

Turun yliopiston maantieteen laitos

Emilia Luoma

SUOMEN ÖLJYNTORJUNTA-ALUSTEN KERUUTEHOKKUUDEN
MALLINTAMINEN SUOMENLAHDELLA

Maantieteen pro gradu -tutkielma

Turku
Syksy 2010

TURUN YLIOPISTO
Maantieteen laitos
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

LUOMA, EMILIA: Suomen öljyntorjunta-alusten keruutehokkuuden mallintaminen Suomenlahdella

Pro gradu -tutkielma, 77 s., 5 liitesivua
40 op
Maantiede
Syyskuu 2010

Öljykuljetukset ovat lisääntyneet selvästi Suomenlahdella, ja samalla myös suuronnettomuuden todennäköisyys on kasvanut. Suomenlahti on erittäin herkkä saastumiselle, joten suurella öljyonnettomuudella voisi olla erittäin vakavat seuraukset. Suomenlahdella on muun muassa otettu käyttöön useita erilaisia valvonta- ja seurantajärjestelmiä öljyonnettomuuksien estämiseksi. Onnettomuuksien ennaltaehkäiseminen on paras keino estää suuren öljyonnettomuuden aiheuttama ekologinen katastrofi. Ehkäisevien toimenpiteiden lisäksi Suomenlahdelle tarvitaan kuitenkin myös tehokas öljyntorjuntajärjestelmä. Tässä tutkimuksessa luodaan katsaus Suomen öljyntorjuntajärjestelmään ja kehitetään todennäköisyyspohjainen Bayes-verkkomalli, jonka avulla voidaan tarkastella Suomen avomerien öljyntorjunta-alusten keruutehokkuutta Suomenlahdella ja sitä, miten öljyntorjunta-alukset olisi optimaalisinta sijoittaa eri satamiin. Tarkasteluun on otettu neljä satamaa: Kotka, Helsinki, Kirkkonummi ja Turku. Lisäksi Suomenlahdelta on valittu viisi aluetta, joissa onnettomuuden todennäköisyys on keskimääräistä suurempi, ja mallinnus tapahtuu näiden alueiden avulla. Käytettävissä olevan tietokoneen muistin rajallisuuden vuoksi tässä tutkimuksessa esitelyyn malliin on sisällytetty vain kuusi öljyntorjunta-alusta.

Tulosten mukaan öljyntorjunta-alusten optimaalisella sijoittamisella ei näytä olevan kovin suurta merkitystä öljyntorjunta-alusten keruutehokkuuteen. Jos öljyonnettomuus tapahtuu Suomenlahdella, Suomen öljyntorjunta-aluksilla voi melko suurella todennäköisyydellä saada kerättyä jopa 80–100 % mereen vuotaneesta öljystä ympäristöolosuhteiden ollessa suotuisat. Suurin vaikutus öljyntorjunnan tehokkuuteen on erilaisilla ympäristötekijöillä, kuten aallonkorkeudella ja vuodenajalla, joihin ihminen ei voi vaikuttaa. Öljyntorjunnan onnistuminen on siten aina epävarmaa, ja siksi on erittäin tärkeää kehittää myös öljyonnettomuuksien ennaltaehkäisyä.

ASIASANAT: Bayes-verkot, Öljyvahingot, Öljyntorjunta, Suomenlahti

Sisällysluettelo

1 Johdanto	1
2 Taustaa	3
2.1 Öljyonnettomuuksien historiaa	3
2.2 Aikaisempia tutkimuksia	5
2.3 Suomenlahti tutkimusalueena	7
2.4 Öljy	8
2.5 Suomenlahden öljykuljetukset	9
2.6 Merenkulun turvallisuus	10
2.6.1 Riskinhallinta	10
2.6.2 GOFREP, VTS, AIS ja kaksirunkoisuus	11
2.6.3 Onnettomuustyytit	12
2.7 Öljyvahinko	14
2.8 Öljyntorjunta Suomessa.....	15
2.8.1 Lainsäädäntö ja kansallinen öljysuojarahasto	15
2.8.2 Mekaaninen öljyntorjunta	15
2.8.3 Öljyntorjunta-alukset ja kansainvälinen yhteistyö	16
2.8.4 Toiminta onnettomuuden sattuessa	19
3 Menetelmät	21
3.1 Bayes-päätely ja -verkot	21
3.2 Asiantuntijahaastattelut	25
4 Malli	30
4.1 Mallin rakenne	30
4.2 Ympäristötekijöihin liittyvät muuttujat	34
4.3 Öljyn leviämiseen liittyvät muuttujat	39
4.4 Öljyntorjunta-aluksiin liittyvät muuttujat.....	43
5 Tulokset.....	53
5.1 Prioritilanne (Sk0).....	53
5.2 Onnettomuusskenaariot (Sk1–3).....	55
5.3 Alusten keruutehokkuus	58
5.4 Öljyn poistoprosentti merestä.....	59
5.5 Alusten sijoittaminen	60
6 Tulosten tarkastelu	62
6.1 Tutkimuskysymykset	62
6.2 Asiantuntijahaastattelut	63
6.3 Alusten keruutehokkuus ja poistoprosentti	64
7 Pohdinta	66

Liitteet

LIITE 1. Kysymykset Jouko Pirttijärvälle

LIITE 2. Kysymykset öljyntorjunta-aluksilla työskenteleville henkilöille

LIITE 3. Mallin muuttujat, muuttujien tyyppi ja tilat

1 Johdanto

Viime vuosien aikana meriliikenne ja erityisesti öljykuljetukset ovat lisääntyneet selvästi Itämerellä ja Suomenlahdella (Hietala & Lampela 2007: 16). Samalla kun öljykuljetukset ovat lisääntyneet, myös riski suurelle öljyonnettomuudelle on kasvanut. Suomenlahti on matala ja herkkä murtovesiallas, jonka ekosysteemi ei kestä suurta öljyonnettomuutta. Suurella öljyonnettomuudella voisikin olla monin tavoin vahingolliset seuraukset (Hänninen & Rytönen 2004: 96). Öljykuljetusten ja meriliikenteen turvallisuutta on pyritty lisäämään erilaisten valvontajärjestelmien ja sopimusten, kuten alusten liikennejärjestelmän (VTS) ja alusten pakollisen ilmoittautumisjärjestelmän (GOFREP) avulla. Niin kauan kun öljykuljetuksia jatketaan Suomenlahdella, suuren öljyonnettomuuden vaara on kuitenkin aina olemassa. Jotta suuren öljyonnettomuuden aiheuttamalta ekologiselta katastrofilta voitaisiin välttyä, meriliikenteen turvallisuutta on parannettava ja onnettomuuksien ennaltaehkäisyyn on panostettava entistä enemmän. Ennaltaehkäisy on varmin ja halvin keino estää suuren öljyonnettomuuden aiheuttamat vakavat seuraukset. Valitettavasti kaikkia onnettomuuksia ei voida ennaltaehkäistä. Sen vuoksi Suomenlahdella tulee huolehtia myös riittävästä öljyntorjunnan tasosta.

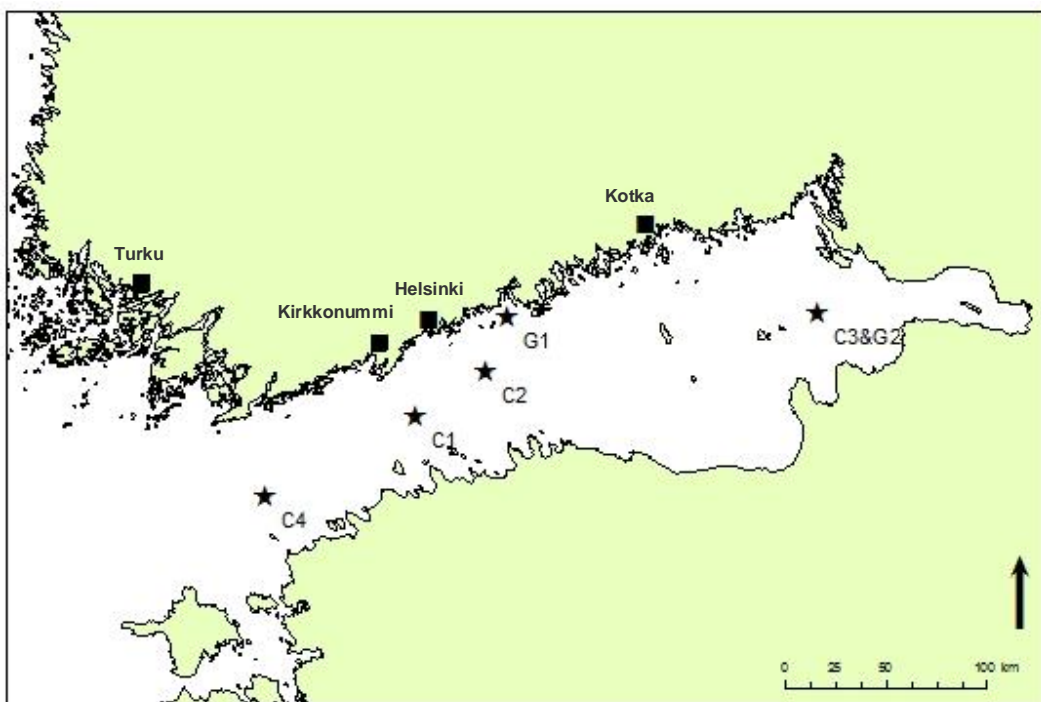
Suomessa öljyntorjunta perustuu mekaaniseen öljyntorjuntaan eli öljyntorjunta-alusten ja puomien käyttöön. Suomen valtiolla on tällä hetkellä 14 avomerikelpoista, itsenäisesti öljyä keräävää öljyntorjunta-alusta. Lisäksi Ahvenanmaan maakuntahallituksella on yksi alus. Torjunta-alusten määrä, sijainti, valmius ja keruukapasiteetti vaikuttavat siihen, kuinka paljon öljyä saadaan kerättyä merestä öljyonnettomuuden jälkeen. (Hietala & Lampela 2007: 7, 9.) Ympäristötekijöillä on myös suuri vaikutus öljynkeruutehokkuuteen, ja pahimmillaan ne estävät öljyntorjunta-aluksilla tapahtuvan öljyn keruun kokonaan. Öljyntorjunnan onnistuminen on siis aina olosuhteista riippuvaista ja siksi epävarmaa.

Tässä tutkimuksessa kehitetään Bayes-verkkomalli, jonka avulla on mahdollista tarkastella Suomen mekaanista öljyntorjuntaa Suomenlahdella. Tutkimuksessa selvitetään öljyntorjunta-alusten keruutehokkuutta erilaisissa olosuhteissa ja tarkastellaan, miten öljyntorjunta-alukset olisi optimaalisinta sijoittaa Suomenlahden ja Saaristomeren satamiin, kun otetaan huomioon keskimääräistä onnettomuusalttiimmat alueet ja

onnettomuusparametrien ennustamattomuus (Kuva 1.). Työssä otetaan huomioon ainoastaan avomerellä tapahtuva mekaaninen öljyntorjunta, jossa käytetään itsenäisesti öljyä kerääviä öljyntorjunta-aluksia.

Keskeiset tutkimuskysymykset ovat:

1. Kuinka suuri on Suomen öljyntorjunta-alusten oletettava öljynkeruutehokkuus, kun otetaan huomioon useiden onnettomuuteen liittyvien tekijöiden ennustamattomuus?
2. Miten Suomen öljyntorjunta-alukset olisi optimaalisinta sijoittaa eri satamiin, kun otetaan huomioon onnettomuusalttiimpien alueiden jakautuminen Suomenlahdella?
3. Kuinka suuri vaikutus öljyntorjunta-alusten optimaalisella sijoittamisella on öljynkeruutehokkuuteen?



Kuva 1. Viisi keskimääräistä onnettomuusalttiimpaa aluetta Suomenlahdella (C1, C2, C3&G2, C4 ja G1) ja öljyntorjunta-alusten neljä sijoituspaikkaa. Alueet C1–C4 ovat keskimääräistä alttiimpia alusten yhteentörmäyksille ja alueet G1–G2 karilleajoille. (Kartta-aineisto vapaasta tietokannasta <http://www.grida.no/baltic>).

Tämä tutkimus on tehty osana EU-rahoitteista SAFGOF-projektia (Suomenlahden meriliikenteen kasvunäkymät 2007–2015 ja kasvun vaikutukset ympäristölle ja kuljetusketjujen toimintaan). Projekti käynnistyi vuoden 2008 tammikuussa ja päättyi joulukuun 2010 lopussa. SAFGOF-projektissa on kahdeksan työpakettia, ja tämä tutkimus on osa työpakettia: ”Meriliikenteen aiheuttamat ympäristöriskit”, josta vastaa Helsingin yliopiston Ympäristötieteiden laitos. (Merikotka 2009.)

