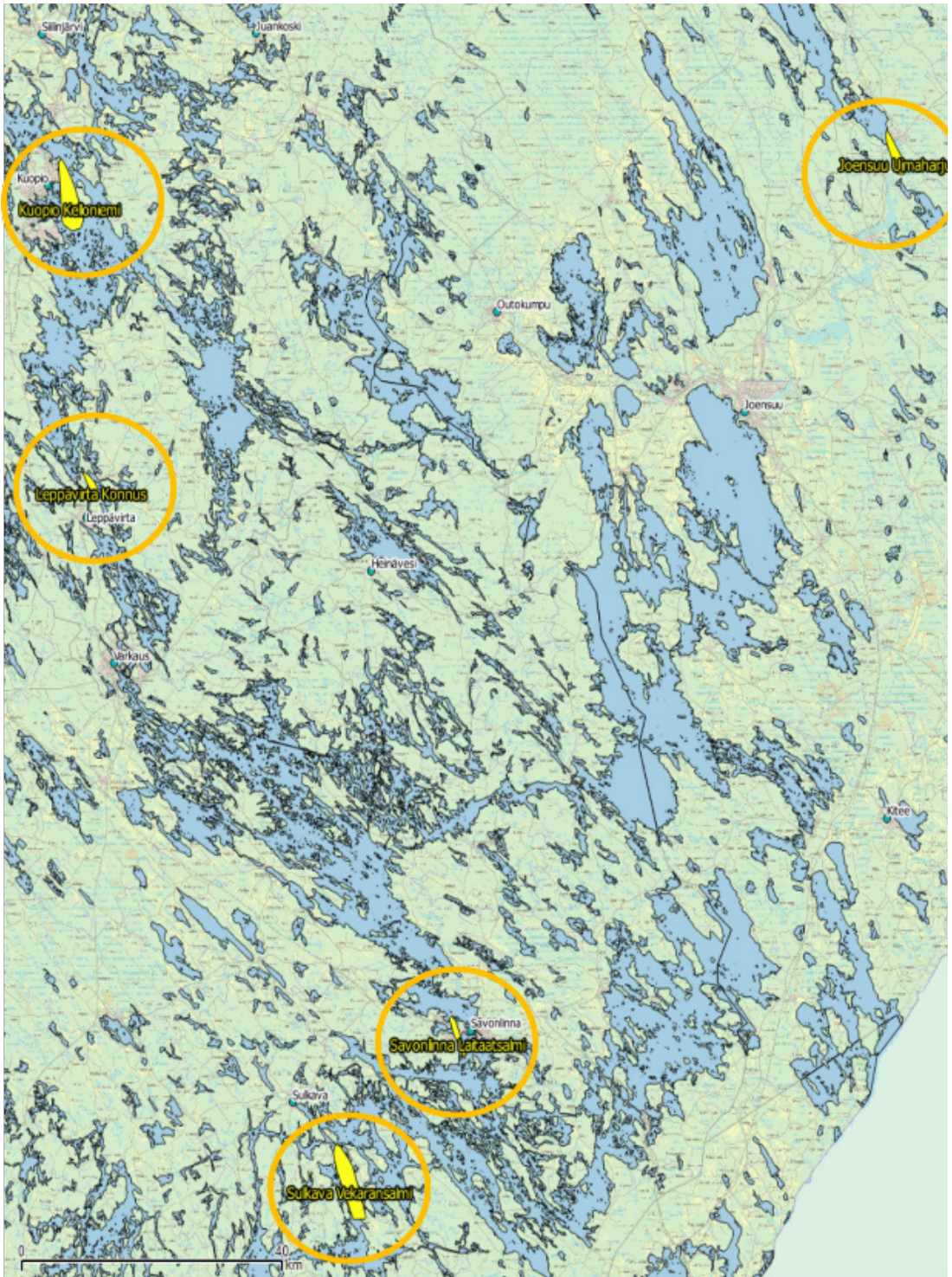
6. MALLINNUSKOHTEET

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 riskianalyyseihin, mutta skenaariomallinnuksia Etelä-Karjalan maakuntaan ei tehty. Mallinnusten paikat kartalla on esitetty kuvassa 7.

Hankkeessa pääosa mallinnoista kuvasi alusonnottomuuden seurauksena vesistöön päässeen öljyn leviämistä. Alusöljyvahinkomallinnoista 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 raportissa ei käsitellä.

Alusöljyvahinkojen mallinnuskohteista kaksi sijoittuu Saimaan syväväylän tunnetuille riskialueille⁴⁶. 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 2019⁴⁷.

Teollisuuslaitoksen ja öljyvaraston valinnat mallinnuskohteiksi perustuvat laitosten toiminnan hyvin tuntevien asiantuntijoiden ja viranomaisten suositukseen. 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.



Kuva 7. Leviämismallinnusten sijainti kartalla.

6.1 Vekaransalmi, Sulkava - Öljypäästö alusjonnettomuuden seurauksena.

Skenaariossa pohjoisesta Vekaransalmeen tullut rahtialus menettää ohjailukykynsä, 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 8 mukaisesti.



Kuva 8. Vekaransalmen skenaarion alkutilanne.

Skenaario on sijoitettu riskianalyysin perusteella valittuun todennäköiseen onnettomuusajankohtaan ja -paikkaan. Saimaan syväväylä kulkee Vekaransalmissa Sulkavalla kapeassa ja voimakkaasti virtaavassa salmessa. Vekaransalmissa 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.

6.2 Konnuksen kanava, Leppävirta - Öljyväistö alusnettomuuden 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 9 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.



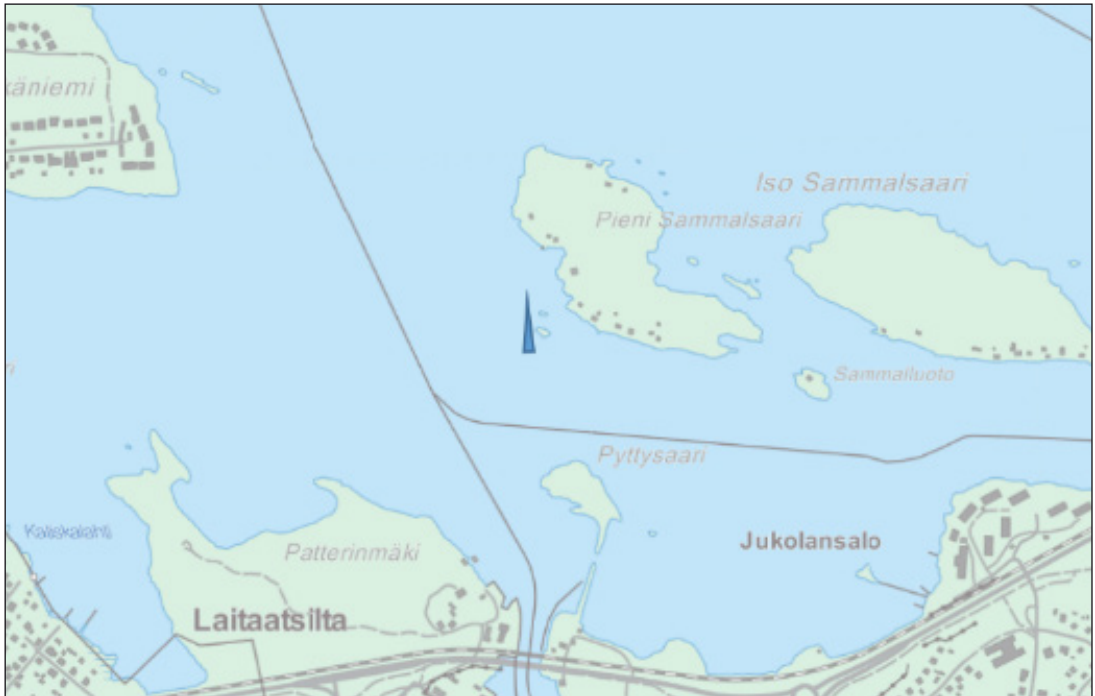
Kuva 9. Konnuksen kanavan skenaarion alkutilanne.

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.

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

6.3 Laitaatsalmen syväväylä, Savonlinna - Öljypäästö alussonnettomuuden seurauksena.

Skenaariossa Savonlinnan uuden syväväylän linjausta⁴⁸ 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 10). Aluksen pohja ja kylki saavat repeämän kiviin. Laivalla ei tapahdu henkilövahinkoja eikä se ole uppoamisvaarassa. Öljyvuoto on voimakasta.



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

6.4 Teollisuuslaitos, Uimaharju, Joensuu - Öljypäästö maalta veteen

Skenaariossa teollisuuslaitoksella tapahtuu tarkemmin määrittelemätön onnettomuustilanne. Varajärjestelmien pettäminen voimakkaiden vesisateiden aikana johtaa öljy-vesiseoksen pääsemiseen sadevesiviemäreiden kautta vesistöön. Öljyn leviämispiste on esitetty kuvassa 11. Öljy on tyypiltään teollisuuslaitoksen voimalaitoksessa käytettävää raskasta polttoöljyä, joka on sekoittunut sadeveden poistojärjestelmissä veteen ja muihin epäpuhtauksiin. Muista malleista poiketen Uimaharjun mallissa käytetään teoreettista laskentaa säästymättömän öljyn leviämisen mallinnukseen. Syynä tähän on se, että valtaosa laitoksella varastoidusta polttoaineesta on raskasta polttoöljyä, josta ei voida tehdä yksiselitteistä veden pinnalla kulkeutuvaa mallinnusta.

Päästö vesistöön tapahtuu teollisuuslaitoksen pohjoisosassa olevan laiturin alla kulkevan sadevesiviemärin edustalla. Laitoksella ei tapahdu räjähdystä, tulipaloa eikä henkilövahinkoja.



Kuva 11. Uimaharjun skenariomallin öljypäästön leviämispiste.

Öljypäästön kokonaismäärä on 10 tonnia, josta muodostuu vesistöön kulkeutuvaa öljy-vesiseosta noin 20 tonnia.

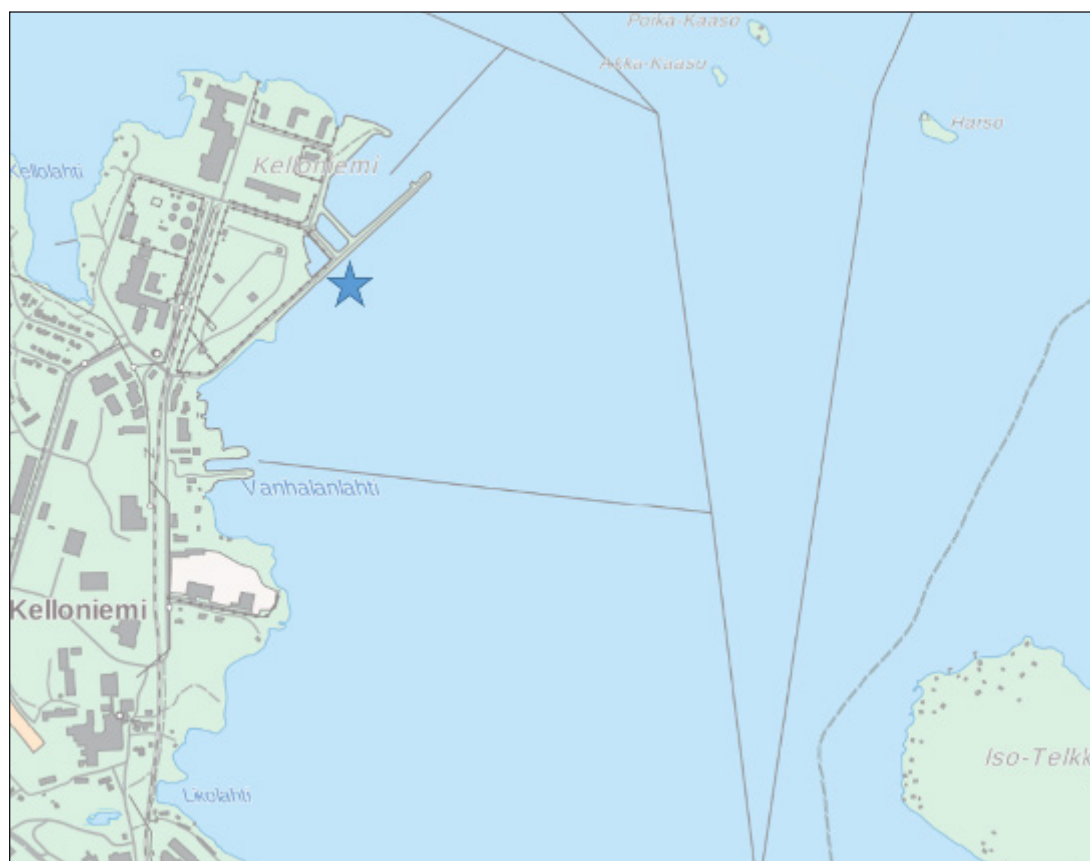
Öljy-vesiseos kulkeutuu vesistöön yhteensä 8 tunnin aikana, jonka jälkeen öljyä ei enää pääse veteen. Mallinnettavaksi aineeksi valittu teoreettinen säästymätön öljy ei mallinnuksessa haihdu lainkaan.

Todellisuudessa kesäkuussa öljyä haihtuu verraten voimakkaasti lämpötilan vaikutuksesta, joten malli liioittelee öljyn aiheuttamaa saastumista.

Mallinnuksen ajankohdaksi on valittu 20.6. Pielisen virtaushuippu sijoittuu mallinnettavan ajan-
kohdan läheisyyteen. Uimaharjun sillan allittavan virtauksen pintavirtausnopeuden maksimiarvona on käytetty nopeutta 33 cm/s.