2 Taustaa

2.1 Öljyonnettomuuksien historiaa

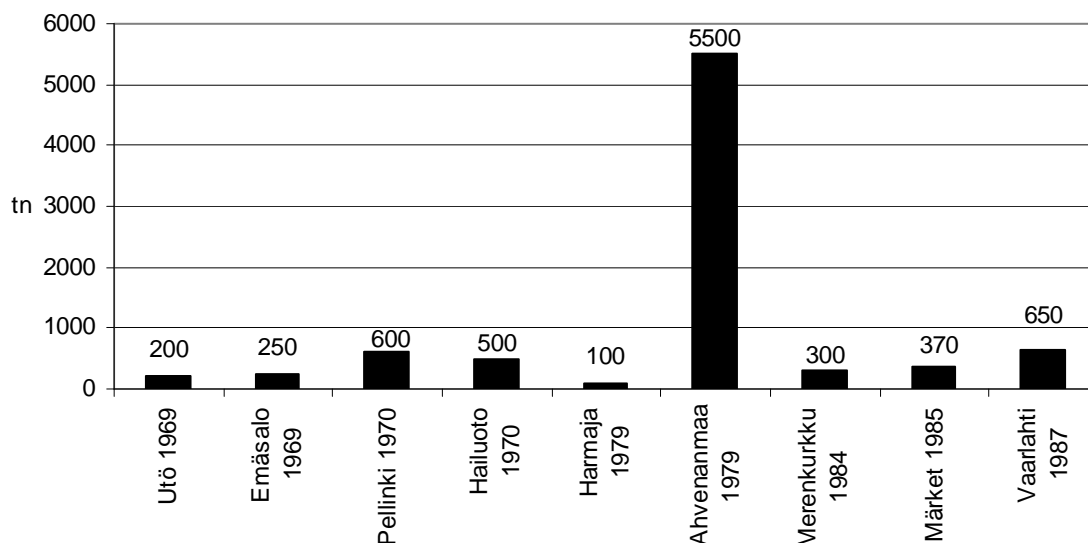
Maailman ensimmäiset öljytankkerit aloittivat öljynkuljetuksen 1800-luvulla (IMO 2009). Öljyliikenteen kasvun myötä tietoisuus öljyn mahdollisista ympäristövaikutuksista lisääntyi (IMO 2009), ja 1900-luvulla öljystä aiheutuva merten saastuminen alettiin nähdä ongelmana. Vuonna 1967 Torrey Canyonin karilleajo Englannissa oli ensimmäinen suuri öljyonnettomuus, joka sai laajaa kansainvälistä huomiota. Onnettomuuden seurauksena kansainvälisiä lakeja kiristettiin (ITOPF 2010b).

Yksi maailman pahimmista ja kalleimmista öljyonnettomuuksista tapahtui Prinssi Williamin salmessa Alaskassa, kun tankkeri Exxon Valdez ajoi karille vuonna 1989 ja noin 37 000 tonnia raakaöljyä pääsi veteen. Öljy saastutti arviolta 1 800 km rantaviivaa ja tappoi muun muassa kymmeniätuhansia lintuja. (ITOPF 2010a.) Vielä kaksikymmentä vuotta onnettomuuden jälkeen Prinssi Williamin salmen rannoilta löytyy öljyä (WWF 2009). Öljy ei ole hävinnyt alueelta, vaan se on säilynyt myrkyllisenä muun muassa kylmän ilmaston sekä aaltojen ja myrskyjen vähäisyyden vuoksi (EVOSTC 2009). Euroopassa suurimpia viime aikoina tapahtuneita öljyonnettomuuksia ovat olleet Erikan karilleajo Ranskan lähivesillä vuonna 1999, jossa mereen pääsi noin 20 000 tonnia öljyä, ja Prestigen karilleajo Espanjan lähivesillä vuonna 2002, kun mereen pääsi yli 60 000 tonnia öljyä.

Suomessa ensimmäinen raakaöljyonnettomuus tapahtui, kun öljynjalostamo Neste Oy:n säiliölaiva Palva ajoi karille Utössä 1.5.1969. Vasta Palvan onnettomuuden jälkeen Suomessa herättiin toden teolla öljyntorjunnan kehittämiseen. Kokemukset herättivät myös

päättäjät huomaamaan, että rannikoltamme ja erityisesti vilkkaimmalta meriväylältä, Saaristomereltä puuttui öljyntorjuntakaluston varastointiasemat. Onnettomuuden jälkeen Utöhön perustettiin Suomen ensimmäinen öljyntorjuntakaluston varastointiasema. (Lahtonen 2004: 31.) Tähän vaikuttivat todennäköisesti myös kaksi muuta vuonna 1969 Suomen merialueilla tapahtunutta (Eira ja Raphael) öljytankkerin karilleajoa. Yleisen käsityksen mukaan öljyvahingot ovat alkaneet merialueellamme vuonna 1969, mutta todellisuudessa vuosina 1946–1969 Suomen merialueella tapahtui yli 60 tahatonta sekä satoja tahallisia öljypäästöjä. Itämereen alkoi öljytuhojen seurauksena muodostua ympäristöongelma jo 1940-luvun lopulla. (Korhola 2006: 5.)

Tähän mennessä Suomen merialueiden pahin öljyonnettomuus tapahtui vuonna 1979, kun öljytankkeri Antonio Gramsci ajoi karille Latviassa. Mereen pääsi arviolta 5500 tonnia öljyä, ja sitä ajelehti aina Ahvenanmerelle asti (Kuva 2.). (SYKE 2008.) Erityisen lähellä suuronnettomuus oli Suomenlahdella vuoden 2007 helmikuussa, jolloin kaksirunkoinen raakaöljytankkeri Propontis ajoi karille Suomenlahdella Suursaaren länsipuolella. Sillä oli lastinaan 100 000 tonnia öljyä. Törmäys aiheutti alukseen repeämiä, mutta aluksen kaksirunkoisuuden ansioista mereen ei päässyt öljyä. (SYKE 2007.) Propontis ehti seilata puoli tuntia väylän ulkopuolella ilman, että Venäjän alusten valvontajärjestelmät huomasivat sitä. Muun muassa WWF on vaatinut, että Suomen, Venäjän ja Viron tulisi analysoida ja korjata puutteet alusten liikennejärjestelmässä (VTS) ja alusten pakollisessa ilmoittautumisjärjestelmässä (GOFREP), jotta tällaiset onnettomuudet voitaisiin välttää. Lisäksi on vaadittu, että Itämerellä seilaavilla miehistöillä tulisi olla talvinavigointitaidot. (WWF 2007.) Tällä kertaa selvittiin pelkällä säikähdyksellä, mutta Propontiksen karilleajo oli muistutus siitä, että Suomenlahdella voi milloin tahansa tapahtua suuri öljyonnettomuus.



Kuva 2. Vakavimmat öljyjonnettomuudet Suomen öljyntorjunnan vastuualueella vuosina 1969–2009 (SYKE 2010a).

2.2 Aikaisempia tutkimuksia

Öljyjonnettomuudet ovat herättäneet sekä tutkijat että päättäjät etsimään keinoja öljyjonnettomuuksien vähentämiseksi ja toisaalta ympäristövaikutusten minimoimiseksi.

Knapp & Franses (2009) ovat tutkineet Kansainvälisen merenkulkujärjestö IMO:n sopimusten vaikutuksia merenkulun turvallisuuteen ja merten saastumiseen. Muun muassa Torrey Canyonin onnettomuuden jälkeen hyväksytyn kansainvälisen sopimuksen MARPOL 73/78 (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) perusteella tehdyt muutokset ovat heidän tutkimuksensa mukaan vähentäneet öljyjonnettomuuksien määrää. Česnauskis (2007: 187) on analysoinut Liettuassa metodeja, joita käytetään arvioitaessa öljyn mereen pääsyn todennäköisyyttä. Lisäksi hän on pyrkinyt kehittämään sopivan metodin, jonka avulla voidaan ennustaa öljyn mereen pääsyn todennäköisyys Liettuan eri vastuualueilla.

Tällä hetkellä on käynnissä useita kansallisia ja kansainvälisiä projekteja, joissa tutkitaan meriliikenteen turvallisuutta tai öljyjonnettomuuden aiheuttamaa riskiä Suomenlahdella. Kujala ym. (2009) ovat tutkineet SAFGOF-projektin yhteydessä Suomenlahdella vuosina 1997–2006 tapahtuneita onnettomuuksia todeten, että puolessa tapauksista, joissa syy on raportoitu, onnettomuus on johtunut inhimillisestä virheestä. Rothblum ym. (2002) mukaan

inhimillinen tekijä on ollut ainakin osittain syyllinen yli 80 % tankkerionnettomuuksista. Kansallisessa METKU (Merenkulun turvallisuuskulttuurin kehittäminen) hankkeessa, jossa tutkitaan merenkulun turvallisuutta Suomessa, Lappalainen (2008) on tutkinut kansainvälisen turvallisuusjohtamissäännöstö ISM-koodin (International Safety Management code) vaikutuksia merenkulun turvallisuuteen. Hän on havainnut, että turvallisuuskulttuurista on tullut osa merenkulkua, mutta toimintatavoissa on edelleen parannettavaa. Kansainvälisessä OILRISK-hankkeessa puolestaan tutkitaan öljyonnettomuuden riskiä Suomenlahden ja Saaristomeren luontoarvoille ja uhanalaisille lajeille sekä selvitetään mahdollisuuksia vähentää ympäristölle aiheutuvaa haittaa avomeri- ja rantatorjunnalla (Merikotka 2010). Jo päättyneessä kansainvälisessä OILECO-hankkeessa Kokkonen ym. (2010) ovat kehittäneet dynaamisen kartoitustyökalun, jonka avulla voidaan vertailla Suomenlahden rannikon alueiden ekologista arvoa ja tehdä optimaalinen päätös öljyntorjuntapuomien sijoittamisesta öljyonnettomuuden jälkeen.

Maailmalla on otettu käyttöön suuri määrä erilaisia öljynkulkeutumismalleja ennustamaan öljyn kulkeutumista meressä. Niiden tärkein tehtävä on parantaa öljyntorjunnan strategioita ja sitä kautta vähentää öljypäästön ympäristöllisiä vaikutuksia. (Reed ym. 1999.) Myös Suomenlahdelle on tehty öljynkulkeutumismalleja, jotta voidaan ennustaa minne öljy kulkeutuu onnettomuuden jälkeen. Ovsienko (2002) on kehittänyt öljynkulkeutumismallin SpillMod:in, jota voidaan käyttää apuna onnettomuusskenaariomallinnuksessa arvioitaessa Suomenlahden eri osien öljyntyymistodennäköisyyttä. Vuosina 2002–2003 Suomessa toteutettiin hanke ”Suomenlahden mallien hyödyntäminen operatiivisessa öljyntorjunta ja meripelastustoiminnassa”, jonka seurauksena Suomenlahdelle kehitettiin ja otettiin käyttöön kulkeutumisenustejärjestelmä OpHespo (Gästgifvars ym. 2004). Monissa malleissa öljyntorjuntatoimet ovat edelleen kuitenkin melko rajoittuneita, ja vain osalla malleista voidaan ylipäätään simuloida öljyntorjuntatoimia. (Reed ym. 1999). Reed ym. (1995) ovat kehittäneet mallin, joka tarjoaa työkalun kvantitatiiviseen ja objektiiviseen vaihtoehtoisten öljyntorjuntastrategioiden arvioimiseen.

2.3 Suomenlahti tutkimusalueena

Suomenlahti on Itämeren koillisosassa sijaitseva merenlahti, joka sijaitsee koordinaattien 59°11'N, 22°50'E ja 60°46'N, 30°20'E välissä (Alenius ym. 1998: 98). Se on noin 400 kilometriä pitkä, hyvin matala, ja sen leveys vaihtelee 58 kilometristä 135 kilometriin. Suomenlahtea ympäröi kolme valtiota: Suomi, Viro ja Venäjä. Suomenlahti on erittäin tärkeä väylä laivaliikenteelle ja erityisesti öljykuljetuksille. (Hänninen & Rytönen 2004: 17.) Se on merkittävä kuljetusreitti muun muassa Venäjältä Länsi-Eurooppaan (Hietala & Lampela 2007: 17).

Osa Suomenlahdesta jäätyy joka talvi, mutta jääpeitteen laajuus vaihtelee vuosittain. Jäät vaikeuttavat meriliikennettä ja kasvattavat siten myös onnettomuustodennäköisyyttä. Jäätyminen alkaa Suomenlahdella keskimäärin joulukuun alussa, ja yleensä Suomenlahti on jäässä joulukuusta maaliskuuhun. Kylmimpinä talvina kaikki Suomenlahden satamat jäätyvät, mutta leudompina talvina eteläiset satamat pysyvät auki. (Hänninen & Rytönen 2004: 25–27.) Vaikeiden jääolosuhteiden lisäksi Suomenlahti on erityisen riskialtis öljyvahingolle tiheän meriliikenteen ja suurten öljytankkerien takia (Hänninen & Rytönen 2004: 110).

Suomenlahden fysikaalis-kemialliset erityispiirteet, kuten alhainen suolapitoisuus ja kylmyys, tekevät siitä eliöille haastavan elinympäristön, joten sen ekosysteemi on öljyonnettomuuden sattuessa erityisen haavoittuva. Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO (International Maritime Organisation) on nimennyt koko Itämeren alueen, lukuun ottamatta talousvyöhykkeitä ja Venäjän aluevesiä, erityisen herkäksi merialueeksi. Sen perusteella IMO voi hyväksyä alueelle omia merenkulun riskejä vähentäviä määräyksiä ja rajoituksia. (Kuronen & Tapaninen 2007: 23.)

Elinkeinonharjoittajat luonnonvara- ja matkailualalla ovat monin tavoin riippuvaisia meren tarjoamista ekosysteemipalveluista. Suomenlahdella on myös suuri virkistyskäyttöarvo rannikon asukkaille ja matkailijoille. Suomenlahden kapean ja rikkonaisen rannikon takia pienikin öljyonnettomuus voisi aiheuttaa vakavia ja laaja-alaisia seurauksia rannikkoalueen luonnolle ja ihmisille (Hänninen 2005: 12). Suuren luokan öljyonnettomuus Suomenlahdella saattaisi olla todellinen katastrofi niin ekologisesti kuin taloudellisestikin

(Hänninen & Rytönen 2004: 96). Se romahduttaisi kalakantoja ja likaisi rannikkoa. Pahimmillaan tällainen onnettomuus voisi aiheuttaa kokonaisten eliölajien tai jopa -yhteisöjen tuhoutumisen rannikkoalueilla (Raateoja ym. 2008: 93–94). Sää- ja virtausolosuhteiden takia Suomenlahdella tapahtuvan öljyvahingon saastumisvaikutukset ulottuvat lähes aina Suomen alueelle (Asiantuntijaryhmän loppuraportti 2008: 12). Siksi Suomenlahden öljyvahinkojen ennaltaehkäisy ja öljyntorjunta on erityisen tärkeää juuri Suomelle.

2.4 Öljy

Öljyllä tarkoitetaan kivennäisöljyä sen kaikissa muodoissaan (Haapasaari & Hietala 2000: 12). Erilaisia öljytuotteita ovat nestekaasut, bensiinit, petrolit, dieselöljyt, kevyet polttoöljyt, raskaat polttoöljyt ja bitumit. Näiden jalostettujen tuotteiden lisäksi on olemassa raakaöljyä, joka muistuttaa raskasta polttoöljyä. (Lehmuskoski 2006: 4.) Kaikki öljytuotteet jalostetaan raakaöljystä.

Öljyt ovat myrkyllisiä ja hitaasti luonnossa hajoavia yhdisteitä. Öljyn myrkylliset vaikutukset aiheuttavat muun muassa myrkytystiloja, soluvaurioita ja pitkällä aikavälillä kehityshäiriöitä. Osa myrkyllisistä aineista on rasvaliukoisia, joten ne kertyvät elimistöön. Ravintoverkon kautta myrkyt voivat siirtyä myös ihmiseen. (Lehmuskoski 2006: 3.)

Öljyn käyttäytymiseen vedessä vaikuttaa sen rakenne sekä monet muut fysikaaliset ominaisuudet. Useimmat öljytuotteet ovat vettä kevyempiä, veteen liukenemattomia ja huoneenlämmössä nestemäisiä (Lehmuskoski 2006: 3). Meressä erilaiset fysikaaliset, biologiset ja kemialliset prosessit muuttavat öljyn koostumusta (Aalto ym. 2006: 17). Kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien lisäksi öljyn leviämiseen ja käyttäytymiseen meressä vaikuttavat muun muassa aallot, veden virtaukset ja sää. Näitä kutsutaan yhteisnimellä säästymisilmiöt. Ne levittävät öljyä, vähentävät sen määrää haihtumisen kautta, muuttavat sen rakennetta ja voivat joissakin tapauksissa jopa lievittää ympäristövaikutuksia. Säästymisellä tarkoitetaan öljyn leviämistä, haihtumista, emulgoitumista, dispersiota, hapettumista, liukenemista, sedimentoitumista ja biohajoamista. (Nissinen 2000: 10, 11.) Öljyn laatu ja vuodenaika vaikuttavat öljyn

säistymisnopeuteen (Mäkinen 2005: 95). Esimerkiksi lämpimällä säällä öljyä haihtuu enemmän kuin kylmällä.

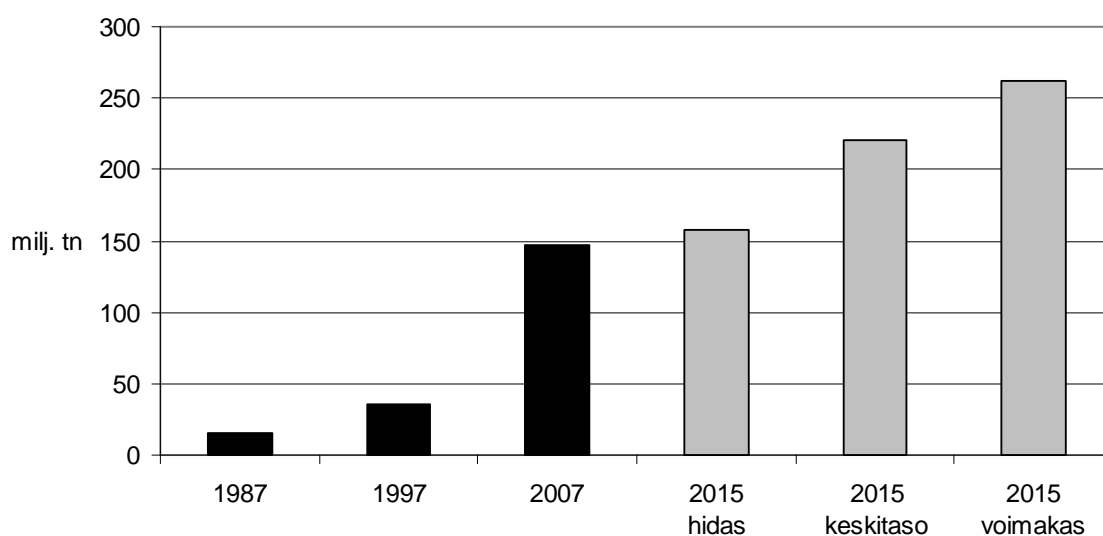
Öljy käyttäytyy jokaisessa öljyvuodossa eri tavalla, ja sen vuoksi mereen joutuneen öljyn reaktioita on hyvin vaikea ennakoida (Nissinen 2000: 8). Öljyn kulkeutumiseen Suomenlahdella vaikuttavat pintavirtaukset, jotka ovat riippuvaisia muun muassa vallitsevasta tuulensuunnasta ja -nopeudesta, pohjan ja rannikon muodoista sekä maapallon pyörimisliikkeestä. Näistä tekijöistä johtuen pintavirtaukset kulkevat Suomenlahdella keskimäärin vastapäivään. (Itämeriportaali 2010c.) Tällä perusteella Itämeren valtioista Suomen rannikko tulisi todennäköisesti kärsimään suurimmat vahingot, jos Suomenlahdella tapahtuisi öljyonnettomuus (Nikula & Tynkkynen 2007: 10).

2.5 Suomenlahden öljykuljetukset

Itämeri on yksi maailman ruuhkaisimmista meristä ja Suomenlahden suualue sen vilkkaimmin liikennöidyistä alueista (Raateoja ym. 2008: 92). Viimeisten vuosien aikana Suomenlahden meriliikenne on lisääntynyt entisestään (Hietala & Lampela 2007: 16). HELCOM:in alusliikennetilaston mukaan Suomenlahdelta lähtee joka päivä noin 50 alusta, joista joka viides on säiliöalus. Yleisimmin käytössä oleva suurin aluskoko Suomenlahdella on 100 000 dwt (dead weight tonnage eli aluksen kantavuus), mutta jopa 150 000 dwt:n aluksia on laivattu. (Hietala & Lampela 2007: 17.) Suomen lähivesialueella liikkuu vuosittain lähes 63 000 yli 15 metrin pituista alusta, joista noin 38 000 Suomenlahdella (Asiantuntijaryhmän loppuraportti 2008: 11).

Merikuljetuksista öljykuljetuksien osuus on kasvanut eniten (Kuva 3). Vuodesta 1995 vuoteen 2006 niiden määrä Suomenlahdella on seitsenkertaistunut. (Hietala & Lampela 2007: 17.) Vuonna 2009 määrä oli yli 150 miljoonaa tonnia (SYKE 2010a). Keskitason kasvun ennusteiden mukaan vuonna 2015 ylitetään jo 200 miljoonan tonnin raja ja voimakkaan kasvun ennusteen mukaan jopa 250 miljoonan tonnin raja. Suurin osa Suomenlahdella tapahtuvasta lastikuljetuksesta on öljykuljetuksia. Esimerkiksi vuonna 2007 öljykuljetusten määrä oli 56 prosenttia. (Kuronen ym. 2008:17.) Viime vuosina sekä öljytankkereiden määrät että koot ovat kasvaneet Suomenlahdella (Hänninen & Rytönen 2004: 24), ja suurimpien tankkereiden käytön uskotaan lisääntyvän koko Itämerellä

(Stankiewicz & Vlasov 2009: 6). Hännisen (2005: 11) mukaan öljykuljetukset ovat lisääntyneet jopa ennustettua enemmän. Syynä tähän on ollut Venäjän öljyntuotannon kasvu. Pitkään korkealla olleet öljyn maailmanmarkkinahinnat ovat nostaneet Venäjän öljyntuotantoa. Suuremman öljyntuotannon vuoksi Venäjä on rakentanut uusia satamia Suomenlahdelle kuten Primorsk, Vysotsk ja Ust-Luga (Hänninen 2005: 11.) Sen lisäksi, että öljykuljetukset ovat lisääntyneet Suomenlahdella, myös niiden reittiä risteävä Helsingin ja Tallinnan välinen liikenne on kasvanut (Nikula & Tynkkynen 2007: 13). Tämä on lisännyt alusten riskiä törmätä toisiinsa Suomenlahdella.



Kuva 3. Suomenlahden öljykuljetukset vuosina 1987, 1997, 2007 sekä kolme erilaista kasvuskenaariota öljykuljetusten määrän kasvulle vuoteen 2015 mennessä. (Jolma 1999 cit. Rytönen 2003; Kuronen ym. 2008)

2.6 Merenkulun turvallisuus

2.6.1 Riskinhallinta

Yhteiskuntien on varauduttava ennakolta erilaisiin riskeihin. Riski koostuu yleensä tietyn tapahtuman aiheuttamasta haitasta ja sen toteutumisen todennäköisyydestä. Jotta riskien taso voidaan pitää mahdollisimman alhaisena, tarvitaan riskien arviointia ja hallintaa. Eri elämänalueilla on kuitenkin hyväksyttävä tietty riskitaso, sillä yhteiskuntaa ei voida saada täysin riskittömäksi. (Lonka ym. 2002: 4.) Se, mikä on yhteiskunnassa hyväksyttävä riski, riippuu monista eri tekijöistä, eikä hyväksyttävälle riskille ole olemassa mitään yleistä

määritelmää. Jos jokin hyväksyttävän riskin määritelmä saa kansan julkisen hyväksynnän, se voi lopulta tulla osaksi yleisiä määräyksiä. (Burgman 2005: 376.)