6.5 Öljyvarasto, Kuopio - Öljypäästö maalta veteen

Skenaariossa tapahtuu tarkemmin määrittelemätön vuototilanne, jonka aika ja syy ovat tuntemattomia. Vuodon aikana tapahtunut varajärjestelmien pettäminen johtaa suureen öljykerääntymään Kallaveden rannassa olevaan vara-altaaseen. Öljyä kerääntyy pidemmän aikaa vara-altaaseen, jonka penkka voimakkaiden sateiden aikana murtuu. Vuotoa ei ole lainkaan havaittu ennen kuin öljy pääsee Kallaveteen. Öljyn leviämispiste on esitetty kuvassa 12. Öljy on vesistöön päästyään jo osittain säistynyt oltuaan vara-altaassa jonkin aikaa. Mallin laskennassa on vara-altaassa tapahtuvalle säistymiselle käytetty arvoa 96 tuntia, jona aikana on jo tapahtunut emulsionmuodostusta sekä haihtumista.



Kuva 12. Kuopion kelloniemen skenariomallin öljypäästön leviämispiste.

Mallinnuksen ajankohdaksi on valittu toukokuun loppupuoli. Ajankohta kuvaa Kallaveden keväistä virtaushuippua ja mallissa käytetään tästä syystä voimakkaita virtauksia. Pintavirtauksen paikallisena maksimiarvona (Hattuluodon ja Isotelkoan välinen vesialue) käytetään arvoa 19 cm/s. Ympäristöolosuhteet ovat normaalin keväiset ja Kallavesi on jäätön. Mallinnuksen osatavoitteena on myös selvittää, kuinka paljon öljyä ajautuu voimakkaiden virtausten tilanteessa Hietasalon saaren rantaan.

Tapahtumaa on edeltänyt raskaat vesisateet. Suoja-allas tulvii yli ja altaan seinämät pettävät. Noin 20 m³ vesi-öljyseosta pääsee Kallaveteen. Kaikki altaassa oleva öljy-vesiseos pääsee vesistöön kahden tunnin aikana. Päästö alkaa 25.5. klo 04.00.

7. 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. Uimaharjussa tilanne puolestaan on päinvastoin, ja eri tuulen suunnalla saadaan toisistaan poikkeavia lopputuloksia.

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

d) Kelloniemi, Kuopio

1. Perustilanne, ei tuulta
2. Länsituuli
3. Itätuuli
4. Pohjoistuuli
5. Etelätuuli

e) Uimaharju, Joensuu

1. Perustilanne, ei tuulta
2. Etelätuuli
3. Pohjoistuuli
4. Länsituuli
5. Itätuuli

Mallinnuksen tuloksena saadut tiedot on toimitettu Suomen ympäristökeskukselle, jonka toimesta mallit liitetään BORIS-järjestelmään. Tässä kappaleessa esitetään kuvakaappauksia yksinkertaistetuista leviämismalleista. Tässä raportissa 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 esitettyjä 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.

7.1 Vekaransalmi, Sulkava

Mallinnuksen tuloksena saatiin yhteensä kolme leviämismallia. Perustilanteen lisäksi havaittiin, että itä-länsi-suuntainen tuuli kuljettaa öljykulkeumaa niin, että sen rantautumispaikka voi vastavasti vaihdella joka itä- tai länsipuolisiin rantoihin. Kuvassa 13 on kuvattu kolmen eri leviämismallin konveksipeitteen ääriiviivat mallin lopussa eli 48 tunnin leviämistilanteessa.



Kuva 13. Vekaransalmen leviämismallin lopputilanne kolmessa eri mallinnustilanteessa. Ääriviiva 1: itätuuli, ääriviiva 2: ei tuulta, ääriviiva 3: länsituuli.

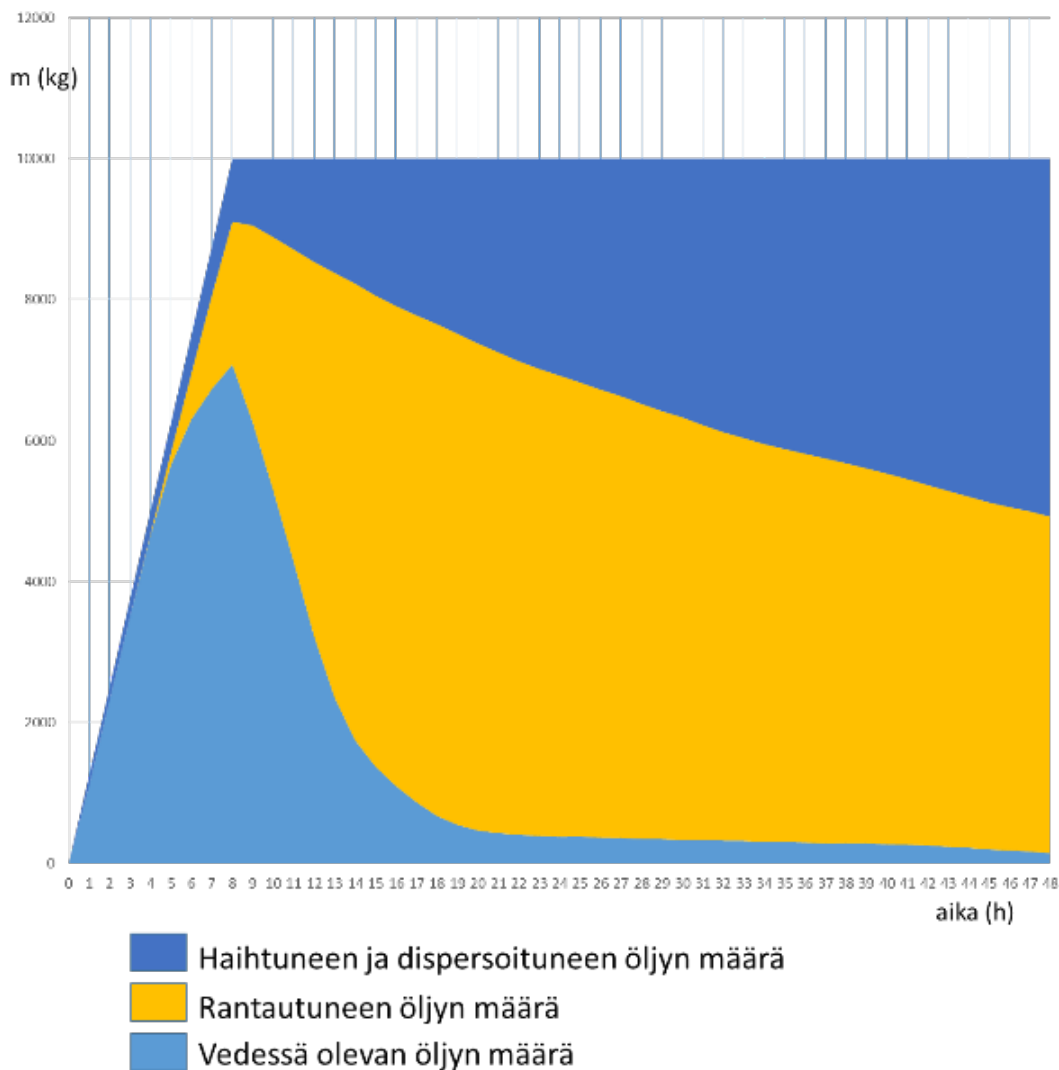
Leviämismallien tuloksia voidaan yhdistää myös muuhun paikkatietoon. Kuvassa 14 on yhdistetty Vekaransalmen leviämismallin tietoja samalta alueelta otettuun ilmakehuvaan, johon lisätty alueen tiet leveystietoineen. Rannan läheisyydessä (alle 50 metriä) olevat tie on korostettu punaisella. Tämän tyyppisiä karttahaavainnollistuksia voidaan käyttää öljyntorjunnan suunnittelussa.



Kuva 14. Vekaransalmen alueelta muodostettu yhdistelmäkuva, jossa öljyn leviämispisteet valkoisella, Saimaan syväväylä keltaisena viivana sekä alueen tiestön tietoja.

Öljypäästöä mallinnettaessa voidaan öljyn tila jakaa neljään luokkaan: rantautunut, vedessä oleva, haihtunut tai dispersoitunut öljy. Kuvassa 15 on esitetty Vekaransalmen leviämismallin laskentatuloksista tehty kuvaaja, johon on kuvattu öljyn massabalanssi 48 tunnin mallinnusjakson kuluessa. Rantautunut ja kelluva öljy on esitetty kuvassa erikseen, ja haihtuneen ja dispersoituneen öljyn määrät on laskettu yhteen. Tämä jaottelu perustuu Gnome-mallinnusohjelman tuloksiin, jossa laskenta määrittää vain rantautuneen ja kelluvan öljyn, eikä erittele muita säästymisen muotoja toisistaan. Muihin laskentatapoihin (kokeellisiin tuloksiin perustuva Adios 2 -tietokanta, liite 9 ja teoreettinen kaava, liite 10) 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. Öljyvuohto 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 15. Öljypäästön massataseen muutos ajan kuluessa.

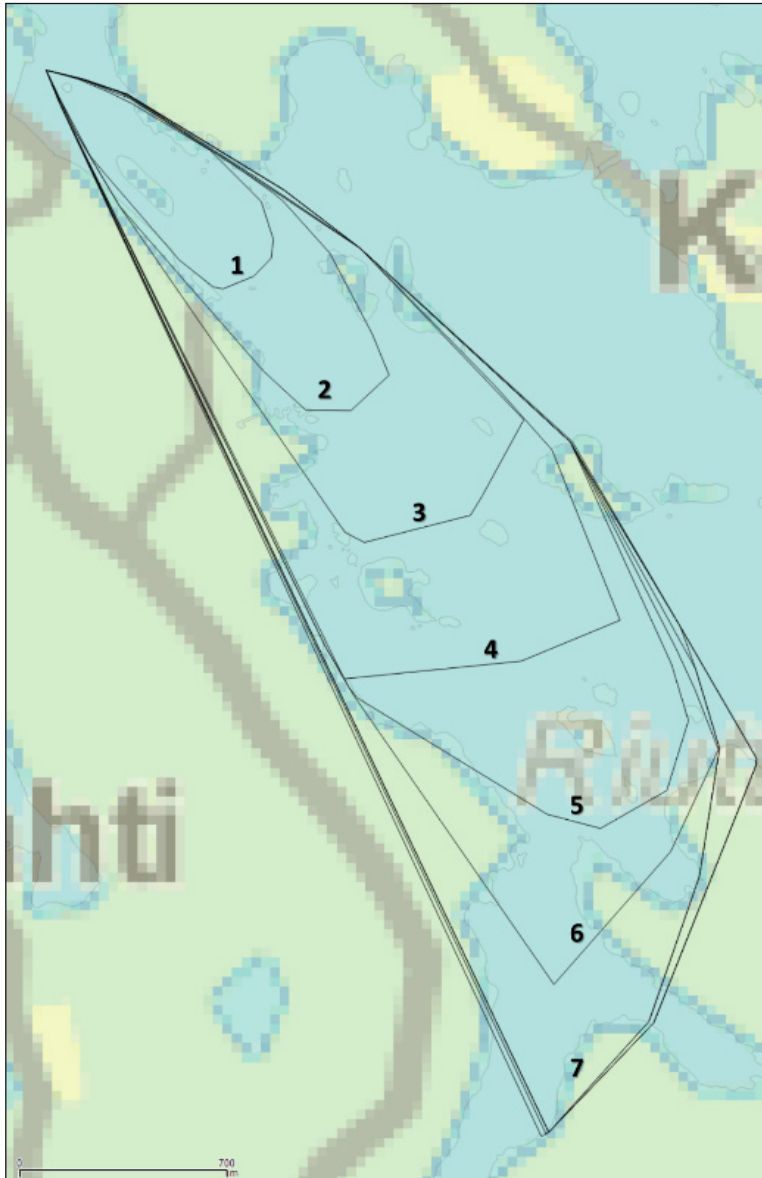
Öljypäästön leviämisen etäisyydet voidaan hahmottaa leviämisyöhykkeinä. Leviämisyöhyke tarkoittaa tässä tapauksessa etäisimmän öljykulkeuman sijaintia. Kuvassa 16 on esitetty Vekaransalmen skenaarion 1 leviämisyöhykkeet karkealla aikajaottelulla.



Kuva 16. Vekaransalmen skenaarion I öljyn leviämisvyöhykkeet. Vyöhykkeet numeroitu tunteina öljypäätön alusta.

7.2 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 17 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.