Riskinhallinnan toimet tarkoittavat sellaisia toimia, joilla riskiä yritetään pienentää. Toimet voivat olla estämistä, pienentämistä, korjaamista ja kompensointia. (Lonka ym. 2002: 12.) Riskinhallinta auttaa tekemään päätöksiä silloin, kun olemme epävarmoja tulevista tapahtumista (Burgman 2005: 1). Öljyntorjunnan avulla pyritään sekä pienentämään haitan suuruutta, kun öljyonnettomuus on jo tapahtunut että palauttamaan tilanne onnettomuutta edeltäneeseen tilaan jos vain mahdollista. Lisäksi öljyonnettomuuksia pyritään ennaltaehkäisemään parantamalla meriliikenteen turvallisuutta muun muassa erilaisten valvonta-, ilmoittautumis- ja tunnistusjärjestelmien kuten VTS, GOFREP ja AIS avulla (katso 2.6.2). Nykyään riskit ovat yhä enemmän kansainvälisiä ja globaaleja (Lonka ym. 2002: 19). Esimerkiksi öljykuljetuksiin liittyvät riskit ovat kansainvälisiä, joten myös niiden hallinta edellyttää laajaa kansainvälistä yhteistyötä.

Yleisesti ottaen merikuljetuksia pidetään melko turvallisena kuljetusmuotona, ja esimerkiksi suuria yli 700 tonnin suuruisia öljypäästöjä tapahtuu maailmassa keskimäärin alle neljä vuodessa (Hänninen 2005: 13). Tästä huolimatta öljyvahinkojen ja suuronnettomuuksien riski on meriliikenteessä aina olemassa. Euroopassa meriliikenne aiheuttaa tilastollisesti vuosittain noin 140 kuolemaa ja 1,5 miljardin euron vahingot (Trucco ym. 2008: 823). Suomenlahdella riskiä lisää tiheän meriliikenteen, talvisen jääpeitteen sekä kapean ja rikkonaisen rannikon lisäksi matkustaja-alusliikenne, josta suuri osa on poikittaisliikennettä säiliöalusten reiteillä (Asiantuntijaryhmän loppuraportti 2008: 11).

2.6.2 GOFREP, VTS, AIS ja kaksirunkoisuus

Vuonna 2004 otettiin käyttöön Suomenlahden alusliikenteen pakollinen ilmoittautumisjärjestelmä GOFREP (Gulf Of Finland Reporting) (Kujala ym. 2009: 1349). Suomi, Viro ja Venäjä ylläpitävät yhdessä tätä kauppaa-alusliikenteen pakollista reittijako- ja ilmoittautumisjärjestelmää Suomenlahden kansainvälisillä vesillä (Asiantuntijaryhmän loppuraportti 2008: 12). GOFREP kattaa koko Suomenlahden kansainvälisen merialueen (Hänninen & Rytönen 2004: 102–104).

Merenkulkulaitos ylläpitää Suomessa alusliikennepalvelua VTS (Vessel Traffic Service), jonka tehtävänä on alusliikenteen valvonta ja luotsauspalvelu (Asiantuntijaryhmän loppuraportti 2008: 12). VTS:n tarkoituksena on parantaa merenkulun turvallisuutta, edistää alusliikenteen sujuvuutta ja tehokkuutta sekä ennaltaehkäistä onnettomuuksia ja niistä mahdollisesti syntyviä ympäristöhaittoja (Merenkulkulaitos 2010b).

Alusten automaattisen tunnistusjärjestelmän AIS (Automatic Identification System) avulla on mahdollista saada laajalta alueelta reaaliajassa tarkkaa tietoa aluksista ja niiden liikkeistä. Järjestelmä perustuu radiolaitteeseen, joka lähettää automaattisesti ja jatkuvasti alukseen ja sen liiketilaan liittyviä tietoja sekä vastaanottaa muiden alusten lähettämiä tietoja. Tiedonvaihto tapahtuu AIS järjestelmässä pääasiassa suoraan alusten välillä, mutta samat tiedot voidaan vastaanottaa myös mantereelle sijoitettujen tukiasemien kautta. (Merenkulkulaitos 2010a; Hänninen & Rytönen 2004: 111–112.) Erilaisten valvontajärjestelmien ansiosta alusliikennettä voidaan seurata kattavasti kaikilla Suomen merialueilla (Asiantuntijaryhmän loppuraportti 2008: 12).

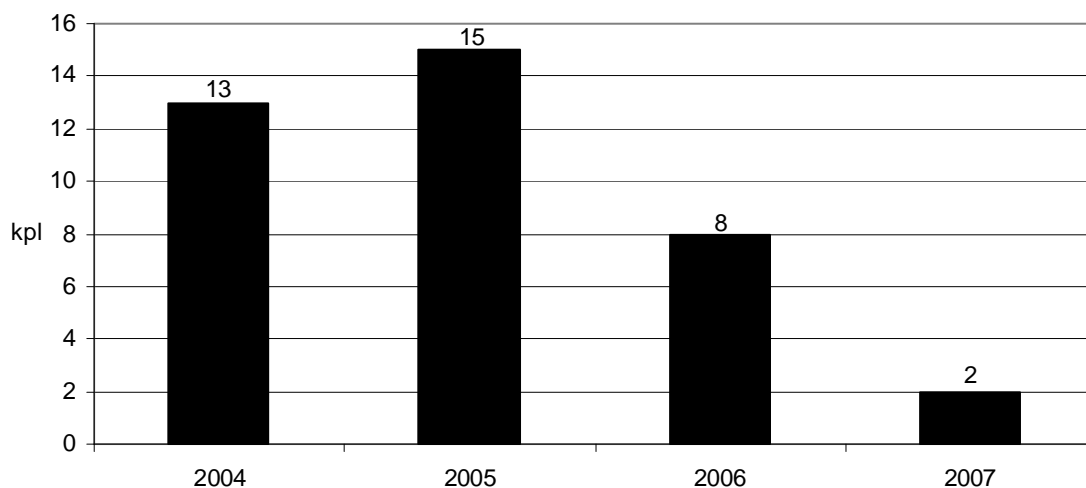
Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO on asettanut aikataulun yksirunkoisten öljynkuljetusalusten käytön lopettamiselle ja aikataulun mukaan kaikkien alusten tulisi olla kaksirunkoisia vuoteen 2015 mennessä. EU:n sääntöjen mukaan suurien öljymäärien kuljettaminen yksirunkoisilla aluksilla EU-maiden satamiin tai satamista on kiellettyä. (Hänninen & Rytönen 2004: 94, 96.) EU-säädökset eivät kuitenkaan koske Suomenlahdella liikennöiviä venäläisiä aluksia (Hänninen & Rytönen 2004: 96), ja sen vuoksi kansainvälisten, Venäjää koskevien sopimusten tekeminen on erityisen tärkeää.

2.6.3 Onnettomuustyytit

Vuosina 1997–2006 Suomenlahdella tapahtuneissa onnettomuuksissa lähes puolessa syynä oli karilleajo. Toiseksi eniten onnettomuuksia aiheuttivat alusten väliset törmäykset. Ihmisen tekemä inhimillinen virhe oli syynä onnettomuuksiin yli puolessa niistä tapauksista, joiden syy on tilastoitu. Muita onnettomuuksiin johtaneita tekijöitä olivat muun muassa laivan ulkopuoliset olosuhteet kuten jäätilanne ja tekniset viat. Suurin osa onnettomuuksista tapahtui vuoden viimeisinä kuukausina. Karilleajoja tapahtui eniten myöhäissyksyllä ja alkutalvesta, kun taas yhteentörmäyksiä tapahtui eniten jääpeitteisellä

kaudella helmi-maaliskuussa. Onnettomuuksia tapahtui lähes yhtä paljon pimeään kuin valoisaan vuorokaudenaikaan. Suurimmassa osassa tapauksista onnettomuuden aikaan oli myös hyvä näkyvyys ja aallonkorkeus alle 0,5 metriä. Valtaosa onnettomuuksista tapahtui rannikkoalueilla tai satamissa. Yhteentörmäyksiä tapahtui kuitenkin eniten ulommilla rannikkoalueilla ja avomerellä. Avomerellä on muutamia alueita, joilla tapahtui useita onnettomuuksia. Nämä alueet ovat reitillä Helsinki - Tallinna, lännen ja lounaisen puolella Goglandista sekä Lavansaaren, Peninsaaren ja Seiskarin pohjoispuolella. (Kujala ym. 2009: 1349–1352, 1356.)

Karilleajot, kuten myös onnettomuuksien kokonaismäärä suhteessa liikenteen määrään, vähentyivät merkittävästi Suomen aluevesillä vuosina 1997–2006. (Kujala ym. 2009: 1356.) Stankiewicz & Vlasov (2009: 8) toteavat, että vuoden 2005 jälkeen alusten yhteentörmäys on vähentynyt Suomenlahdella selvästi (Kuva 4.). Heidän mukaansa sekä AIS:llä että GOFREP:illa on ollut positiivinen vaikutus turvallisuuteen Suomenlahdella, ja ne ovat saattaneet osaltaan vähentää myös yhteentörmäyksiä viime vuosina.



Kuva 4. Alusten yhteentörmäykset Suomenlahdella vuosina 2004–2007 (Stankiewicz & Vlasov 2009: 9).

2.7 Öljyvahinko

Öljyvahingot ovat Itämeren suurimpia ympäristöuhkia (Raateoja ym. 2008: 92). Öljyvahinko tarkoittaa vahinkoa tai onnettomuutta, jossa päästön seurauksena ympäristöön joutuu yhdellä kertaa merkittävä määrä öljytuotetta, joka vaatii välittömiä torjuntatoimia (Lonka 1998: 9). Itämerellä on tapahtunut öljyvahinkoja suhteellisesti vähemmän kuin koko maailmassa tapahtuneiden öljyvahinkojen ja Itämeren kuljetussuoritteiden perusteella voitaisiin laskea. Laskelmien mukaan Itämerellä olisi pitänyt tapahtua 4–5 yli 34 tonnin öljyvahinkoa vuodessa ja Suomen merialueella keskimäärin yksi 16 kuukauden välein. Todellisuudessa Itämerellä on ollut yli 34 tonnin öljyvahinkoja vain noin 1–2 vuodessa ja Suomessa keskimäärin yksi 39 kuukauden välein. (SYKE 2010b.) Suomen öljyntorjunnan vastuualueella on tapahtunut enimmäkseen pienehköjä alle tuhannen tonnin öljypäästöjä (katso Kuva 2.), eikä suuria tuhansien tonnien kokoisia öljypäästöjä ole tapahtunut viime vuosina tällä alueella ollenkaan (SYKE 2010a). Suomenlahti on siis toistaiseksi säästynyt vakavilta öljyvahingoilta (Hänninen 2005: 12), mutta niiden vaara on kuitenkin aina olemassa.

Suomenlahdella öljyä voi ajautua rantaan jo vuorokauden sisällä vahingosta, vaikka onnettomuus olisi tapahtunut avomerellä. Siksi öljyntorjuntatöiden aloittamista ei voida viivytellä. (SYKE 2009a.) Öljyonnettomuudet sekä erilaiset öljyonnettomuuksien simuloinnit osoittavat, että kun öljyä on joutunut veteen, sitä on lähes mahdotonta estää kulkeutumasta rantaan (Aps ym. 2009b: 150). Öljyonnettomuuksien seurauksiin vaikuttavat onnettomuuspaikan ja ympäristöolojen lisäksi eri öljyntorjuntakeinojen tehokas järjestäminen (Česnauskis 2007: 187).

2.8 Öljyntorjunta Suomessa

2.8.1 Lainsäädäntö ja kansallinen öljysuojarahasto

Suomen lain mukaan öljyonnettomuuksista aiheutuvien kustannusten korvaamisessa toteutetaan ”aiheuttaja maksaa” – periaatetta. Ensisijainen korvausvastuu on siis aina onnettomuuden aiheuttajalla, öljyä kuljettaneen laivan omistajalla tai heidän vakuutusyhtiöllään. (Lehmuskoski 2006: 8.) Suomessa öljyvahinkojen torjuntaa säädellään Öljyvahinkojen torjuntalalla (FINLEX 2009).

Öljysuojarahasto on valtion talousarvion ulkopuolinen rahasto, jota hoitaa ympäristöministeriö. Öljysuojarahasto saa varansa öljysuojamaksusta, jota peritään Suomeen tuodusta ja Suomen kautta kuljetetusta öljystä. Öljysuojarahaston varoja käytetään öljyvahinkojen korvaamiseen silloin, kun öljyvahingosta vastuullinen taho on tuntematon tai varaton. Rahasto korvaa myös öljyvahinkoihin ennalta varautumisesta aiheutuvia kustannuksia. (Hietala & Lampela 2007: 8.) Lampelan (2008: 13) mukaan öljysuojarahaston ansiosta Suomen rannikon ja saaristoalueen öljyntorjuntakalusto on Itämeren muihin valtioihin verrattuna varsin korkealaatuinen. Esimerkiksi suomalaista öljyntorjuntavenekalustoa vastaavaa kalustoa ei ole muilla Itämeren valtioilla.

2.8.2 Mekaaninen öljyntorjunta

Öljyn poistamiseen merestä on useita erilaisia menetelmiä kuten mekaaninen öljyntorjunta, dispersanttien käyttö ja öljyn polttaminen. Itämeren erityispiirteet, kuten mataluus ja jäätyminen, aiheuttavat kuitenkin omat rajoituksensa öljyntorjunnalle. Lisäksi monilla öljyntorjuntakeinoilla on haitallisia vaikutuksia ympäristöön, joten niitä ei haluta käyttää Suomessa. Suomen öljyntorjuntavalmius perustuukin mekaaniseen torjuntaan ja puhdistukseen (Aalto ym. 2006: 18).

Mekaanisia öljyntorjuntakeinoja on useita. Mereen joutuneen öljyn leviämistä voidaan esimerkiksi yrittää estää laskemalla veteen öljyntorjuntapuomeja. Ne on usein tehty PVC-muovista tai kumista. Avomerellä käytetyt puomit ovat ilmalla täytettäviä. Ne ovat hyvin painavia, joten ne täytyy laskea koneellisesti mereen. Öljyä voidaan kerätä veden pinnalta myös erilaisilla pintakeräinlaitteilla. Ne erottavat öljyn vedestä mekaanisesti

harjajärjestelmien avulla. Ongelmaksi saattaa kuitenkin muodostua kova merenkäynti, jolloin harjausmenetelmää ei voida käyttää. (Nissinen 2000: 14.)

Puomien ja pintakeräinlaitteiden lisäksi öljy voidaan imeyttää vedestä erilaisiin materiaaleihin. Eniten käytetyt materiaalit ovat synteettisiä, joten ne täytyy hävittää polttamalla ongelmajätelaitoksella. Suomessa on myös tutkittu tupasvillakuidun käyttämistä öljyn imeytyksessä. Tupasvillakuidun on havaittu soveltuvan erityisen hyvin veden pinnalta imeyttämiseen, sillä kuitu ei ime vettä juuri lainkaan. Öljy voidaan hajottaa tupasvillasta esimerkiksi mikrobien avulla, ja sopivissa olosuhteissa tupasvillakuitu on täysin biohajoava. (Aalto ym. 2006: 18.)

2.8.3 Öljyntorjunta-alukset ja kansainvälinen yhteistyö

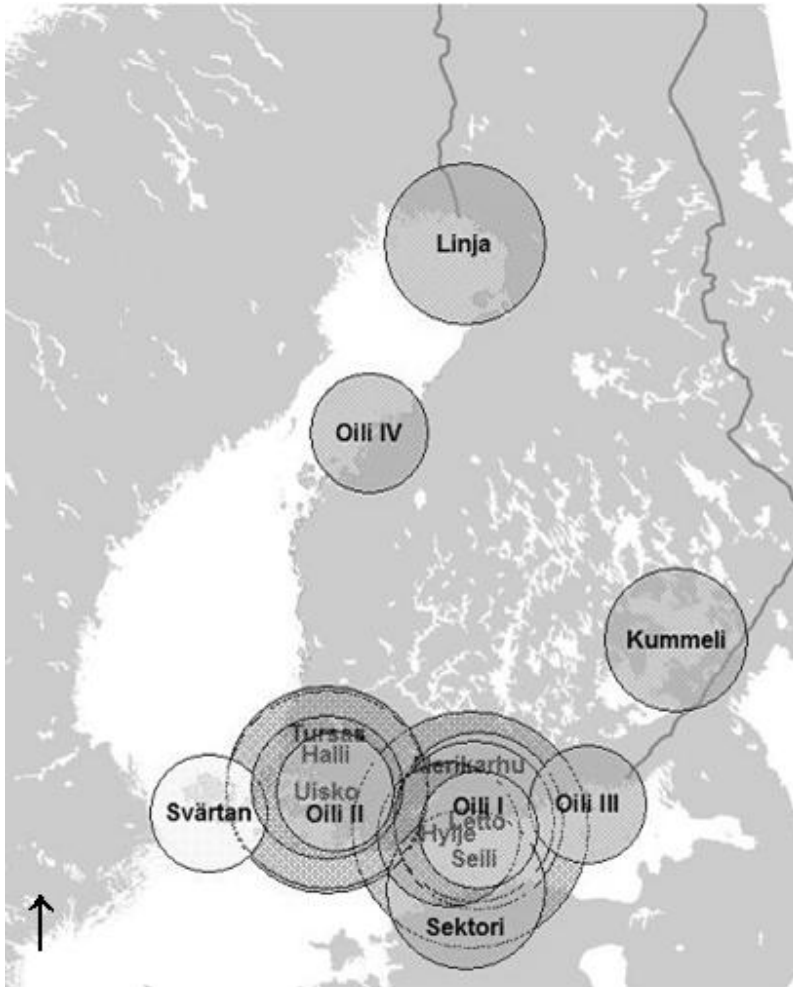
Suomen valtiolla on 14 öljynkeräysalusta, joista kaksi on Merivoimien hallinnassa (MV), kolme Rajavartiolaitoksella (RVL) ja yhdeksän Meritaito Oy:n hallinnassa. Tämän lisäksi Ahvenanmaan maakuntahallituksella (ÅLS) on yksi öljyntorjunta-alus. Suomen öljyntorjunta-alukset keräävät öljyä itsenäisesti. Aluksen sisällä molemmilla laidoilla on öljynkeräysjärjestelmä, joka on suomalaista kehitystyötä ja edustaa alan kärkeä raskaiden öljyjen keräämisessä avomerellä. Alusten koko, tankkitilavuus ja keruukapasiteetti vaihtelevat suuresti (Taulukko 1). Keruunopeuteen ja keruukapasiteettiin vaikuttavat aina keruulosuhteet. Aluksen keruutulos vuorokaudessa riippuu suurelta osin sen tankkikoosta, tankin tyhjennysajasta ja aluksen paikalleensaapumisajasta. (Hietala & Lampela 2007: 10.)

Taulukko 1. Suomen öljyntorjunta-alukset (Hietala & Lampela 2007: 9). Taulukkoon on merkitty harmaalla sekä Bayes-verkkomallin ensimmäisessä että toisessa versiossa mukana olevat alukset. MV tarkoittaa Merivoimia, RVL Rajavartiolaitosta, MT Meritaitoa ja ÅLS Ahvenanmaan maakuntahallitusta.

	Omistaja	Pituus (m)	Keruukapasiteetti (m³/h)	Tankkitilavuus
Halli	MV	60,50	74,08	1 400
Hylje	MV	54,10	64,82	800
Merikarhu	RVL	58,00	59,26	40
Tursas	RVL	61,45	55,56	100
Uisko	RVL	61,45	55,56	100
Letto	MT	42,70	55,56	42,7
Seili	MT	50,50	55,56	196
Kummeli	MT	28,20	46,11	70
Sektor	MT	33,00	46,11	108
Linja	MT	34,90	42,60	77,4
Oili I	MT	24,50	38,89	80
Oili II	MT	24,50	38,89	80
Oili III	MT	24,50	38,89	80
Oili IV	MT	19,00	35,19	30
Svårtan	ÅLS	24,00	38,89	52

Suomessa öljyntorjuntaan on käytetty eniten Merivoimien aluksia, Hallia ja Hyljettä. Pienimmät öljyntorjunta-alukset ovat tehokkaita saaristossa tai rannikolla tapahtuvissa torjuntätöissä. Isot alukset sopivat pieniä aluksia paremmin jääolosuhteisiin, ja ne pystyvätkin murtamaan jopa 40 cm paksua jäätä. Jotta öljyntorjuntavalmius olisi Suomen rannikolla riittävä, öljynkeräysalukset tulisi sijoittaa siten, että ne saavuttavat kuuden tunnin sisällä hälytyksestä minkä tahansa pisteen Suomen öljyntorjunnan vastuualueella. Todellisuudessa aluksen matka öljyntorjuntapaikalle saisi kestää vain noin neljä tuntia, sillä alus pääsee lähtemään satamasta yleensä vasta noin kahden tunnin kuluttua hälytyksestä (Kuva 5.). (Hietala & Lampela 2007: 11.) Aiemmin Varustamoliikelaitoksen omistuksessa olleet yhdeksän alusta siirtyivät vuoden 2010 alusta Meritaito Oy:n hallintaan, ja ne vaihtavat kotisatamaansa työtehtävien mukaan. Siksi alusten sijainnit nykyään vaihtelevat.

Alusten neljän tunnin toimintasäde kattaa kuitenkin edelleen suunnilleen samanlaisen alan Suomenlahdelta ja Pohjanlahdelta kuin vuonna 2009. (Hietala 2010.)



Kuva 5. Suomen öljyntorjunta-alusten neljän tunnin toimintasäde tammikuussa 2009 (SYKE, muokattu).

Itämeren suojelukomissio HELCOM:in laatimassa Itämeren suojelusopimuksessa on määritetty jokaisen maan öljyntorjunnan vastualueet. Suojelusopimuksen perusteella Itämeren maat antavat toisilleen ja saavat toisiltaan öljyntorjunta-apua pyydettyä. Lisäksi HELCOM on hyväksynyt suosituksen, joka koskee jäsenmaiden varautumista öljyvahinkojen torjuntaan. Suosituksessa edellytetään, että ensimmäinen kansallinen öljyntorjuntayksikkö pääsee lähtemään öljyntorjuntatehtävään kahden tunnin kuluttua hälytyksestä ja jokainen valtion vastualueen kohta on enintään kuuden tunnin matkan päässä lähimmästä öljyntorjunta-alueen tukikohdasta. Lisäksi tehokas öljyntorjuntatyö

tulee käynnistää viimeistään 12 tunnin kuluttua hälytyksestä. (Hietala & Lampela 2007: 19.)

Pohjoismaiden kesken on solmittu Kööpenhaminan sopimus, joka edellyttää antamaan öljyntorjunta-apua (Hietala & Lampela 2007: 20). Öljyntorjunta-avun antaminen koskee myös Suomen tekemiä kahdenvälisiä sopimuksia Viron ja Venäjän kesken. Ongelmana on, ettei Venäjällä ole yhtään nykyaikaista, avomerikelpoista öljyntorjunta-alusta. (Hietala & Lampela 2007: 20.) Euroopan meriturvallisuusviraston (EMSA) kautta Suomen on mahdollista saada öljyntorjuntaa varten käyttöönsä 1–2 öljyntorjuntakalustolla varustettua säiliöalusta. Alukset ovat niin suuria, ettei niitä voida käyttää saaristossa, ahtailla väylillä tai matalassa vedessä. EMSAN solmiman sopimukseen mukaan ensimmäisen torjunta-aluksen tulee olla valmis lähtemään öljyntorjuntaan viimeistään vuorokauden kuluttua hälytyksestä. (Hietala & Lampela 2007: 20.) Suomenlahdella kansainvälinen yhteistyö tapahtuu öljyvahinkojen torjunnassa kahdenvälisten sopimusten ja Itämeren suojelusopimuksen pohjalta (Lampela 2008: 10).

2.8.4 Toiminta onnettomuuden sattuessa

Suomen rantaviiva on pitkä ja rikkonainen, ja rannikolta löytyy arvokkaita luonnonsuojelualueita. Suojeltavien alueiden runsauden ja öljyntorjuntatyön kustannustehokkuuden takia öljyvahingot pyritään ennaltaehkäisemään tai torjumaan heti mahdollisimman lähellä öljyvahingon lähdettä. Alusöljyonnettomuuksissa öljynkeräysalusten tulisi kerätä mahdollisimman suuri osa mereen vuotaneesta öljystä jo onnettomuutta seuraavien vuorokausien aikana. (Hietala & Lampela 2007: 16–18.) Esimerkiksi 30 000 kuutiometrin raakaöljyvuoto muodostaa vuorokaudessa suunnilleen kahdenkymmenen neliökilometrin laajuisen lautan (Jolma 2004: 2). Jos torjunta viivästyy, öljyä ehtii ajautua rantaan, jossa sen poistaminen on jopa kymmenen kertaa kalliimpaa kuin merellä (Hietala & Lampela 2007: 18). Jos Suomenlahdella tai Itämerellä tapahtuisi öljyonnettomuus, jossa mereen pääsisi 100 000 tonnia öljyä, ei öljyntorjuntakaluston määrällä ja koolla olisi enää juurikaan vaikutusta. Onnettomuuden vaikutukset olisivat joka tapauksessa tuhoisat. (Nikula & Tynkkynen 2007: 10, 13.)