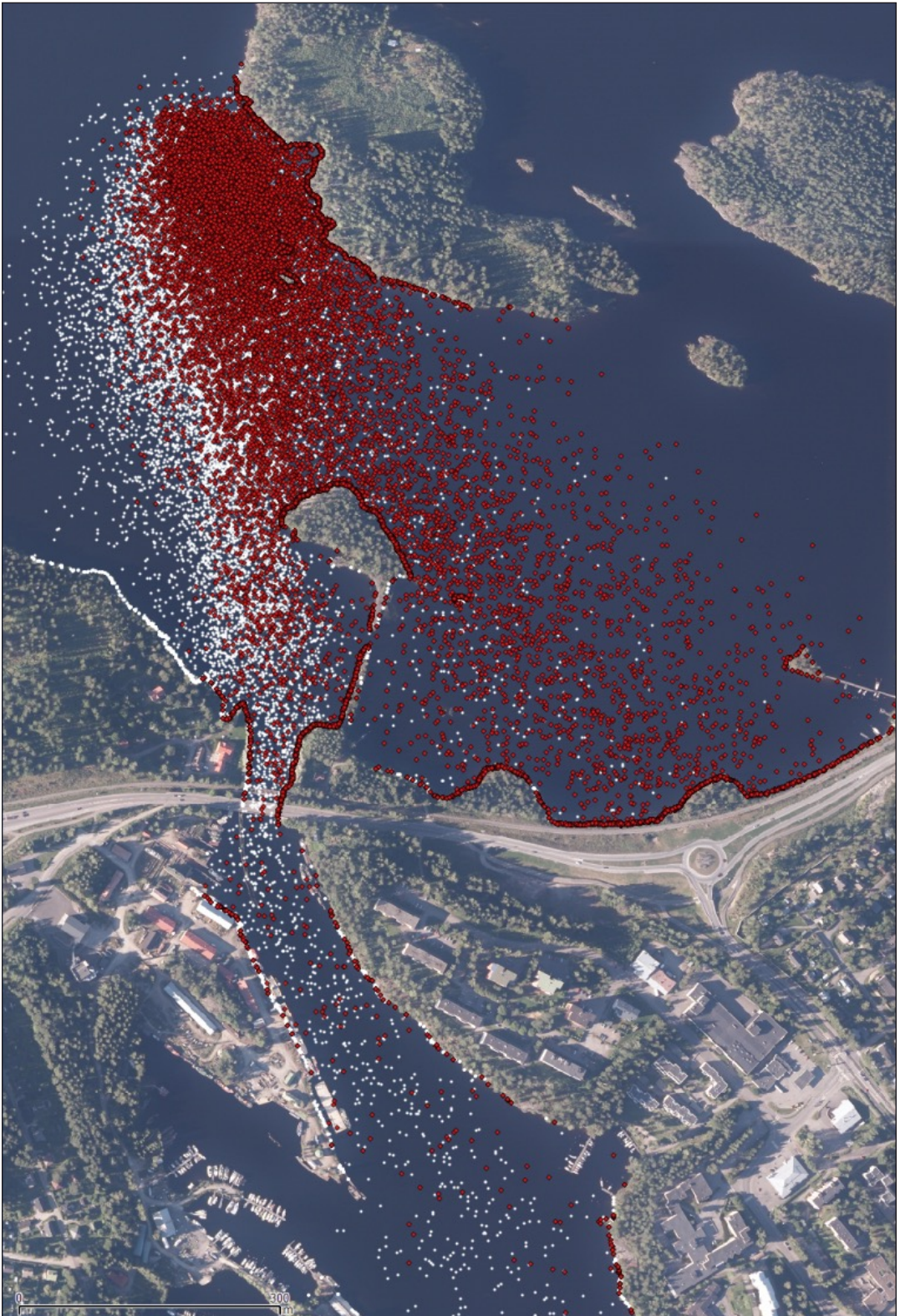
Kuva 17. Konnuksen kanavan leviämismallin perusteella laadittu öljypäästön vaikutusalueen tuntikohtainen kuvaus. Numerointi kuvaa leviämisalueen etäisimpiä reunoja numeroinnin osoittaman tuntimäärän kuluttua.

7.3 Laitaatsalmi, Savonlinna

Mallinnuksen tuloksena saatiin yhteensä neljä leviämismallia. Perustilanteena käytettiin tuulettomia olosuhteita. Kuvassa 18 on esitetty Laitaatsalmen Skenaario 1:n leviämisyöhykkeitä (perusmalli). Tuulettomien olosuhteiden lisäksi mallinnettiin öljyn leviämistä eri tuuliolosuhteilla. Tuulen vaikutusta havainnollistetaan kuvassa 19. Valkoiset pisteet esittävät perustilannetta ja punaiset pisteet kuvaavat länsituulen vaikutusta. Voidaan havaita, että erilaiset tuulensuunnat vaikuttavat öljypäästön rantautumisalueisiin melko voimakkaasti.



Kuva 18. Laitaatsalmen skenaarion I (perusmalli) öljyn leviämisyöhykkeet. Numerot edustavat tunteja päästön alusta.



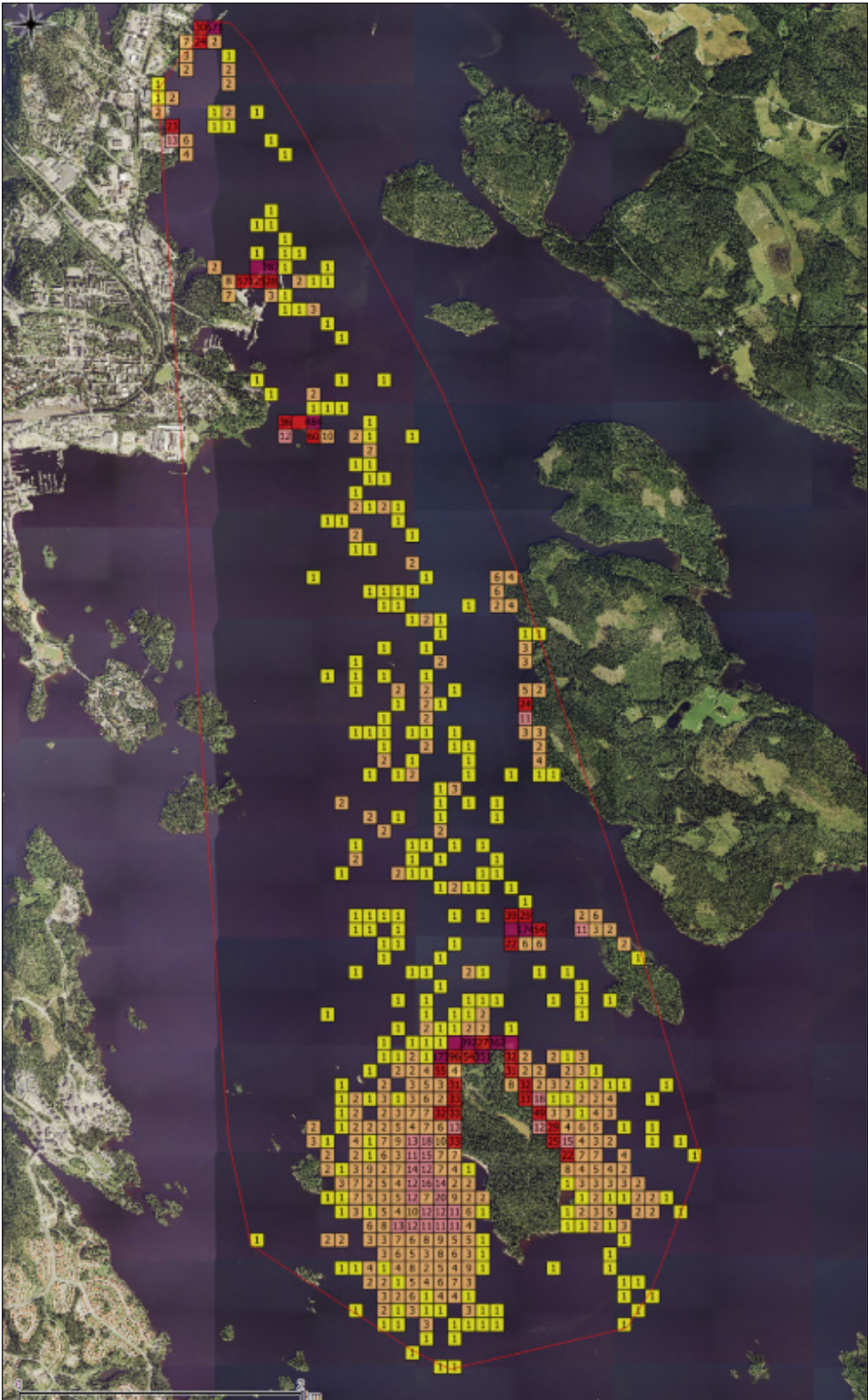
Kuva 19. Laitaatsalmen leviämismalli projisoituna alueen ilmapuunaan. Tuulen vaikutus on havaittavissa valkoisten ja punaisten pisteiden toisistaan selvästi erottavana jakaumana.

7.4 Kelloniemi, Kuopio

Mallinnuksen tuloksena saatiin yhteensä viisi leviämismallia. Perustilanteena käytettiin ajankohdalle ominaista virtaustilannetta ilman tuulen vaikutusta. Vaihtoehtoisia malleja tehtiin neljän eri pääilmansuunnan tuulilla.

Kuvassa 20 on esitetty perustilanteen mukainen leviäminen 48 tunnin kuluttua päästöstä. Ilmakuvaan on piirretty leviämisalueen rajat. Tämän lisäksi öljyn määrä on laskettu 100 kertaa 100 metrin alueilla. Tällä esitystavalla on öljyn määrän jakautuminen helposti havainnollistettavissa. Kuopion skenaariossa on lähempään tarkasteluun valittu Hietasalon saari, jonka tilannetta eritellään seuraavissa kappaleissa skenaariokohtaisesti.

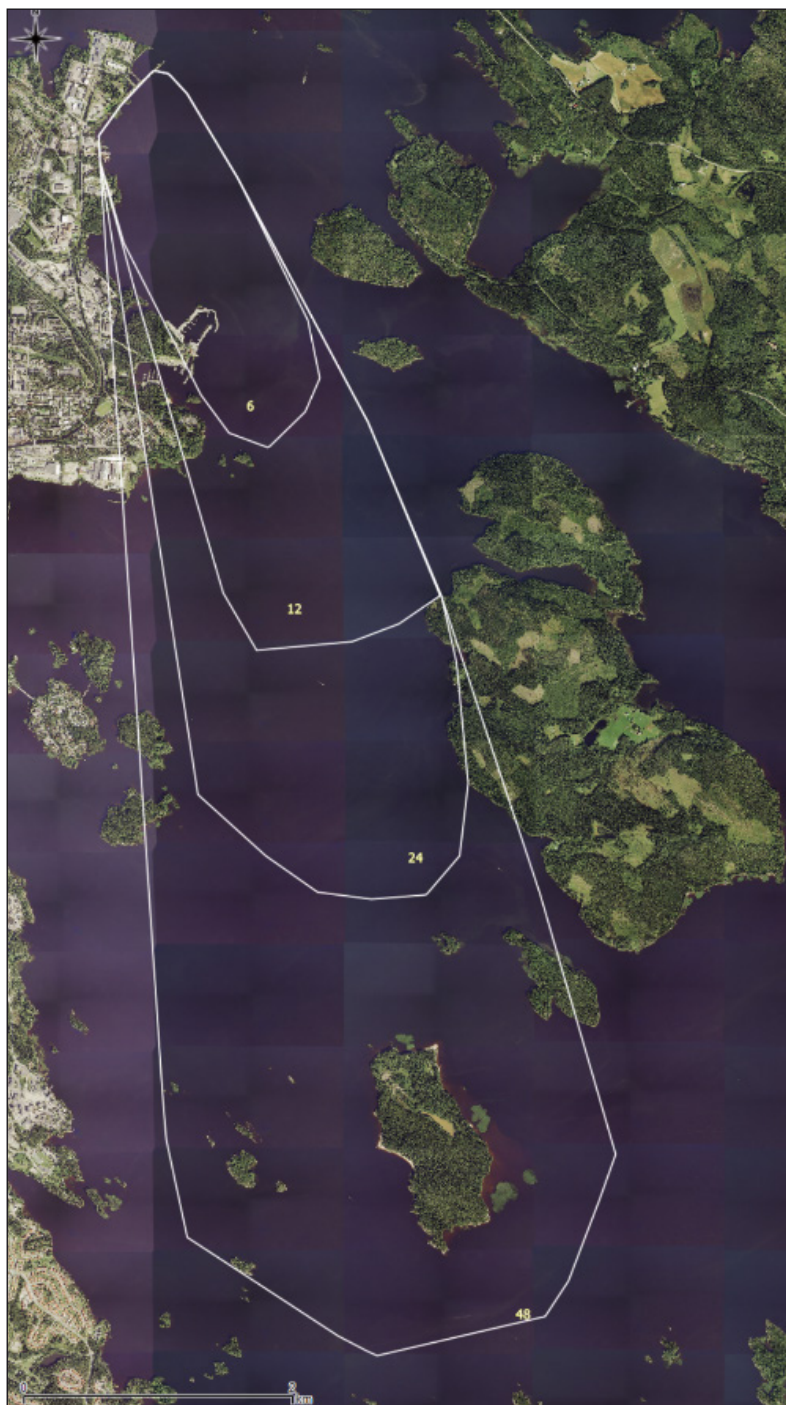
Mallinnukseen liittyvien epävarmuustekijöiden takia yksittäisten rantaviivaosuuksien laskennalliset öljymäärät eivät ole täysin tarkkoja. Tuloksia voidaan käsitellä suuntaa-antavina arvioina. Huomautettakoon myös, että kuvissa vahvennetut rantaviivat eivät ole täysin yhdenmukaisia ilmakuviissa havaittavien rannan muotojen kanssa. Tällä ei ole erityisen suurta merkitystä leviämisen suunnan kokonaiskuvan kannalta, mutta rantautuvan öljyn paikka voi tästä syystä olla jonkin verran epätarkka. Sekä ilmakuviin että rantaviivojen tietolähde on Maanmittauslaitos.



Kuva 20. Kuopion perustilanteen skenaarion kokonaisleviämisaala sekä 100 x 100 metrin ruudukkoon lasketut öljymäärät skenaarion lopputilanteessa (48 tuntia päästöä)

7.4.1 Kuopio, skenaario I (perusmalli)

Kuopion leviämismallissa perusmallina on skenaario 1, jonka karkeasti jaoteltuja leviämisyöhykkeitä on esitetty kuvassa 21. Mallissa ei ole tuulen vaikutusta.



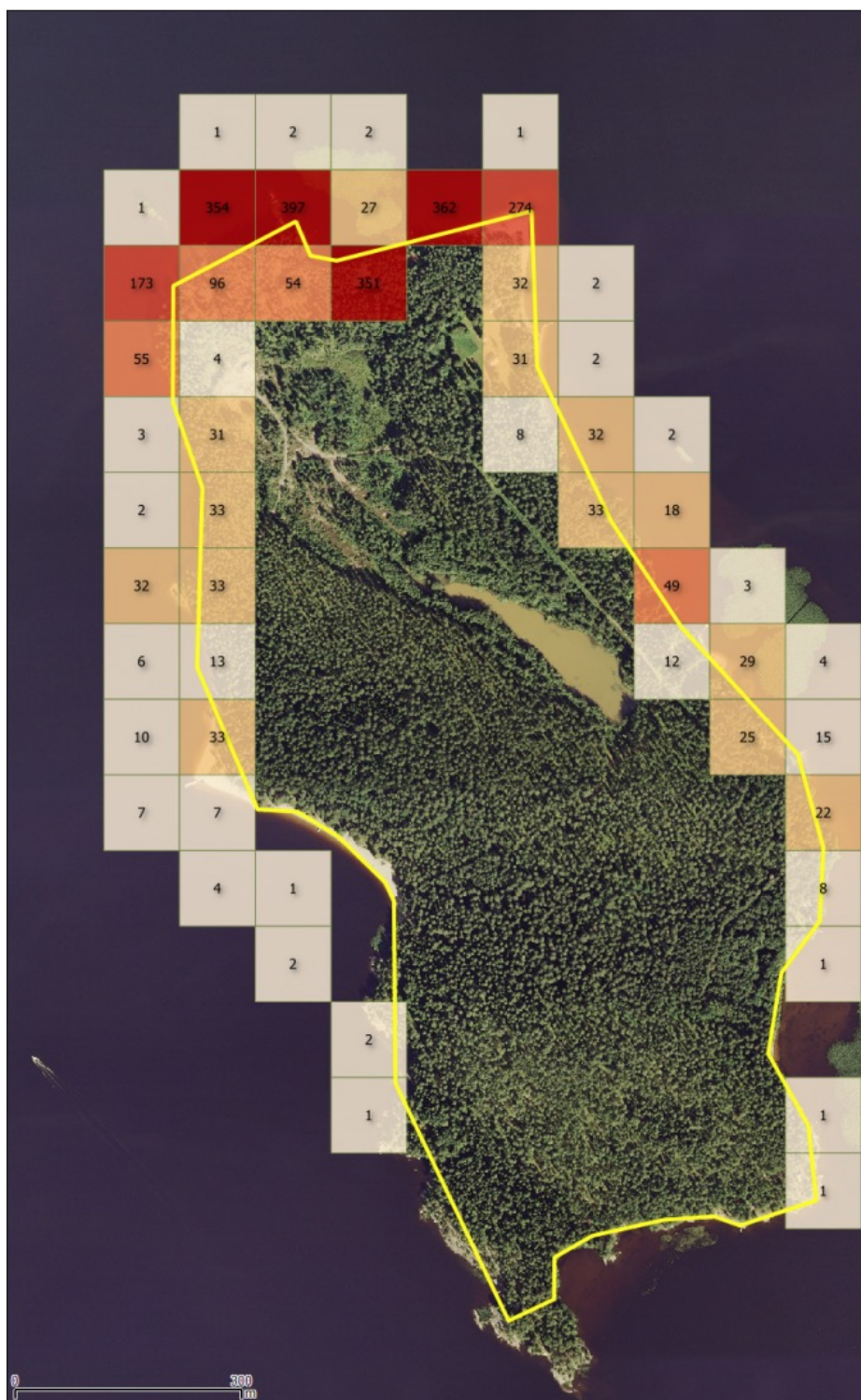
Kuva 21. Kuopion skenaarion I öljyn leviämisyöhykkeet. Numerot edustavat tunteja päästön alusta.

Malli ennustaa, että öljy saavuttaa Hietasalon saaren pohjoispuolen noin 32 tunnin kuluttua öljyvuo-
dosta. Tämä tilanne on esitetty kuvassa 22.



Kuva 22. Kuva tilanteesta Skenaariossa 1, jossa öljypäästö saavuttaa Hietasalon saaren pohjoispuolen noin 32 tunnin kuluttua päästöstä. Öljypäästö on kuvattu valkoisilla pisteillä.

Mikäli öljy pääsee leviämään vapaasti 48 tunnin ajan, johtaa se kuvassa 23 esitettyyn tilanteeseen. Kuvassa on laskettu rantaan ajautuneen öljyn määrä kiloina.



Kuva 23. Arvio Hietasalon saaren rantaan ajautuneen öljyn määrästä skenaarion I lopussa.

7.4.2 Kuopio, skenaariot 2 (itätuuli) ja 3 (länsituuli)

Skenaariot 2 ja 3 eroavat perusmallista tuulen osalta. Mallissa vaikuttavat navakat itä- ja länsituulet. Tuuli vaikuttaa koko mallien kestoajan samasta suunnasta, joten ajautumisen laskenta ei välttämättä kuvaa varsinaisia luonnonolosuhteita kovin realistisesti.

Skenaarioiden 2 ja 3 lopputilanteet on esitetty kuvassa 24. Länsituuli kuljettaa öljylautan pääosan Säyneensalon saaren rantaan, johon rantautuu noin 6500 kiloa öljyä. Itätuulen tilanteessa valtaosa öljystä jää päästöpaikan lähellä Kuopion kaupunkialueen rantaan. Kummassakaan tilanteessa öljyä ei juurikaan kulkeudu Hietasalon saaren rannoille.



Kuva 24. Tuulen vaikutus öljyn leviämiseen. Punaiset pisteet kuvaavat öljyn etenemistä länsituulen vaikutuksesta ja valkoiset pisteet kuvaavat itätuulen vaikutusta. Kuvan pisteet esittävät 48 tunnin kumulatiivisen leviämisen tilannetta.

7.4.3 Kuopio, skenaariot 4 (etelätuuli) ja 5 (pohjoistuuli)

Skenaarioissa 4 ja 5 vaikuttavat navakat etelä- ja pohjoistuulet. Tuuli vaikuttaa koko mallien kestoajan samasta suunnasta, joten ajautumisen laskenta ei kuvaa olosuhteita kovin luonnonmukaisesti. Kuvissa 25 ja 26 on esitetty öljyn leviämisen etäisin äärioviiva ajan kuluessa. Kuvassa 25 on skenaarion 4 tilanne, jossa etelätuuli hidastaa öljyn kulkeutumista. Kuvassa 26 on päinvastainen tilanne, jossa pohjoistuuli nopeuttaa öljyn kulkeutumista.

Voidaan havaita, että aika, jonka kuluessa öljy saavuttaa Hietasalon saaren rannan vaihtelee paljon tuulen vaikutuksesta. Pohjoistuulen olosuhteissa öljy saavuttaa Hietasalon saaren pohjoisrannan noin 25 tunnin kuluttua öljypäästön alkamisesta. Etelätuulen vaikutus hidastaa öljyn leviämistä huomattavasti, ja öljy saavuttaa Hietasalon saaren pohjoisrannan noin 45 tunnin kuluessa. Tuulettomassa leviämismallissa öljy saavutti Hietasalon saaren rannan noin 32 tunnissa.



Kuva 25. Öljyn leviämisen etäisyysviivat pohjoistuulen tilanteessa. Viivojen numerot kuvaavat kuluneita tunteja öljypäästön alusta.



Kuva 26. Öljyn leviämisen etäisyysviivat etelätuulen tilanteessa. Viivojen numerot kuvaavat kuluneita tunteja öljypäästön alusta.

7.5 Uimaharju, Joensuu

Mallinnuksen tuloksena saatiin yhteensä viisi leviämismallia. Perustilanteena käytettiin ajankohdalle ominaista virtaustilannetta ilman tuulen vaikutusta. Vaihtoehtoisia malleja tehtiin neljän eri pääilmansuunnan tuulen mukaisissa tilanteissa. Mallilla pyrittiin saamaan selville mahdollisen raskaan polttoöljyn päästötilanteen vaikutusalue. Raskas polttoöljy on tiheydeltään lähellä veden tiheyttä ja vesistöön joutuessaan jähmettyy ja painuu osittain pohjaan⁴⁹. Gnome-mallinnusohjelmalla ei voi tehdä pintaleviämismallia raskaalla polttoöljyllä täysin yhdenmukaisesti muiden tässä mallinnettavien leviämistilanteiden kanssa. Tämän vuoksi Uimaharjun mallinnettava öljypäästö tehtiin muista malleista poiketen teoreettisella, ei-säilyväällä öljyllä. Jossakin määrin puutteelliset virtaustiedot jättävät mallinnuksiin myös huomattavan epävarmuuden. Kuvassa 27 on esitetty perusmallin leviämisalueet 1–2 tunnin aikaväleillä.



Kuva 27. Uimaharjun perusmallin leviämisalueet. Viivojen numerot kuvaavat kuluneita tunteja öljypäästön alusta.

Uimaharjun viiden skenaarion käsittelyssä havaittiin, että Laiskanniemen sillan alla kulkeva voimakas virtaus vaikuttaa öljyn kulkeutumiseen huomattavasti. Vain voimakas itätuuli kuljettaa öljyä niin, että se rantautuu kokonaisuudessaan sillan pohjoispuolelle lähelle pohjavesialuetta. Tällaisen skenaarion lopputulos esitetään kuvassa 28. On syytä painottaa, että kyseessä on melko epätodennäköinen tilanne, sillä voimakas pintavirtaus sillan alta on hallitseva tekijä. Kuvaesimerkki on valittu esittämään skenaariomallinnuksella saatujen tulosten hyödyntämistä myös todennäköisyyksiä arvioitaessa. Kuvassa ilmenee myös leviämismallin hyödyntämismahdollisuudet pohjavesialueiden ja muiden tärkeiden alueiden öljyntorjunnan suunnittelussa.



Kuva 28. Pohjavesialueelle (sininen alue) ja virkistysalueelle itätuulen vaikutuksesta ajautunut öljy. Epätodennäköinen tilanne.

8. YHTEENVETO JA PÄÄTELMIÄ

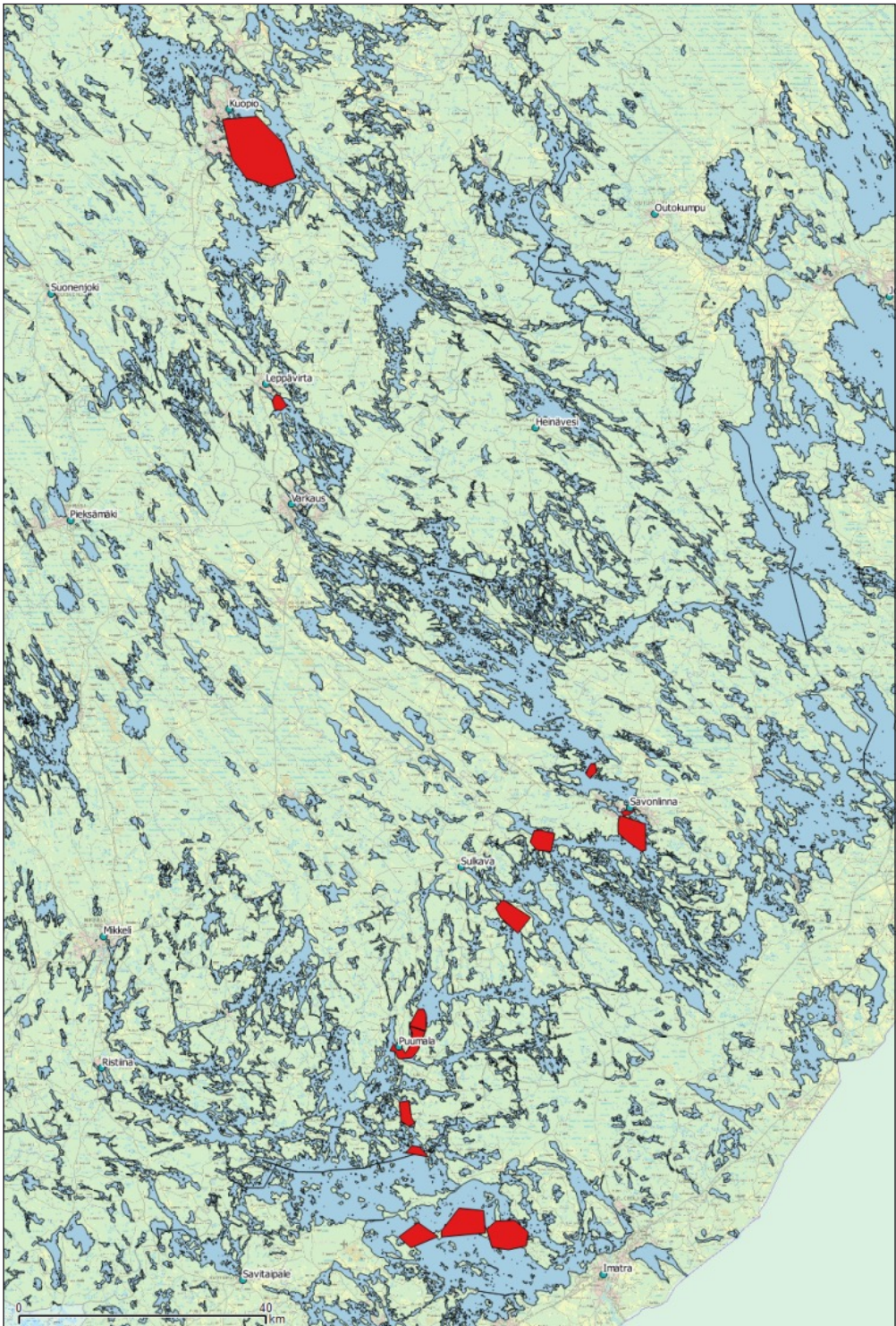
Älykö-hankkeessa tutkittiin Saimaan alueella tapahtuvan ympäristöonnettomuuden seurauksena luontoon leviävän öljyn kulkeutumista. Tässä tutkimusraportissa käsiteltiin leviämismallinnuksia vedessä, mallinnuksessa käytettyjä menetelmiä ja lähtötietoja sekä leviämismallinnuksen tuloksia. Leviämismallinnuksen 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 raportissa esiteltiin myös esimerkkejä paikkatieto-ohjelmistolla toteutettaviin leviämismallien analyyseihin.