Alusöljyvahingosta tehdään aina hätäilmoitus joko meripelastuskeskukseen, -lohkokeskukseen tai hätäkeskukseen. Niiden pitää ilmoittaa asiasta edelleen Suomen ympäristökeskukseen (SYKE), jolla on päävastuu avomerellä tapahtuneesta öljyntorjunnasta sekä alueen pelastustoimelle (Kuva 6.) (Syvänen 2005: 9.) Aluksen päälliköllä on velvollisuus ilmoittaa alusöljyvahingosta ja ryhtyä välittömästi sellaisiin torjuntatoimiin, joita häneltä voidaan kohtuudella vaatia (FINLEX 2009). SYKE:n päivystäjä hälyttää valtion torjunta-aluksia ja muuta toimenpideapua, jos niitä tarvitaan. (FINLEX 2009, Syvänen 2005: 9.) Alueen pelastustoimen öljyntorjuntayksiköt huolehtivat kiireellisten alkutoimien tekemisestä eli muun muassa estävät öljyn leviämisen ja puomittavat aluksen. Kun onnettomuus uhkaa samaan aikaan sekä ihmishenkiä, omaisuutta että ympäristöä, pelastetaan ensin ihmishenget. Tämän jälkeen torjunta- ja virka-apuviranomaiset aloittavat alusöljyvahingon torjunnan. (Syvänen 2005: 9–11.)

Avomerellä tapahtuvaa öljyvahingon torjuntaa varten kootaan tarpeellinen määrä torjuntaan kykeneviä aluksia. Torjuntaosastoon voi kuulua muun muassa merivartioston tiedustelualuksia, pienempiä öljypuomeilla varustettuja aluksia, joita käytetään pareittain öljyn nuottaamiseen puomeja hinaamalla, ja mekaanisella keräysjärjestelmällä varustettuja itsenäiseen öljynkeräämistyöhön kykeneviä aluksia. Mahdollinen kansainvälinen torjuntayhteistyö tapahtuu SYKE:n kautta. (Syvänen 2005: 11–12.)

Avomerellä sattuneissa öljyvahingoissa öljyn leviäminen pyritään estämään puomein, minkä jälkeen öljyä kerätään harjauslaitteilla varustetuilla öljynkeräysaluksilla (Aalto ym. 2006: 18). Puomeilla pystytään rajaamaan vain pinnan tuntumassa olevan öljyn leviäminen. Myös öljyntorjunta-alukset soveltuvat pääasiassa meren pinnalla olevan öljyn keräämiseen. (SYKE 2009b.) Öljyntorjunta-alusten apuna käytetään lentovalvontaa. Lentovalvonta opastaa öljyntorjunta-aluksen lautan paksuimpaan kohtaan, jotta öljy saadaan mahdollisimman nopeasti kerättyä. Valvontalentokoneen infrapunakameralla voidaan helposti paikantaa lautan paksuin paikka, jota on mahdotonta havaita paljaalla silmällä. Öljyn ominaisuuksien takia 90 % lautan sisältämästä öljystä sijaitsee alueella, joka on vain 10 % koko öljylautan pinta-alasta. (SYKE 2009a.)

Jälkitorjuntaan kuuluu muun muassa rantojen puhdistus alueen pelastustoimen öljyntorjuntasuunnitelman ja SYKE:n ohjeiden mukaan. Lisäksi loukkaantuneita ja

likaantuneita eläimiä autetaan ja puhdistetaan. Alueelliset ympäristökeskukset järjestävät kuntien kanssa yhteistyössä öljyvahingon ympäristövaikutusten tutkimukset. SYKE antaa apua niiden järjestämisessä. (Syvänen 2005: 13.)

3 Menetelmät

3.1 Bayes-päätely ja -verkot

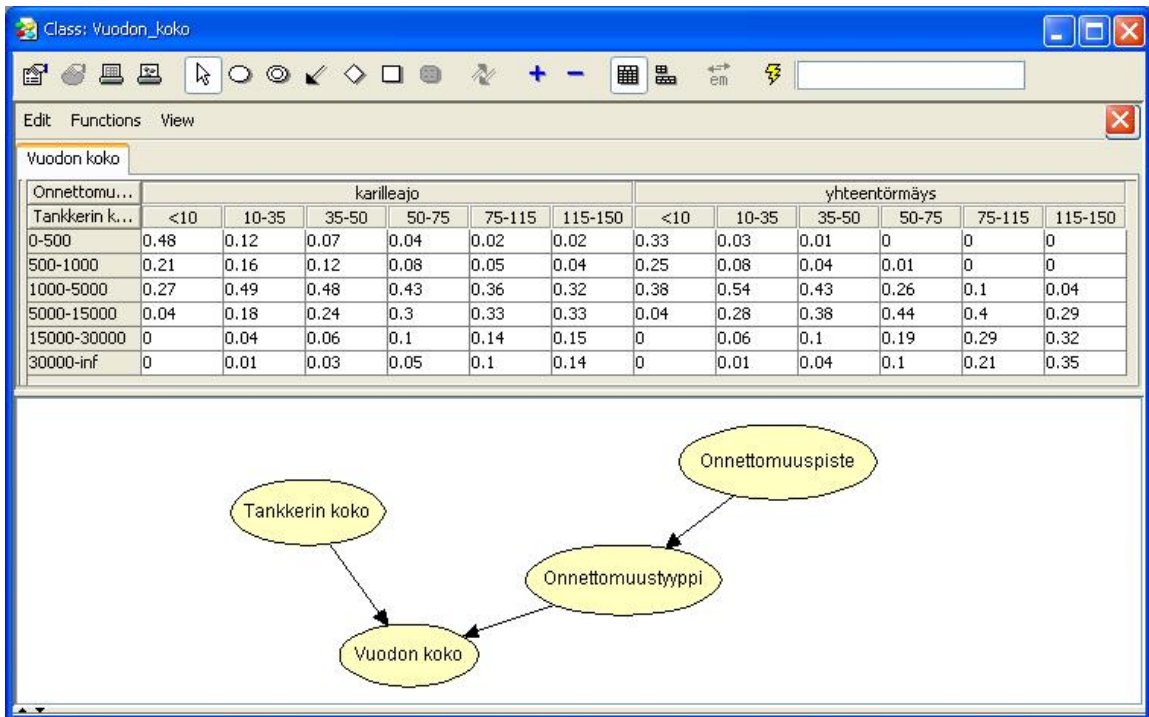
Bayesläinen mallintaminen on saanut nimensä 1700-luvulla eläneen matemaatikon Thomas Bayesin mukaan. Bayes-päätely perustuu todennäköisyyslaskentaan, ja menetelmässä mallinnetaan käsityksemme muuttumista, kun tieto jostakin asiasta lisääntyy. (Myllymäki & Tirri 1998: 1.) Bayes-verkossa hyödynnetään todennäköisyyksiä kuvaamaan muuttujien välisiä suhteita. Todennäköisyyksillä kuvataan sitä, kuinka suurella todennäköisyydellä tietyt asiat voivat tapahtua. Todennäköisyys 0 tarkoittaa, että asian tapahtuminen on mahdotonta ja 1 tarkoittaa että se on varmaa. (O'Hagan ym. 2006: 1.) Todennäköisyyksiä voidaan siten kuvata myös prosenteilla.

Satunnaismuuttujille muodostetaan prioritodennäköisyysjakauma. Se kuvaa tutkijan tietoa, kokemusta tai uskomusta sen hetkisessä tilanteessa ennen uusien havaintojen ottamista mukaan analyysiin (O'Hagan ym. 2006: 256). Priorijakauma päivitetään uuden tiedon avulla posteriorijakaumaksi käyttämällä Bayesin laskukaavaa (O'Hagan ym. 2006: 228–229). Kaava on muotoa:

$$P(A | B) = \frac{P(B | A) P(A)}{P(B)}$$

Kaavassa $P(A/B)$ tarkoittaa todennäköisyyttä, että A tapahtuu ehdolla että B tapahtuu. Bayesläinen päätely mahdollistaa oppimisen kokemuksesta. A kuvaa kaavassa epävarmaa tapahtumaa ja B uutta tietoa. (O'Hagan ym. 2006: 8.) Näin menetelmä mahdollistaa useiden aineistojen yhdistämisen ja vanhojen havaintojen huomioon ottamisen tarkastelussa.

Bayes-verkot ovat graafisia malleja, jotka koostuvat muuttujista ja riippuvuuksia kuvaavista nuolista muuttujien välillä (Kuva 6.). Riippuvuuksien voimakkuus ja suunta määritellään muuttujakohtaisten ehdollisten todennäköisyystaulujen avulla. Niissä määritellään muuttujalle todennäköisyys olla tietyssä tilassa ottaen huomioon sen vanhempien tilan. (Bromley ym. 2005: 232.) Muuttuja, josta lähtee nuoli johonkin toiseen muuttujaan, on tämän vanhempi. Ne solmut, joilla ei ole vanhempia, ovat itsenäisiä reunamuuttujia ja niiden muuttujataulut ovat ehdottomia eli niillä on vain yksi todennäköisyysjakauma. Kun muuttujien todennäköisyyksistä olla tietyssä tilassa saadaan uutta tietoa, se voidaan helposti lisätä Bayes-verkkoon, jolloin malli päivittyy uuden tiedon mukaiseksi (Bromley ym. 2005: 232).



Kuva 6. Esimerkki yksinkertaisesta Bayes-verkosta. Kuvassa näkyy muuttujan *Vuodon koko* ehdollinen todennäköisyystaulu, ja siinä todennäköisyydet sen eri tiloille kummankin vanhemman, *Tankkerin koko* ja *Onnettomuustyyppi*, kaikkien tilojen eri yhdistelmillä. Jokainen todennäköisyysjakauma (pystysarake) muodostuu muuttujan *Vuodon koko* vaihtoehtoisista tiloista, joiden todennäköisyydet summautuvat aina ykköseen.

Bayes-verkoissa voidaan käyttää esimerkiksi tilastotieteellistä aineistoa, mutta myös asiantuntijoilta saatua tietoa (Myllymäki & Tirri 1998: 19). Ne mahdollistavat siis kvantitatiivisen ja kvalitatiivisen tiedon laskennallisen yhdistämisen (Bromley ym. 2005:

234). Bayes-verkoissa on mahdollista määritellä, ovatko muuttujan tilat esimerkiksi laadullisia, numeerisia tai intervaleja.

Bayes-verkkojen avulla voidaan arvioida eri vaihtoehtojen suhteellista paremmuutta silloin, kun päätöksenteko tehdään epävarmuudessa ja epävarmuus voidaan ratkaista yhdistämällä erityyppisiä todisteita (Juntunen ym. 2005). Bayes-verkkoja voidaan käyttää tehtäessä päätöksiä, jotka perustuvat parhaaseen käytössä olevaan tietoon. Ne ovat erityisen käyttökelpoisia työkaluja silloin, kun usean eri tekijän tiedetään vaikuttavan toisiinsa ja kaikki eri tekijät on otettava huomioon ratkaisuja tehtäessä. Bayes-verkot mahdollistavat myös eri vaihtoehtojen vertailun. Edellä mainittujen asioiden takia Bayes-verkot ovat erityisen hyviä työkaluja ja auttavat päätöksenteossa silloin, kun asiaan liittyy paljon epävarmaa tietoa ja monimutkaisia syy-seuraussuhteita. (Bromley ym. 2005: 232.)

Bayesläisen, todennäköisyyspohjaisen lähestymistavan käyttämistä tutkimuksessa hidasti aikoinaan se, että se vaatii suuren määrän laskemista. Vasta 1980-luvun puolivälin jälkeen tekniikka alkoi olla tarpeeksi tehokasta bayesläistä analyysiä varten. (Varis 1997: 178.) Viime vuosina Bayes-verkkoja on alettu hyödyntää yhä enemmän ympäristökysymyksissä ja ekologisessa tutkimuksessa (mm. Varis & Kuikka 1997, Borsuk ym. 2004, Bromley ym. 2005: 232). Bayes-verkot ovat käyttökelpoisia ekologisessa mallinnuksessa, koska Bayes-verkko on hyvä työkalu mallinnuskysymyksissä, joihin liittyy paljon epävarmuustekijöitä (Kuikka ym. 2005). Aps ym. (2009b) ovat arvioineet Bayes-verkkojen avulla mahdollisen öljyonnettomuuden riskin suhteessa ekologisen haitan jakautumiseen eteläisen Suomenlahden rannikkovesillä.