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 supertietokonelaskennalla 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.

9. LIITTEET

Liite 1.	RV Muikun pintavirtausmittausten alueet	53
Liite 2.	Pintavirtausten vaihtelu	54
Liite 3.	Laivaonnettomuusskenaarioiden lähtötilanteet	55
Liite 4.	Virtausolettama. Konnuksen kanava, Leppävirta	58
Liite 5.	Virtausolettama. Laitaatsalmi, Savonlinna	59
Liite 6.	Virtausolettama. Vekaransalmi, Sulkava	60
Liite 7.	Virtausolettama. Uimaharju, Joensuu	61
Liite 8.	Virtausolettama. Kallavesi	62
Liite 9.	Kevyen öljyn haihtuminen Adios 2 -tietokannan mukaisesti	63
Liite 10.	Laskelmia kevyen polttoöljyn haihtumisesta	64

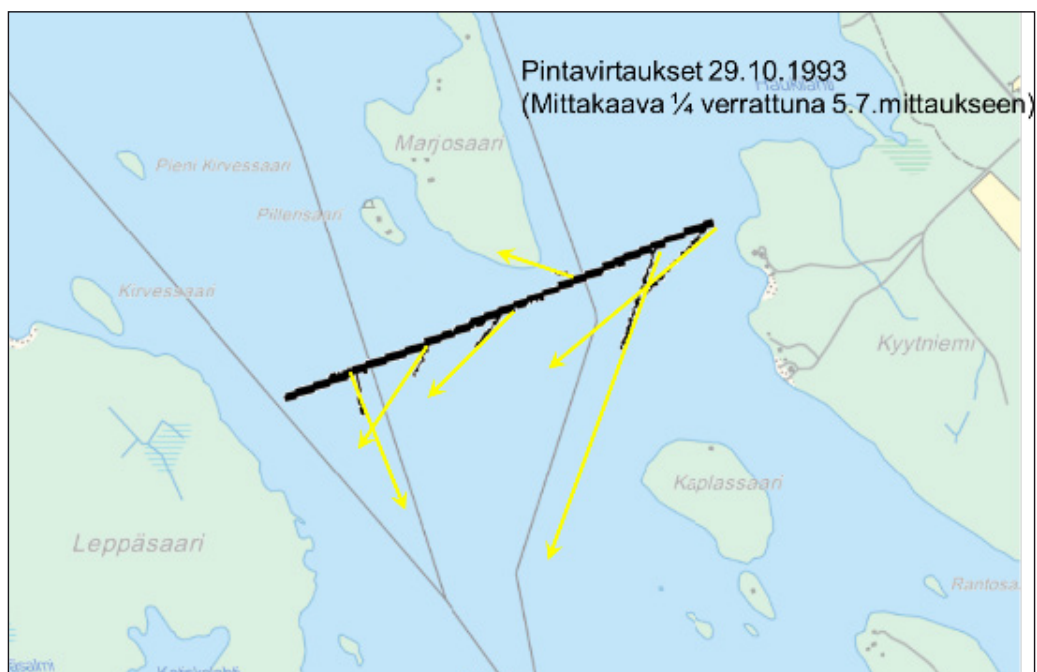
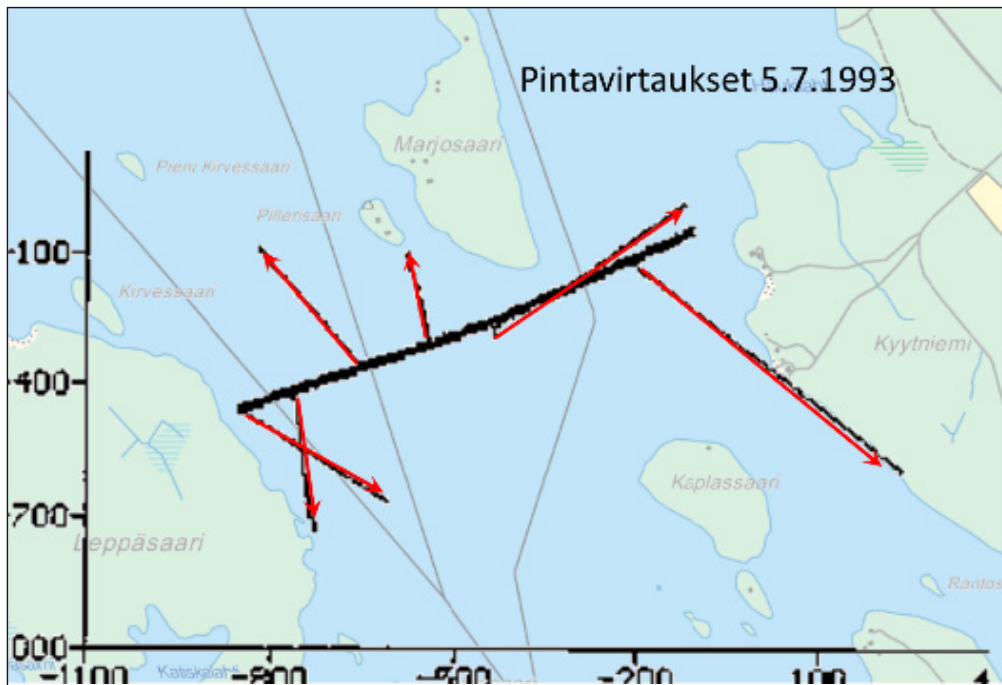
LIITE I . RV Muikun pintavirtausmittausten alueet



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 määräsätama

Rostock

Aluksen lasti

Puujalosteita

Säätila

Tuuli 215 astetta, 6 m/s [etelälounas]

Näkyvyys

hämärä/valoisa, selkeä

Säätila 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. Kylki 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 määräsata

Varkaus

Aluksen lasti

Ei tietoa

Säätila

Tuuli 270 astetta, 3 m/s [länsi]

Näkyvyys

hämärä/valoisa, selkeä

Säätila saatu laivalta.

Lämpötila ilma 20 astetta, vesi 19 astetta

Aallokko alle 30 cm

Olosuhdetiedot ilmatieteen laitokselta

LIITE 4. Virtausolettama. Konnuksen kanava, Leppävirta



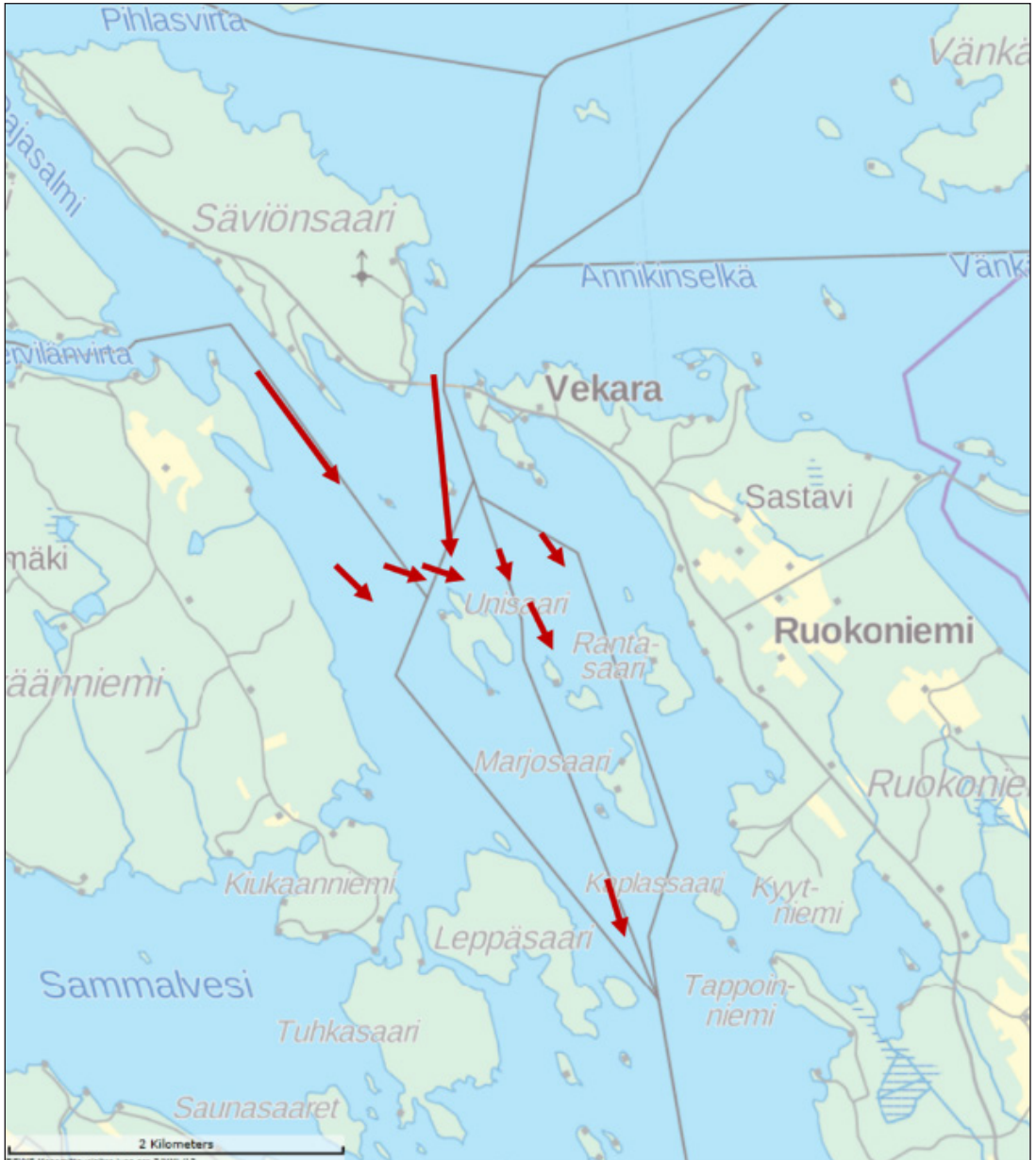
Kuvaan on merkitty skenaariomallinnuksessa käytetyt virtaussuunnat pintavirtausvektoreina. Vektorien pituudet ovat suunta-antavia eivätkä ole tarkassa mittakaavassa. Virtaustietojen lähteet on esitetty kappaleessa "Mallinnuksessa käytettyjä tietolähteitä".

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. Virtausolettama. Uimaharju, Joensuu



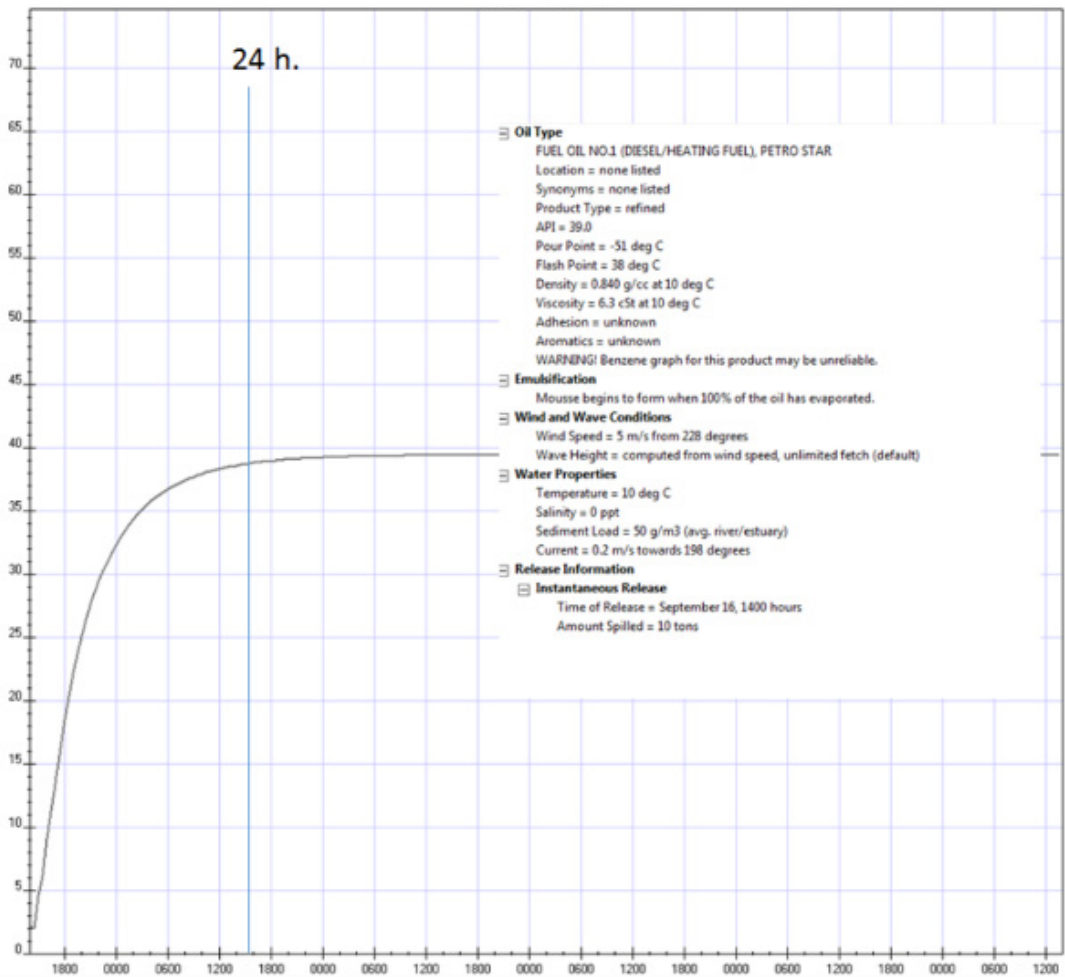
Kuvaan on merkitty skenaariomallinnuksessa käytetyt virtausuunnat pintavirtausvektoreina. Vektorien pituudet ovat suuntaa-antavia eivätkä ole tarkassa mittakaavassa. Virtaustietojen lähteet on esitetty kappaleessa "Mallinnuksessa käytettyjä tietolähteitä".

LIITE 8. Virtausolettama. Kallavesi



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

LIITE 9. Kevyen öljyn haihtuminen Adios 2 -tietokannan mukaisesti



Kuvakaappaus Adios 2 -öljytietokannan laskentatuloksista. 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 suuntaantava myös dieselöljylle yleisemmin.

Kuvaajan parametreja:

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

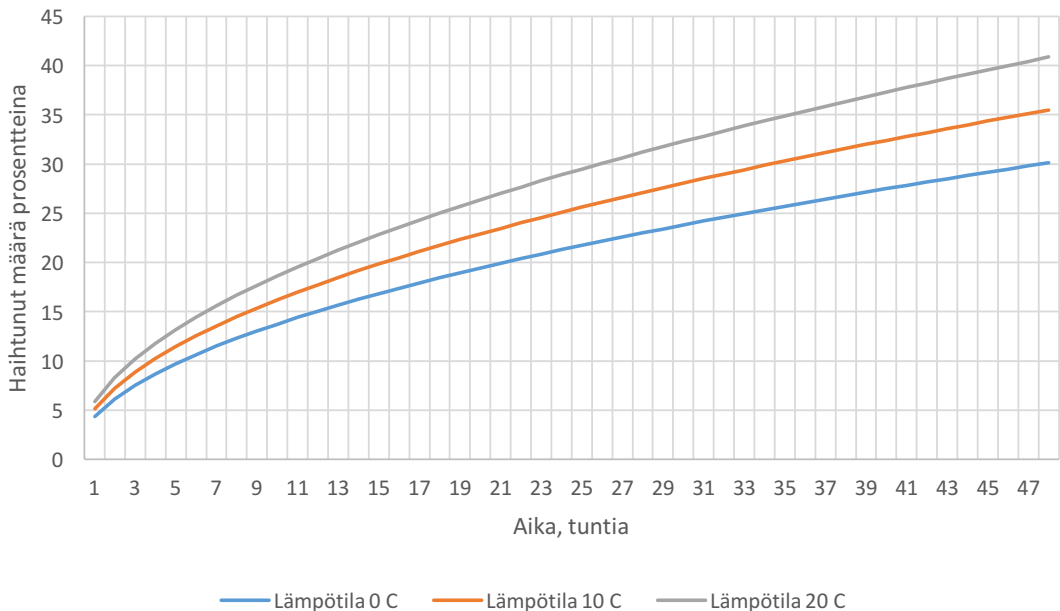
LIITE 10. Laskelmia kevyen polttoöljyn haihtumisesta

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 kauppanimikkeiden 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.⁵⁰ Tyypillinen tislautumisaste kevyelle polttoöljylle tässä lämpötilassa on 20–50 % välillä.⁵¹ Tällaista tietoa ei yleensä ole suoraan saatavilla öljyn valmistajalta. Esimerkiksi Neste Oyj:n käyttöturvallisuustiedote antaa tuotteelle vain kiehumispisteen ja kiehumisalueen rajat 150–410 °C⁵².

Seuraava kevyen polttoöljyn haihtumisen kuvaaja on laskettu käyttämällä Fingas⁵⁰ esittämää kaavaa (1) kolmella erilaisella lämpötilan arvolla. Kuvaajasta voidaan havaita, että lämpötilan vaikutus on 48 tunnin kohdalla noin 10 prosenttiyksikköä. Lämpötila vaikuttaa siis merkittävästi haihtumiseen.

Kevyen polttoöljyn teoreettinen haihtuminen



Kaavio kevyen polttoöljyn teoreettisesta haihtumisesta 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 9 esitettyä kokeellisesti määritettyä erään diesel-laadun haihtumista. Erilaisten öljyalaatujen 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 Fingas⁵⁰ 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

II. LÄHTEET

- ¹ Gästgifvars M. Ajelehtimiskokeet ja kulkeutumisenusteet Suomenlahdella. Suomen ympäristökeskus. Helsinki 2004. ISBN 952-11-1808-3 (PDF).
- ² Tilannekuvajärjestelmä BORIS. Saatavana: <http://www.ymparisto.fi/boris>. Viitattu 7.4.2016.
- ³ Fashchuk, D. 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.
- ⁴ 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.
- ⁵ Jolma, A. Aalto-yliopisto, Lounaispaikan paikkatietopäivä Turku, 2.12.2011. Geoinformatiikka öljyonttomuuksien ekologisten riskien hallinnassa. Saatavana: http://www.merikotka.fi/julkaisut/Paikkatietopaiiva_Jolma.pdf. Viitattu 29.3.2016.
- ⁶ GNOME. Saatavana: <http://response.restoration.noaa.gov/gnome>. Viitattu 29.3.2016.
- ⁷ Lagrangian dispersion models. Saatavana: <http://personal.us.es/rperianez/lesson7.pdf>. Viitattu 30.3.2016.
- ⁸ Hou, X., Hodges, B. R. Hydrodynamic uncertainty in oil spill modeling. The University of Texas at Austin. Center for Research in Water Resource. Saatavana: <https://www.crrw.utexas.edu/reports/pdf/2013/rpt13-05.pdf>. Viitattu 27.4.2016.
- ⁹ 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.
- ¹⁰ Toivola, V. Etelä-Savon ELY-keskus. Materiaali toimitettu valokopioina.
- ¹¹ Vesistöennusteet: Vuoksen vesistöalue. Saatavana: <http://wwwi2.ymparisto.fi/i2/04/index.html>. Viitattu 29.3.2016.
- ¹² Hydrologiset vuosikirjat. Saatavana: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Hydrologiset_havainnot/Hydrologiset_vuosikirjat. Viitattu 29.3.2016.

- ¹³ Luodedata. Saatavana: <http://www.luodedata.fi/savonlinna/>. Viitattu 31.3.2016.
- ¹⁴ Simola, H. (toim.). 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.
- ¹⁵ Rouvinen J. 2012. Kuopion Teho-Louhinta Oy. Pielisjoen koski- ja virtapaikkojen yleiskartoitus.
- ¹⁶ Vesihallitus. Helsinki 1976. Pohjois-Karjalan vesien käytön kokonaissuunnitelma 1 osa, Suunnittelualue ja vesivarat. ISBN 951-46-1965-X.
- ¹⁷ Hietala M: Virtavedet ja järviolueet (Boris työpaja 20-21.5.2015)
- ¹⁸ Tuuliatlas - tuulitiedot Suomen kartalla. Saatavana: <http://www.tuuliatlas.fi/fi/index.html>. Viitattu 29.3.2016.
- ¹⁹ Henkilökohtainen viestintä Häkkinen / Ville Siiskonen (Ilmatieteen laitos) 4.2.2013. Aineisto Kyamkin hallussa.
- ²⁰ Hietala, M: Virtavedet ja järviolueet (Boris työpaja 20-21.5.2015). Saatavana: <https://syke.etapahtuma.fi/Default.aspx?tabid=329&id=1729>. Viitattu 25.3.2016.
- ²¹ Weathering. Saatavana: <http://www.itopf.com/knowledge-resources/documents-guides/fate-of-oil-spills/weathering/>. Viitattu 29.3.2016.
- ²² Fingas, M.: Handbook of oil spill science and technology. ISBN: 978-0-470-45551-7. Wiley. Hoboken, New Jersey. 2015.
- ²³ Fingas M: Oil Behaviour in Freshwater Environments: Weathering and Incorporation into Models. US EPA archived documents. Saatavana: https://archive.epa.gov/emergencies/content/fss/web/pdf/fin-gas_04.pdf. Viitattu 31.3.2016.
- ²⁴ Kulander, K-E: 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.
- ²⁵ Vandermeulen, J. H., Hrudey S. E: Oil in freshwater : chemistry, biology, countermeasure technology : proceedings of the symposium in freshwater, Edmonton, Alberta, Canada, 15-19 October 1984. Pergamon, 1987. New York.
- ²⁶ United States Environmental Protection Agency. 1999. Understanding Oil Spills And Oil Spill Response. PB2000-963401. 1999. Saatavana: <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=10001XNZ.TXT>. Viitattu 31.2.2016.
- ²⁷ ADIOS. Saatavana: <http://response.restoration.noaa.gov/adios>. Viitattu 29.3.2016.
- ²⁸ Evans D. L. : Trajectory Analysis Handbook. 2002. 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.
- ²⁹ 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.
- ³⁰ Korhonen J.: Suomen vesistöjen virtaaman ja vedenkorkeuden vaihtelut. Suomen ympäristökeskus. Helsinki 2007.
- ³¹ Seppälä, J. (1986). Itäisen Pien-Saimaan veirtaus- ja vedenlaatumallisovertutus. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu.

- ³² Neste Oy. Raskaan polttoöljyn käyttöopas. Espoo 1987.
- ³³ Tuomi, L. On modelling surface waves and vertical mixing in the Baltic sea. Academic dissertation. Finnish Meteorological Institute. Helsinki, 2014
- ³⁴ McWilliams J. C, Sullivan, P. P: Vertical mixing by Langmuir circulations. Spill Science & Technology bulletin vol 6, No 3/4. Elsevier Science 2001.
- ³⁵ Kuusisto E. Suur-Saimaan vesitase ja tulovirtaaman ennustaminen. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja. Vesihallitus. Helsinki 1978.
- ³⁶ Korhonen J.: Suomen vesistöjen lämpötilaolot 1900-luvulla. Suomen ympäristökeskus. Helsinki 2002.
- ³⁷ GOODS GNOME Online Oceanographic Data Server. Saatavana: <https://gnome.orr.noaa.gov/goods>. Viitattu 29.3.2016.
- ³⁸ NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 40.General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME) Technical Documentation. Seattle, USA. 2012.
- ³⁹ ArcGis. Saatavana: <https://www.arcgis.com/features/>. Viitattu 7.4.2016
- ⁴⁰ MapInfo. Saatavana: <http://www.pitneybowes.com/us/location-intelligence/geographic-information-systems/mapinfo-pro.html>. Viitattu 7.4.2016.
- ⁴¹ QGIS - The Leading Open Source Desktop GIS. Saatavana: <https://www.qgis.org/en/site/about/index.html>. Viitattu 4.4.2016.
- ⁴² Avoimien aineistojen tiedostopalvelu. Saatavana: <http://www.maanmittauslaitos.fi/aineistot-palvelut/latauspalvelut/avoimien-aineistojen-tiedostopalvelu>. Viitattu 4.4.2016.
- ⁴³ Liikenneviraston katselu- ja latauspalvelu. Saatavana: <https://extranet.liikennevirasto.fi/extranet/web/public/latauspalvelu>. Viitattu 4.4.2016.
- ⁴⁴ PaITuli spatial data service. Saatavana: <https://research.csc.fi/paituli>. Viitattu 4.4.2016.
- ⁴⁵ QGIS Python Plugins Repository. Plugin: TimeManager. Saatavana: <https://plugins.qgis.org/plugins/timemanager/>. Viitattu 4.4.2016.
- ⁴⁶ Soininen, H; Dufva, K; Kontinen, K. Materiaalit ja ympäristöturvallisuus : Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä. Vuosijulkaisu 2015. Saatavana: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-588-533-3>. Viitattu 4.4.2016.
- ⁴⁷ Sanomalehti Itä-Savo 19.4.2016. Saatavana: <http://www.ita-savo.fi/uutiset/lahella/projektipaallikkolaitaatsilta-mahdollisimman-nopeasti-liikkeelle-340263>. Viitattu 21.4.2016.
- ⁴⁸ Vt 14 Laitaatsalmen kohta, Savonlinna. Saatavana: <http://www.liikennevirasto.fi/laitaatsalmi>. Viitattu 5.4.2016.
- ⁴⁹ OVA-ohje: Raskas polttoöljy. Saatavana: <https://www.ttl.fi/ova/rapolto.html>. Viitattu 27.4.2016.
- ⁵⁰ Fingas, M. 2015. Handbook of oil spill science and technology. ISBN: 978-0-470-45551-7. Wiley. Hoboken, New Jersey.

- ⁵¹ ITOPE. The international tanker owners pollution federation limited. Fate of marine oil spills. ITOPE technical information paper 2. Saatavana: <http://www.itopf.com/fileadmin/data/Documents/TIPS%20TAPS/TIP2FateofMarineOilSpills.pdf>. Viitattu 26.4.2016.
- ⁵² Neste Oil. Käyttöturvallisuustiedote. Marine diesel oil DMB-laatu (MGODMA); Marine Gas oil (MGODMA,MGO). Päiväys 14.7.2015. Tuloste, Kymenkin hallussa.