Bayes-verkkoja on hyödynnetty vasta viime aikoina öljyonnettomuuden hallintaan liittyvissä ongelmissa (Juntunen ym. 2005). Aps ym. (2009a) käyttivät Bayes-verkkoja tutkiessaan, voidaanko öljyä kerätä merestä öljyonnettomuudessa ja jos ei niin uhkaako öljy herkkää ympäristöä. Tutkimuksessa todetaan, että yleensä öljynkeräysaluksien ja puomien avulla öljyä saadaan poistettua merestä melko pieni määrä verrattuna päästön kokoon. Se, kuinka paljon öljyä saadaan kerättyä, riippuu sääoloista, öljylautan paksuudesta sekä öljytyypistä. Öljynkeräysaluksia voidaan käyttää, jos niiden paikalle saapumiseen menee vähemmän aikaa kuin öljyn rantaan kulkeutumiseen. Tulosten mukaan öljynkeräysalusten ja puomien käyttö on suotuisissa sääoloissa hyvin suurella todennäköisyydellä tehokasta,

mutta epäsuotuisissa sääolosuhteissa niiden käyttö on hyvin suurella todennäköisyydellä tehotonta. Kyseisen Bayes-verkon avulla ei voida kuitenkaan tarkastella sitä, kuinka paljon öljyä saadaan kerättyä merestä vaan ainoastaan sitä millä todennäköisyydellä öljyntorjunta on tehokasta. Tutkimuksen mukaan Bayes-verkot yhdessä muiden simulointityökalujen kanssa ovat tehokas mallinnustapa tarkasteltaessa mahdollista öljyonnettomuutta suhteessa ennustettavaan ekologisen riskin arviointiin eteläisellä Suomenlahdella.

Juntunen (2005) on selvittänyt suuren öljyonnettomuuden ympäristövaikutuksia Suomenlahdella käyttämällä Bayes-verkkoja. Hän toteaa Bayes-verkkojen tarjonnan mahdollisuuden lähestyä aihetta riskipainotteisesti ja todennäköisyyspohjaisesti. Juntunen tarkastelee öljyonnettomuuden seurauksia välittöminä ja pitkäaikaisina seurauksina silakka- (*Clupea harengus membras*), hylje-, lintu-, ja pohjaeläinpopulaatioiden tilassa. Tutkimuksessa esitellään Bayes-verkkomalli, jolla voidaan arvioida öljyntorjuntateknologian tehokkuutta pyrittäessä vähentämään onnettomuuden negatiivisia biologisia seurauksia.

Helle (2009) on tutkinut öljyntorjunnan tehokkuutta ekologisesta näkökulmasta Bayes-verkoilla. Hän on luonut mallin, jolla voidaan tutkia mekaanisen avomeritorjunnan, dispersanttien ja rannan puomituksen tehokkuutta kuuden erilaisen lajin: silakan (*Clupea harengus membras*), sinisimpukan (*Mytilus trossulus*), haahkan (*Somateria mollissima*), harmaahylkeen (*Halichoerus grypus*), meriotakilokin (*Salsola kali kali*) ja pulskasantiaisen (*Aegialia arenaria*) suojaamisessa Hankoniemen alueella.

Koska Bayes-verkkoja ei ole käytetty öljyntorjunnan hallintaan liittyvissä tutkimuksissa kovin pitkään, siihen liittyviä tutkimuksia on vielä melko vähän. Tämä tutkimus on ensimmäinen, jossa Bayes-verkkojen avulla pyritään mallintamaan Suomen öljyntorjunta-alusten keruutehokkuutta ja alusten optimaalista sijoittamista eri satamiin.

3.2 Asiantuntijahaastattelut

Haastattelu on hyvin yleisesti käytetty tutkimusmenetelmä. Yksinkertaisimmillaan voidaan ajatella, että se on keskustelu, jolla on tarkoitus. Haastattelut eroavat toisistaan strukturointiasteen mukaan eli sen mukaan kuinka tarkasti esimerkiksi kysymykset on muotoiltu. Tässä tutkimuksessa käytettiin puolistrukturoitua haastattelua. Puolistrukturoidulle haastattelulle ei ole yhtä määritelmää, mutta sille on ominaista se, että jokin haastatteluun liittyvä näkökohta on lyöty lukkoon, muttei kaikkia kuten strukturoidussa haastattelussa. (Hirsijärvi & Hurme 2001: 11, 42, 47.) Tässä tapauksessa kysymykset oli päätetty etukäteen, mutta haastateltavat saivat vastata kysymyksiin omin sanoin.

Asiantuntija on henkilö, jonka puoleen käännytään kohdattaessa ongelmia, jotka ovat liian vaikeita itse ratkaistaviksi (Cowell ym. 2007: 5–6). Asiantuntijoita käytetään myös silloin, kun tiedon saaminen muulla tavoin olisi liian kallista, epäkäytännöllistä tai tietoa ei ole saatavilla. Asiantuntijan tarkka määrittelemine on vaikeaa, mutta yleisesti ottaen asiantuntija on henkilö, jolla katsotaan olevan paljon tietoa tietyistä kiinnostuksen kohteena olevasta asiasta. Yleensä asiantuntijat myös järjestävät ja käyttävät tietoaan eri tavoin kuin asiaan perehtymättömät. (O'Hagan ym. 2006: 27.)

Asiantuntijahaastattelu voi olla kahdenkeskinen tilanne, jossa haastattelu tapahtuu kasvokkain ja haastattelijan on mahdollista saada syvällistä tietoa asiantuntijalta. Toisaalta se voi olla myös ryhmähaastattelu, jossa asiantuntijoilla on mahdollisuus vaikuttaa toistensa arvioihin. Asiantuntijalta saadun tiedon luotettavuus, kuten minkä tahansa muunkin tiedon luotettavuus, kuitenkin vaihtelee. Luotettavuuteen vaikuttaa asiantuntijan tiedon määrä kysyttävästä asiasta, mutta myös se, miten tieto on hankittu ja analysoitu. (Mayer & Booker 1991: 10, 11, 17.) Haastattelussa ongelmana voi olla se, onko haastateltava ymmärtänyt kysymyksen juuri niin kuin haastattelija on sen tarkoittanut. Vaikeuksia voi olla myös siinä, onnistuuko haastateltava pohtimaan kaikkia ongelmaan liittyviä relevantteja asioita ja niiden merkitystä, ja ymmärtääkö tutkija hänen vastauksena juuri niin kuin asiantuntija on tarkoittanut. Muistilla on myös tärkeä merkitys vastauksiin. Muisti on valikoiva, ja yhdessä henkilökohtaisen kokemuksen kanssa se vaikuttaa siihen, että samasta asiasta tietävät asiantuntijat voivat vastata samaan kysymykseen hyvinkin eri tavoin. (O'Hagan ym. 2006: 19.)

Asiantuntijan käyttämiseen liittyy aina tiettyjä haasteita etenkin, jos kyseessä on todennäköisyyksien arvioiminen (Van der Gaag ym. 2002: 129). Ihmisen aivot eivät tottele todennäköisyssääntöjä, eivätkä siten ihmisiltä saadut todennäköisyydet esitä valmiita matemaattisia todennäköisyysjakaumia (Mayer & Booker 1991: 23). Asiantuntijan arviointeihin liittyy myös subjektiivisia ennako-oletuksia ja painotuksia. Yksi yleinen vääristymä haastattelutuloksissa on se, että asiantuntija antaa todennäköisimmille tapahtumille liian suuret todennäköisyysarviot ja epätodennäköisimmille tapahtumille liian matalat. (Van der Gaag ym. 2002: 129.)

Yleisesti käytetty metodi todennäköisyyksien saamisessa asiantuntijoilta on todennäköisyysmitta-asteikon käyttäminen. Se on pysty- tai vaakatasossa oleva jana, johon on merkitty tietyt ankkuroitumispisteet. Asiantuntijat merkitsevät janalle heidän arvionsa suhteellisista todennäköisyyksistä. Mitta-asteikon ideana on tukea asiantuntijaa arvioinneissa antamalla hänen ajatella todennäköisyyksiä tarkkojen lukujen sijasta visuaalisten osuuksien avulla. Todennäköisyysmitta-asteikkoja on helppo ymmärtää ja käyttää. (Van der Gaag ym. 2002: 130.) Van der Gaag ym. (2002: 130) havaitsivat, että asiantuntijat kuitenkin kokivat perinteisen mitta-asteikon käyttämisen hyvin epämukavaksi.

Vaikka haastateltava arvioisi jonkin asian todennäköisyyden olevan 90 %, emme voi olla varmoja tarkoittaako hän nimenomaan 90 % eikä esimerkiksi 95 % tai 80 %. Emme voi myöskään ajatella, että yhdelle henkilölle 90 % tarkoittaa täysin samaa kuin jollekin toiselle. Ymmärrämme kuitenkin, että hänen mielestään asia on todennäköisempi kuin jokin toinen asia, jolle hän on antanut 80 % todennäköisyyden. Jos halutaan saada asiantuntija-arvioita usealta asiantuntijalta, saattaa kyselylomakkeen tekeminen olla houkuttelevaa, mutta haastattelu on kuitenkin suositeltavampi vaihtoehto. Kyselylomakkeessa ongelmana voi olla se, että haastateltava ei ymmärrä kysymystä haastattelijan tarkoittamalla tavalla eikä haastattelija voi esittää myöskään tarkentavia lisäkysymyksiä. Lomakekyselyn tekeminen on kuitenkin perusteltua esimerkiksi silloin, kun kysymykset ovat suhteellisen helppoja. (O'Hagan ym. 2006: 17, 26.)

Tätä tutkimusta varten haastateltiin kolmea öljyntorjunta-alueen päällikköä ja yhtä perämiestä sekä SYKE:ssä tarkastajana toimivaa Jouko Pirttijärveä (LIITE 1 ja 2). Pirttijärven tehtäviin kuuluu muun muassa öljyntorjunnan koulutus ja harjoitukset sekä

torjuntakaluston hankinta ja ylläpito. Neljä haastattelua tapahtui kasvokkain ja yksi puhelimitse. Viiden haastattelun lisäksi kolme öljyntorjunta-aluksilla työskentelevää henkilöä vastasi kahden öljyntorjunta-aluksen, Hylkeen ja Merikarhun, osalta kysymyksiin sähköpostitse.

Asiantuntijahaastatteluiden tarkoituksena oli saavuttaa riittävä määrä tietoa, jotta voitiin tehdä asiantuntijoiden tietoa ja epävarmuutta kuvaavia todennäköisyysjakaumia. Haastateltavien kiinnisaaminen ja haastatteluajan sopiminen osoittautui haasteelliseksi heidän kiireellisten aikataulujensa vuoksi. Niinpä muutamassa tapauksessa paras tapa tiedon saamiseksi oli puhelin tai sähköposti. Haastatteluissa oli tärkeää saada arvioita muun muassa öljyntorjunta-aluksen kulkunopeudesta eri aallonkorkeuksilla sekä keruutankin tyhjennys- ja täyttymisajasta. Tällaisia tietoja pystyi hyvin antamaan myös puhelimen tai sähköpostin avulla, eikä kasvokkain tapahtuva haastattelu ollut välttämätön. Toisaalta oli hyvä, että osa haastatteluista tapahtui kasvokkain, jolloin oli mahdollista tehdä tarvittaessa tarkentavia kysymyksiä ja ymmärtää annettuja vastauksia paremmin.

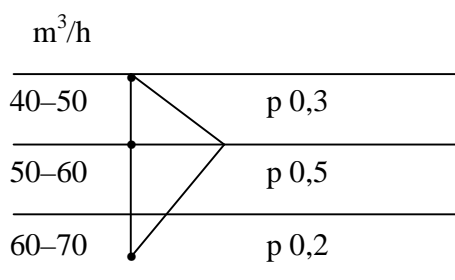
Suomenlahdella operoivat öljyntorjunta-alukset ovat Merivoimien, Meritaito Oy:n tai Rajavartiolaitoksen omistuksessa. Haastateltavat valittiin siten, että Merivoimilta, Meritaito Oy:ltä ja Rajavartiolaitokselta saatiin jokaiselta vähintään kaksi henkilöä vastaamaan kysymyksiin. Haastateltavilta ei kysytty suoraan todennäköisyyksiä, sillä niiden antaminen on usein hyvin vaikeaa ja ne voivat sisältää runsaasti virheitä, kuten aiemmin on todettu. Heiltä kysyttiin sen sijaan arvioita muuttujien maksimiarvoista, keskimääräisistä arvoista ja minimiarvoista sekä näiden vaihteluväleistä. Joillekin haastateltaville arvioiden tekeminen osoittautui vaikeaksi, ja he suostuivat antamaan ainoastaan maksimiarvon tai minimiarvon kysymyksestä riippuen. Osa kysymyksistä osoittautui niin vaikeiksi, etteivät läheskään kaikki halunneet vastata niihin ollenkaan, kuten esimerkiksi keruutankin tyhjennys- ja täyttymisaikaa koskeviin kysymyksiin. Niihin vaikuttavat niin monet ennustamattomissa olevat asiat, kuten kerättävän öljyn määrä, öljylautan paksuus ja sääolot, että luotettavien arvioiden tekeminen oli haastateltaville lähes mahdotonta. Muutamilta haastateltavilta saatiin kuitenkin riittävän täydelliset vastaukset, joiden perusteella muokattiin todennäköisyysjakaumat kaikille aluksille niiden tunnetut erityispiirteet ja erot huomioiden.