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULUN JULKAISUSARJASSA B. ILMESTYNEET JULKAISUT

B-SARJA **Tutkimuksia ja raportteja**

- B 1 Markku Huhtinen & al.:
Laivadieselien päästöjen vähentäminen olemassa olevissa laivoissa [1997].
- B 2 Ulla Pietilä, Markku Puustelli:
An Empiral Study on Chinese Finnish Buying Behaviour of International Brands [1997].
- B 3 Markku Huhtinen & al.:
Merenkulkualan ympäristönsuojelun koulutustarve Suomessa [1997].
- B 4 Tuulia Paane-Tiainen:
Kohti oppijakeskeisyyttä. Oppijan ja opettajan välisen ohjaavan toiminnan hahmottamista [1997].
- B 5 Markku Huhtinen & al.:
Laivadieselien päästöjä vähentävien puhdistuslaitteiden tuotteistaminen [1998].
- B 6 Ari Siekkinen:
Kotkan alueen kasvihuonepäästöt [1998]. Myynti: Kotkan Energia.
- B 7 Risto Korhonen, Mika Määttänen:
Veturidieseleiden ominaispäästöjen selvittäminen [1999].

- B 8 Johanna Hasu, Juhani Turtiainen:
Terveysalan karusellikoulutusten toteutuksen ja vaikuttavuuden arviointi [1999].
- B 9 Hilikka Dufva, Mervi Luhtanen, Johanna Hasu:
Kymenlaakson väestön hyvinvoinnin tila, selvitys Kymenlaakson väestön hyvinvointiin liittyvistä tekijöistä [2001].
- B 10 Timo Esko, Sami Uoti:
Tutkimussopimusopas [2002].
- B 11 Arjaterthu Hintsala:
Mies sosiaali- ja terveydenhuollon ammattilaisena – minunko ammattini? [2002].
- B 12 Päivi Mäenpää, Toini Nurminen:
Ohjatun harjoittelun oppimisympäristöt ammatillisen kehittymisen edistäjinä – ARVI-projekti 1999-2002 [2003], 2 p. [2005] .
- B 13 Frank Hering:
Ehdotus Kymenlaakson ammattikorkeakoulun kestävän kehityksen ohjelmaksi [2003].
- B 14 Hilikka Dufva, Raija Liukkonen
Sosiaali- ja terveysalan yrittäjyys Kaakkois-Suomessa. Selvitys Kaakkois-Suomen sosiaali- ja terveysalan palveluyrittäjyyden nykytilasta ja tulevaisuuden näkymistä [2003].
- B 15 Eija Anttalainen:
Ykköskuski: kuljettajien koulutustarveselvitys [2003].
- B 16 Jyrki Ahola, Tero Keva:
Kymenlaakson hyvinvointistrategia 2003 –2010 [2003], 2 p. [2003].
- B 17 Ulla Pietilä, Markku Puustelli:
Paradise in Bahrain [2003].
- B 18 Elina Petro:
Straightway 1996—2003. Kansainvälinen transitoreitin markkinointi [2003].
- B 19 Anne Kainlauri, Marita Melkko:
Kymenlaakson maaseudun hyvinvointipalvelut - näkökulmia maaseudun arkeen sekä mahdollisuuksia ja malleja hyvinvointipalvelujen kehittämiseen [2005].
- B 20 Anja Härkönen, Tuomo Paakkonen, Tuija Suikkanen-Malin, Pasi Tulkki:
Yrittäjyyskasvatus sosiaalialalla [2005]. 2. p. [2006]
- B 21 Kai Koski (toim.):
Kannattava yritys ei menetä parhaita asiakkaitaan. PK-yritysten liiketoiminnan kehittäminen osana perusopetusta [2005]

- B 22 Paula Posio, Teemu Saarelainen:
Käytettävyyden huomioon ottaminen Kaakkois-Suomen ICT-yritysten tuotekehityksessä [2005]
- B 23 Eeva-Liisa Frilander-Paavilainen, Elina Kantola, Eeva Suuronen:
Keski-ikäisten naisten sepelvaltimotaudin riskitekijät, elämäntavat ja ohjaus sairaalassa [2006]
- B 24 Johanna Erkamo & al.:
Oppimisen iloa, verkostojen solmimista ja toimivia toteutuksia yrittäjämäisessä oppimisympäristössä [2006]
- B 25 Johanna Erkamo & al.:
Luovat sattumat ja avoin yhteistyö ikäihmisten iloksi [2006]
- B 26 Hanna Liikanen, Annukka Niemi:
Kotihoidon liikkuvaa tietojenkäsittelyä kehittämässä [2006]
- B 27 Päivi Mäenpää
Kaakkois-Suomen ensihoidon kehittämisstrategia vuoteen 2010 [2006]
- B 28 Anneli Airola, Arja-Tuulikki Wilén (toim.):
Hyvinvointialan tutkimus- ja kehittämistoiminta Kymenlaakson ammattikorkeakoulussa [2006]
- B 29 Arja-Tuulikki Wilén:
Sosiaalipäivystys – kehittämishankkeen prosessievaluatio [2006].
- B 30 Arja Sinkko (toim.):
Kestävä kehitys Suomen ammattikorkeakouluissa – SUDENET-verkostohanke [2007].
- B 31 Eeva-Liisa Frilander-Paavilainen, Mirja Nurmi, Leena Wäre (toim.):
Kymenlaakson ammattikorkeakoulu Etelä-Suomen Alkoholiohjelman kuntakumppanuudessa [2007].
- B 32 Erkki Hämäläinen & Mari Simonen:
Siperian radan tariffikorotusten vaikutus konttiliikenteeseen 2006 [2007].
- B 33 Eeva-Liisa Frilander-Paavilainen & Mirja Nurmi:
Tulevaisuuteen suuntaava tutkiva ja kehittävä oppiminen avoimissa ammattikorkeakoulun oppimisympäristöissä [2007].
- B 34 Erkki Hämäläinen & Eugene Korovyakovsky:
Survey of the Logistic Factors in the TSR-Railway Operation - "What TSR-Station Masters Think about the Trans-Siberian?" [2007].
- B 35 Arja Sinkko:
Kymenlaakson hyvinvoinnin tutkimus- ja kehittämiskeskus (HYTKES) 2000-2007.Vaikuttavuuden arviointi [2007].

- B 36 Erkki Hämäläinen & Eugene Korovyakovsky:
Logistics Centres in St Petersburg, Russia: Current status and prospects [2007].
- B 37 Hilikka Dufva & Anneli Airola (toim.):
Kymenlaakson hyvinvointistrategia 2007 - 2015 [2007].
- B 38 Anja Härkönen:
Turvallista elämää Pohjois-Kymenlaaksossa? Raportti Kouvolan seudun asukkaiden kokemasta turvallisuudesta [2007].
- B 39 Heidi Nousiainen:
Stuuva-tietokanta satamien työturvallisuustyön työkaluna [2007].
- B 40 Tuula Kivilaakso:
Kymenlaaksolainen veneenveistoperinne: venemestareita ja mestarillisia veneitä [2007].
- B 41 Elena Timukhina, Erkki Hämäläinen, Soma Biswas-Kauppinen:
Logistic Centres in Yekaterinburg: Transport - logistics infrastructure of Ural Region [2007].
- B 42 Heidi Kokkonen:
Kouvola muuttajan silmin. Perheiden asuinpaikan valintaan vaikuttavia tekijöitä [2007].
- B 43 Jouni Laine, Suvi-Tuuli Lappalainen, Pia Paukku:
Kaakkois-Suomen satamasidonnaisten yritysten koulutustarveselvitys [2007].
- B 44 Alexey V. Rezer & Erkki Hämäläinen:
Logistic Centres in Moscow: Transport, operators and logistics infrastructure in the Moscow Region [2007].
- B 45 Arja-Tuulikki Wilén:
Hyvä vanhusten hoidon tulevaisuus. Raportti tutkimuksesta Kotkansaaren sairaalassa 2007 [2007].
- B 46 Harri Ala-Uotila, Eeva-Liisa Frilander-Paavilainen, Ari Lindeman, Pasi Tulkki (toim.):
Oppimisympäristöistä innovaatioiden ekosysteemiin [2007].
- B 47 Elena Timukhina, Erkki Hämäläinen, Soma Biswas-Kauppinen:
Railway Shunting Yard Services in a Dry-Port. Analysis of the railway shunting yards in Sverdlovsk-Russia and Kouvola-Finland [2008].
- B 48 Arja-Tuulikki Wilén:
Kymenlaakson muisti- ja dementiaverkosto. Hankkeen arviointiraportti [2008].
- B 49 Hilikka Dufva, Anneli Airola (toim.):
Puukuidun uudet mahdollisuudet terveyden- ja sairaanhoidossa. TerveysSellu-hanke. [2008].
- B 50 Samu Urpalainen:
3D-voimalaitossimulaattori. Hankkeen loppuraportti. [2008].

- B 51 Harri Ala-Uotila, Eeva-Liisa Frilander-Paavilainen, Ari Lindeman (toim.):
Yrittäjämäisen toiminnan oppiminen Kymenlaaksossa [2008].
- B 52 Peter Zashev, Peeter Vahtra:
Opportunities and strategies for Finnish companies in the Saint Petersburg and Leningrad region automobile cluster [2009].
- B 53 Jari Handelberg, Juhani Talvela:
Logistiikka-alan pk-yritykset versus globaalit suuroperaattorit [2009].
- B 54 Jorma Rytönen, Tommy Ulmanen:
Katsaus intermodaalikuljetusten käsitteisiin [2009].
- B 55 Eeva-Liisa Frilander-Paavilainen:
Lasten ja nuorten terveys- ja tapakäyttäytyminen Etelä-Kymenlaakson kunnissa [2009].
- B 56 Kirsi Rouhiainen:
Viisasten kiveä etsimässä: miksi tradenomiopiskelija jättää opintonsa kesken? Opintojen keskeyttämisen syiden selvitys Kymenlaakson ammattikorkeakoulun liiketalouden osaamisalalla vuonna 2008 [2010].
- B 57 Lauri Korppas - Esa Rika - Eeva-Liisa Kauhanen:
eReseptin tuomat muutokset reseptiprosessiin [2010].
- B 58 Kari Stenman, Rajka Ivanis, Juhani Talvela, Juhani Heikkinen:
Logistiikka & ICT Suomessa ja Venäjällä [2010].
- B 59 Mikael Björk, Tarmo Ahvenainen:
Kielelliset käytänteet Kymenlaakson alueen logistiikkayrityksissä [2010].
- B 60 Anni Mättö:
Kyläläisten metsävarojen käyttö ja suhtautuminen metsien häviämiseen Mzuzun alueella Malawissa [2010].
- B 61 Hilka Dufva, Juhani Pekkola:
Turvallisuusjohtaminen moniammatillisissa viranomaisverkostoissa [2010].
- B 62 Kari Stenman, Juhani Talvela, Lea Värtö:
Toiminnanohjausjärjestelmä Kymenlaakson keskussairaalan välinehuoltoon [2010].
- B 63 Tommy Ulmanen, Jorma Rytönen:
Intermodaalikuljetuksiin vaikuttavat häiriöt Kotkan ja Haminan satamissa [2010].
- B 64 Mirva Salokorpi, Jorma Rytönen
Turvallisuus ja turvallisuusjohtamisjärjestelmät satamissa [2010].
- B 65 Soili Nysten-Haarala, Katri Pynnöniemi (eds.):
Russia and Europe: From mental images to business practices [2010].

- B 66 Mirva Salokorpi, Jorma Rytönen:
Turvallisuusjohtamisen parhaita käytäntöjä merenkulkijoille ja satamille [2010].
- B 67 Hannu Boren, Marko Viinikainen, Ilkka Paaanen, Viivi Etholen:
Puutuotteiden ja -rakenteiden kemiallinen suojaus ja suojauksen markkinapotentiaali [2011].
- B 68 Tommy Ulmanen, Jorma Rytönen, Taina Lepistö:
Tavaravirtojen kasvusta ja häiriötekijöistä aiheutuvat haasteet satamien intermodaalijärjestelmälle [2011].
- B 69 Juhani Pekkola, Sari Engelhardt, Jussi Hänninen, Olli Lehtonen, Pirjo Ojala:
2,6 Kestävä kansakunta. Elinvoimainen 200-vuotias Suomi [2011].
- B 70 Tommy Ulmanen:
Strategisen osaamisen johtaminen satama-alueen Seveso-laitoksissa [2011].
- B 71 Arja Sinkko:
LCCE-mallin käyttöönotto tekniikan ja liikenteen toimialalla – ensiaskeleina tuotteistaminen ja sidosryhmäyhteistyön kehittäminen [2012].
- B 72 Markku Nikkanen:
Observations on Responsibility – with Special reference to Intermodal Freight Transport Networks [2012].
- B 73 Terhi Suuronen:
Yrityksen arvon määrittäminen yrityskauppatilanteessa [2012].
- B 74 Hanna Kuninkaanniemi, Pekka Malvela, Marja-Leena Saarinen (toim.):
Research Publication 2012 [2012].
- B 75 Tuomo Väärä, Reeta Stöd, Hannu Boren:
Moderni painekyllästys ja uusien puutuotteiden testaus aidossa, rakennetussa ympäristössä. Jatkohankkeen loppuraportti [2012].
- B 76 Ilmari Larjavaara:
Vaikutustapojen monimuotoisuus B-to-B-markkinoinnissa Venäjällä - lahjukset osana liiketoimintakulttuuria [2012].
- B 77 Anne Fransas, Enni Nieminen, Mirva Salokorpi, Jorma Rytönen:
Maritime safety and security. Literature review [2012].
- B 78 Juhani Pekkola, Olli Lehtonen, Sanna Haavisto:
Kymenlaakson hyvinvointibarometri 2012. Kymenlaakson hyvinvoinnin kehityssuuntia viranhaltijoiden, luottamushenkilöiden ja ammattilaisten arvioimana [2012].
- B 79 Auli Jungner (toim.):
Sosionomin (AMK) osaamisen työelämälähtöinen vahvistaminen. Ongelmaperustaisen oppimisen jalkauttaminen työelämäyhteistyöhön [2012].

- B 80 Mikko Mylläri, Jouni-Juhani Häkkinen:
Biokaasun liikennekäyttö Kymenlaaksossa [2012].
- B 81 Riitta Leviäkangas (toim.):
Yhteiskuntavastuuraportti 2011 [2012].
- B 82 Riitta Leviäkangas (ed.):
Annual Responsibility Report 2011 [2012].
- B 83 Juhani Heikkinen, Janne Mikkala, Niko Jurvanen:
Satamayhteisön PCS-järjestelmän pilotointi Kaakkois-Suomessa. Mobiilisatama-projektin työpaketit WP4 ja WP5, loppuraportti 2012 [2012].
- B 84 Tuomo Väärä, Hannu Boren:
Puun modifiointiklusteri. Loppuraportti 2012 [2012].
- B 85 Tiina Kirvesniemi:
Tieto ja tiedon luominen päiväkotityön arjessa [2012].
- B 86 Sari Kiviharju, Anne Jääsmaa:
KV-hanketoiminnan osaamisen ja kehittämistarpeiden kartoitus - Kyselyn tulokset [2012].
- B 87 Satu Hoikka, Liisa Korpivaara:
Työhyvinvointia yrittäjälle - yrittäjien kokemuksia Hyvinvointikoulusta ja näkemyksiä yrittäjän työhyvinvointia parantavista keinoista [2012].
- B 88 Sanna Haavisto, Saara Eskola, Sami-Seppö Ovaska:
Kopteri-hankkeen loppuraportti [2013].
- B 89 Marja-Liisa Neuvonen-Rauhala, Pekka Malvela, Heta Vilén, Oona Sahlberg (toim.):
Sidos 2013 - Katsaus kansainvälisen liiketoiminnan ja kulttuurin toimialan työelämälaheisyyteen [2013].
- B 90 Minna Söderqvist:
Asiakaskeikeistä kansainvälistymistä Kymenlaakson ammattikorkeakoulun yritysysteistyössä [2013].
- B 91 Sari Engelhardt, Marja-Leena Salenius, Juhani Pekkola:
Hyvän tuulen palvelu. Kotkan terveystioski hyvinvoinnin edistäjänä - Kotkan terveystioskikokeilun arviointi 2011-2012 [2013].
- B 92 Anne Fransas, Enni Nieminen, Mirva Salokorpi:
Maritime security and safety threats – Study in the Baltic Sea area [2013].
- B 93 Valdemar Kallunki (toim.):
Elämässä on lupa tavoitella onnea: Nuorten aikuisten koettu hyvinvointi, syrjäytyminen ja osallisuus Kaakkois-Suomessa ja Luoteis-Venäjällä. Voi hyvin nuori -hankkeen loppuraportti. [2013].

- B 94 Hanna Kuninkaanniemi, Pekka Malvela, Marja-Leena Saarinen (toim.):
Research Publication 2013 [2013].
- B 95 Arja Sinkko (toim.):
Tekniikan ja liikenteen toimialan LCCE-toiminta Yritysyhteistyönä käytännössä: logistiikan opiskelijoiden "24 tunnin ponnistus"[2013].
- B 96 Markku Nikkanen:
Notes & Tones on Aspects of Aesthetics in Studying Harmony and Disharmony: A Dialectical Examination [2013].
- B 97 Riitta Leviäkangas (toim.):
Yhteiskuntavastuuraportti 2012 [2013].
- B 98 Mervi Nurminen, Teija Suoknuuti, Riina Mylläri (toim.):
Sidos 2013, NELI North European Logistics Institute - Katsaus logistiikan kehitysohjelman tuloksiin [2013].
- B 99 Jouni-Juhani Häkkinen, Svenja Baer, Hanna Ricklefs:
Economic comparison of three NOx emission abatement systems [2013].
- B 100 Merja Laitoniemi:
Yksinäisyydestä yhteisöllisyyteen. Yhteisöllistä hoitotyötä Elimäen Puustellissa [2013].
- B 101 Kari Stenman (toim.):
ROCKET. Kymenlaakson ammattikorkeakoulun osahankkeen loppuraportti [2013].
- B 102 Hannu Sarvelainen, Niko Töyrylä:
Koelaitte biomassan torrefiointiin. Biotuli-hankkeen tutkimusraportti 2013 [2013].
- B 103 Saara Eskola:
Biotuli-hanke. Puupohjaiset antibakteeriset tuotteet infektioiden torjunnassa [2013].
- B 104 Hilikka Dufva, Juhani Pekkola:
Matkustajalaivaliikennettä harjoittavan varustamon yhteiskuntaeettinen liiketoiminta [2013].
- B 105 Mirva Pilli-Sihvola (toim.):
Muuttuuko opettajuus ja mihin suuntaan? Yhteisöllisen verkko-oppimisen ja mobiilioppimisen mahdollisuuksia etsimässä [2013].
- B 106 Anne Fransas, Enni Nieminen, Mirva Salokorpi:
Maritime security and security measures – Mimic Study in the Baltic Sea Area [2013].
- B 107 Satu Peltola (ed.):
Wicked world – The spirit of wicked problems in the field of higher education [2013].

- B 108 Hannu Sarvelainen, Niko Töyrylä:
Erialaisten biomassojen soveltuvuus torrefiointiin. BIOTULI-hankkeen tutkimusraportti 2013 [2013].
- B 109 Tiina Kirvesniemi:
Ammattikorkeakouluopintoihin valmentava koulutus maahanmuuttajille – kokemuksia Kymenlaaksossa [2013].
- B 110 Jari Hyyryläinen, Pia Paukku ja Emmi Rantavuo:
Trik-hanke. Kotka, Kundan ja Krostadtin välisen laivareitin matkustaja- ja rahtipotentialin selvitys. [2013].
- B 111 Heta Vilén, Camilla Grönlund (toim.):
LCCE-harjoittelu. Harjoitteluprosessi osana LCCE-konseptia [2013].
- B 112 Kati Raikunen, Riina Mylläri:
Kaakkois-Suomen logistiikkakatsaus [2014].
- B 113 Tuomo Pimiä (ed.):
Info package of wind energy [2014].
- B 114 Anni Anttila, Riina Mylläri:
Vertailu tuulivoimapaiston meri- ja maantiekuljetuksesta - Renewtech-projekti [2014].
- B 115 Tuomo Pimiä (ed.):
Organic waste streams in energy and biofuel production [2014].
- B 116 Kati Raikunen, Mikko Mylläri:
Merituulivoimaloiden logistiikka- ja markkinaselvitys Itämerellä [2014].
- B 117 Seija Aalto, Tuija Vääntinen (ed.):
Research Publication 2014 [2014].
- B 118 Anna Närhi, Marjo Parkkonen:
AVH-potilaan hoidon viiveet Pohjois-Kymen sairaalassa [2014].
- B 119 Mikko Mylläri:
Tuulivoimalan satamalogistiikan ratkaisuehdotus [2014].
- B 120 Kari Stenman:
Big thinking for small businesses. Small Business Act. Interviews in the Baltic countries [2014].
- B 121 Mervi Nurminen:
Kymenlaakson logistiikan kehitysohjelma. NELI 2007 – 2013 [2014].
- B 122 Kari Stenman, Juhani Talvela
Julkisen sektorin auttajaorganisaatioiden rooli pk-yritysten kehittämisessä. Boat-hanke. [2014].

- B 123 Marja Metso (toim.):
Yhteiskuntavastuuraportti 2013 [2014].
- B 124 Jouni-Juhani Häkkinen, Kari Stenman, Amanda Taka-aho (toim.):
Innovaatiotukiprosessin kehitys Kymenlaakson ammattikorkeakoulussa [2014].
- B 125 Justiina Halonen
TalviSökö. Kirjallisuuskatsaus alusöljyvahingon rantatorjunnasta talviolosuhteissa [2014].
- B 126 Soili Lehto-Kylmänen
Korkea-asteen koulutus Venäjän federaatiossa – 20 vuotta muutosta [2014].
- B 127 Patrik Ikäläinen
Olen tullut vähän rohkeammaksi. Talous ja sosiaalinen pääoma Kotkan Nuorisoteatterissa [2014].
- B 128 Valdemar Kallunki, Pekka Malvela (toim.)
Sidos 2014 - Hyvinvointi- ja liiketoimintapalvelut, uudistuvaa elinvoimaisuutta [2014].
- B 129 Osku Kiri, Talvikki Huovi, Pekka Malvela (toim.)
Learning Garden. Pedagogisia kukintoja LCCE®-mallin reunamilla [2014].
- B 130 Heidi Gäsman
Kymenlaakson ammattikorkeakoulun opiskelijoiden nukkuminen ja unen vaikutukset opiskeluun [2014].
- B 131 Hannu Sarvelainen, Marko Saxell, Arja Sinkko, Mikko Suikkanen, Erja Tuliniemi
Energiatehokkuuden kehittäminen energiakatselmuksella - Step to Ecosupport -hanke 2013 – 2014 [2014].
- B 132 Kari Kokkonen, Pekka Malvela (toim.)
Developing Tourism via Finnish – Russian Cross-Border Cooperation: Case studies conducted by Finnish Universities of Applied Sciences [2014].
- B 133 Harri Ala-Uotila, Tarja Brola, Nina Hartikainen, Pasi Jaskari, Ilpo Salmela, Ilkka Virolainen
Uutta elinvoimaa. Yritysvalmennuksen opas. [2014].
- B 134 Anne Fransas, Emmi Rantavuo
Uudistuneen jätelain vaikutukset HaminaKotkan Satamassa toimiviin PK-yrityksiin [2014].
- B 135 Anna Eskola, Pekka Malvela, Juhani Talvela (toim.)
KymiLabs [2014].
- B 136 Arto Ahlberg
Tehola - Kullasvaaran Yrityspuistohanke. TEKU -projektin 2. vaihe, Teholan yritysverkoston toiminnan kehittäminen [2015].
- B 137 Aleksis Sallinen
Vastaanotto-prosessin kehittäminen. Case: Tools Finland Oy [2015].

- B 138 Kari Stenman & Juhani Talvela
Energian tulevaisuus. Elinvoimainen Kaakkois-Suomi 2050 [2015].
- B 139 Päivi Okuogume
EK-ARTU-hankkeen loppuraportti. Etelä-Kymenlaakson kuntien turvallisuussuunnitelman laatimisprosessi, turvallisuustyön arviointia ja kehittämisehdotuksia tulevaisuuteen [2015].
- B 140 Markku Huhtinen, Anne Jääsmaa, Pekka Malvela (eds.)
Research, Development and Innovation Activities at Kymenlaakso University of Applied Sciences [2015].
- B 141 Sari Ranta:
Koskenrinteen ergonomia. Siirtoergonomia hoitohenkilöstön tuki- ja liikuntaelinsairauksien vähentämisessä ja työolojen parantamisessa Palvelutaloyhdistys Koskenrinne ry:ssä [2015].
- B 142 Marja Metso (toim.):
Yhteiskuntavastuuraportti 2014 [2015].
- B 143 Marja Metso (ed.):
Annual Responsibility Report 2014 [2015].
- B 144 Satu Anttonen
Hyvinvointialan yrittäjyyden kehittäminen. Työohjeiden digitalisointi [2015].
- B 145 Sirpa Ala-Tommola (toim.)
Jatkuvasti kehittyvä ammattikorkeakoulu. Auditoinnit Kyamkin kehityksen tukena [2015].
- B 146 Tommy Ulmanen, Markus Petteri Laine
Etelä-Kymenlaakson seudun älykäs erikoistuminen 2020. Esiselvitysraportti. [2015].
- B 147 Tomi Oravasaari, Juho-Matti Paavola, Jussi Nissilä
Mahdollisuuksien meri – 23 suositusta Suomen meriklusterin osaamisen kehittämiseksi [2015].
- B 148 Päivi Mäenpää, Anneli Airola (toim.)
Sidos 2015 - Kurkistuksia Kymenlaakson ammattikorkeakoulun terveysalan ja työelämän kumppanuksiin [2015].
- B 149 Tommy Ulmanen, Markus Petteri Laine
The Smart Specialisation of Southern Kymenlaakso 2020. A preliminary study report [2016].
- B 150 Juhani Pekkola, Olli Lehtonen
The Motives for Having Children and the Consequences of the Changes in the Age Structure [2016].
- B 151 Juhani Pekkola
Branding the Strengths of Maritime Business [2016].

- B 152 Juhani Pekkola, Sanna Haavisto
Infesto - Anti-infection policy [2016].
- B 153 Sirkka Komulainen
Games and Gamification. Discussions for and against their health benefits [2016].
- B 154 Tiivi Pukkila-Nupponen, Riitta Leviäkangas (toim.)
Yhteiskuntavastuuraportti 2015 [2016].
- B 155 Tiivi Pukkila-Nupponen, Riitta Leviäkangas (eds.)
Annual Responsibility Report 2015 [2016].
- B 156 Arto Ahlberg
Kaasurenessanssihankkeen yhteisraportti [2016].
- B 157 Kirsi Tallinen ja Erja Tuliniemi (toim.)
Energiaopintojen elinkaari polku. Kymenlaakson alueen energia-alan koulutuksen kehittäminen [2016].



KYAMK

University of Applied Sciences