Kun asiantuntijalta kysyttiin, missä ajassa öljyntorjunta-alus Hylkeen öljynkeruutankki on täysi, saatiin seuraavat arviot: jos aallonkorkeus on 0–1 metriä tai 1–2 metriä ja öljytyyppi on keskiraskas tai raskas, niin keruutankki on täysi minimissään 12 tunnissa, keskimäärin 16 tunnissa ja maksimissaan 20 tunnissa. Jos taas aallonkorkeus on yli 2 metriä tai öljytyyppi on kevyt, öljyä ei saada kerättyä ollenkaan. Haastattelussa kävi ilmi, että öljyntorjunta-alukset on suunniteltu keräämään lähinnä keskiraskasta ja raskasta öljyä. Niinpä kevyt öljy tarttuu harjoihin todella heikosti tai ei lainkaan. Öljytyypin lisäksi myös aallonkorkeudella on suuri merkitys tankin täyttymisnopeuteen. Haasteltavien mukaan keruutehokkuus alkaa heiketä jo kun aallonkorkeus ylittää yhden metrin.

SYKE:ssä on laskettu Suomen eri öljyntorjunta-alusten keruukapasiteetti (m^3/h), kun keruunopeus on yhden solmun ja vedessä olevan öljykerroksen keskipaksuus on yhden millimetrin (Hietala & Lampela 2007: 9). Tämän keruukapasiteetin oletettiin olevan lähellä optimaalista tulosta, ja se oli suuntaa antavana tietona asiantuntijoiden arvioissa. Aluksen keruukapasiteetti voi kuitenkin olla suurempi kuin SYKE:ssä laskettu esimerkiksi silloin, kun öljyä on meressä huomattavasti paksumpi kerros tai kun aluksen nopeus on kaksi solmua. Keruukapasiteettiin liittyy kuitenkin niin paljon epävarmuutta, että todellinen optimaalinen keruukapasiteetti on todennäköisesti paljon pienempi kuin teoreettinen optimikapasiteetti. Siksi SYKE:ssä laskettuja aluskohtaisia keruukapasiteetteja pidettiin suuntaa-antavina arvoina.

Alun perin mallissa oli tarkoituksena käyttää suoraan haastateltavilta saatuja arvioita öljynkeruutankin täyttymisestä, mutta mallin rakenteen vuoksi arviot jouduttiin muuttamaan keruukapasiteetiksi eli, kuinka paljon öljyä saadaan kerättyä tunnissa. Jos tämä olisi ollut selvillä jo haastatteluita tehdessä, haastateltavilta olisi voitu kysyä tätä suoraan. Esimerkiksi asiantuntijan tekemät arviot Hylkeen keruutankin täyttymisajasta muutettuina kuutiometreiksi tunnissa ovat: maksimi $66,67 \text{ m}^3/\text{h}$, keskimäärin $50 \text{ m}^3/\text{h}$ ja minimi $40 \text{ m}^3/\text{h}$. Haastattelujen jälkeen minimi-, keskimääräis- ja maksimiarvojen perusteella piirrettiin kuva helpottamaan todennäköisyysjakaumien muodostamista (Kuva 7.). Saadut arvot sijoitettiin pisteinä muuttujan *Tankin täyttyminen* luokkajakoa kuvaavaan asteikkoon, minkä jälkeen niiden pohjalta piirrettiin kolmiojakauma. Tilaluokkien lopulliset todennäköisyydet (eli niihin osuva niin sanottu todennäköisyysmassa) arvioitiin piirroksessa kolmiojakauman kuhunkin luokkaan osuneen suhteellisen pinta-alaosuuden

perusteella. Haastattelun perusteella luodun todennäköisyysjakauman mukaan aallonkorkeuden ollessa 0–1 metriä ja öljytyypin ollessa keskiraskas tai raskas Hylkeen keruukapasiteetti on 40–50 m³ tunnissa todennäköisyydellä 0,3 ja 50–60 m³ tunnissa todennäköisyydellä 0,5 sekä 60–70 m³ tunnissa todennäköisyydellä 0,2.



Kuva 7. Aluksen Hylje muuttujan *Tankin täytyminen* (m³/h) todennäköisyysjakauman muodostamista helpottamaan tehty kuva kun aallonkorkeus on 0–1 metriä ja öljytyyppi on keskiraskas tai raskas. Kuvan p tarkoittaa suhteellista todennäköisyyttä asteikolla 0–1.

Aallonkorkeuden ollessa vähintään 2 metriä öljyä ei haastateltavan mukaan saada kerättyä lainkaan, joten silloin keruukapasiteetti on 0–0,00001 m³/h todennäköisyydellä 1,0. Vaikka haastateltava arvioi myös, ettei kevyen öljyn kerääminen onnistu lainkaan, laitettiin kevyen öljyn keruukapasiteetiksi kuitenkin hyvin pieni keruukapasiteetti eli 0,00001–5 m³/h todennäköisyydellä 1,0. Tähän päädyttiin, koska osa haastateltavista arvioi, että kevyt öljy saattaa tarttua harjoihin vaikka se tarttuukin hyvin huonosti. Lisäksi haastateltava arvioi, että muuttujan *Aallonkorkeus* tiloissa 0–1 metriä ja 1–2 metriä keruutankin täytyminen on yhtä nopeaa. Hän kuitenkin arvioi, että aallonkorkeuden ollessa 1,5 metriä öljyn kerääminen ei enää onnistu. Niinpä suurille keruukapasiteeteille laitettiin aallonkorkeuden ollessa 1–2 metriä pienemmät todennäköisyydet kuin aallonkorkeuden ollessa 0–1 metriä. (Taulukko 2.)

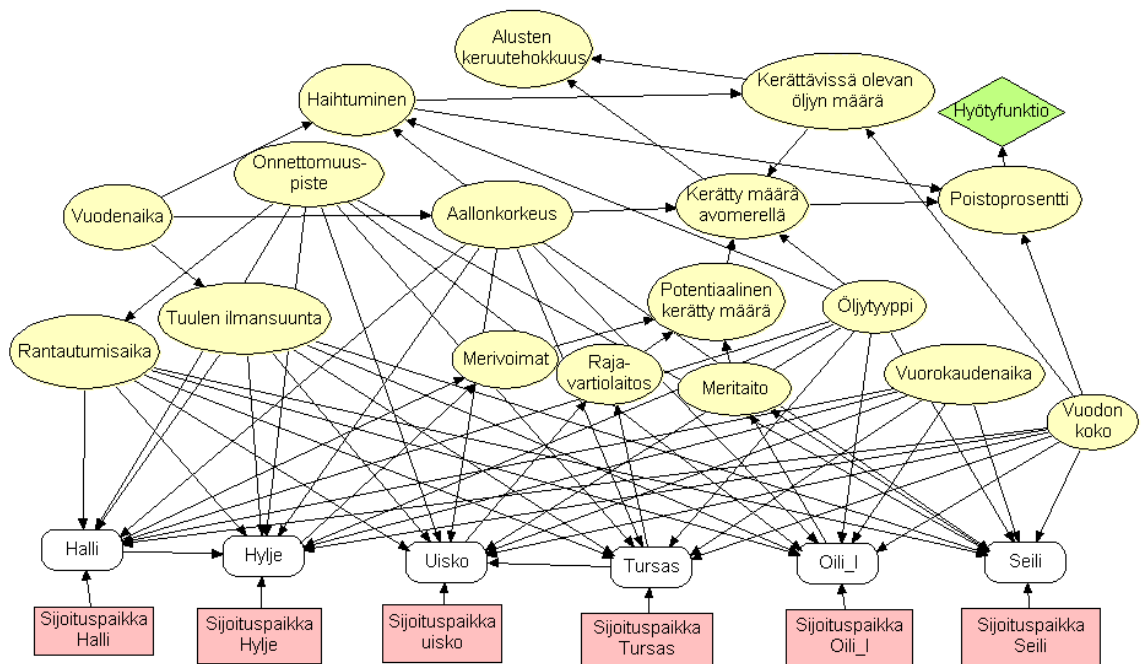
Taulukko 2. Aluksen Hylje muuttujan *Tankin täyttyminen* todennäköisyysjakauma ehdollistettuna muuttujilla *Aallonkorkeus* ja *Öljytyyppi*. Taulukossa K tarkoittaa kevyttä öljyä, KR keskiraskasta öljyä ja R raskasta öljyä.

Aallon- Korkeus (m)	0–1			1–2			2–3			> 3		
Öljytyyppi	K	KR	R	K	KR	R	K	KR	R	K	KR	R
Tankin täyttyminen (m ³ /h)												
0–0,00001	0	0	0	0	0	0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,00001–5	1,0	0	0	1,0	0	0	0	0	0	0	0	0
5–40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40–50	0	0,3	0,3	0	0,4	0,4	0	0	0	0	0	0
50–60	0	0,5	0,5	0	0,45	0,45	0	0	0	0	0	0
60–70	0	0,2	0,2	0	0,15	0,15	0	0	0	0	0	0

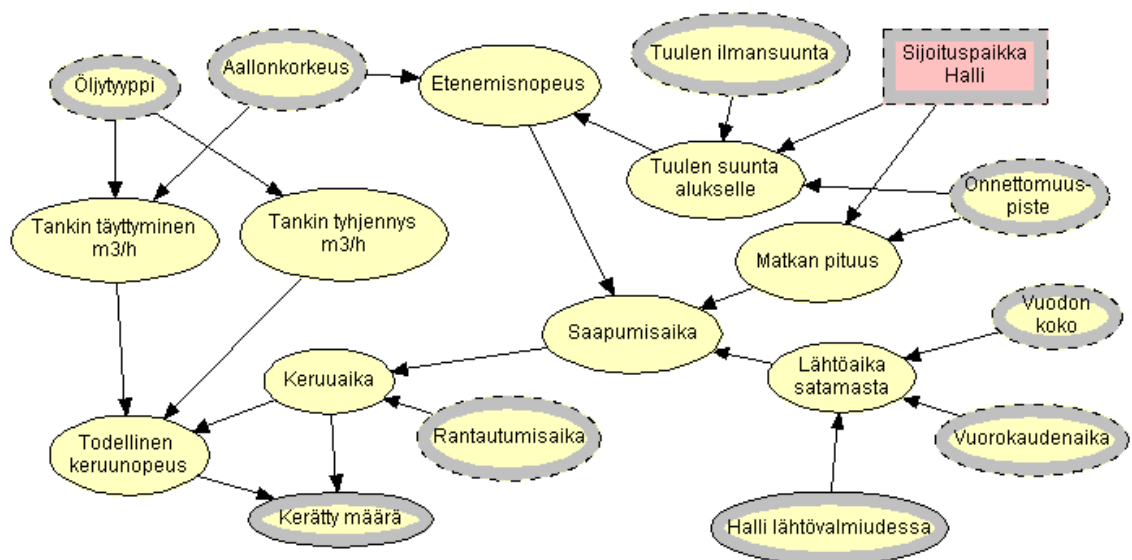
4 Malli

4.1 Mallin rakenne

Mallinnuksessa käytettiin Hugin Researcher 7.2® -ohjelmistoa (Madsen ym. 2005). Malli koostuu päämallista (Kuva 8.) sekä kuudesta aluskohtaisesta alimallista (Kuva 9.). Tässä malliversiossa ovat mukana alukset Halli, Hylje, Tursas, Uisko, Seili ja Oili I. Näistä aluksista Seilin ja Oili I:n kotisatamat vaihtelevat jonkin verran työtehtävien mukaan, Hylkeen tämänhetkinen kotisatama on Upinniemessä sekä Tursaan, Uiskon ja Hallin Turussa. Vaikka Tursaan, Uiskon ja Hallin kotisatamat ovat Saaristomerellä, ne on otettu mukaan malliin, sillä niiden öljyntorjunnan vastuualueeseen kuuluu Saaristomeren lisäksi myös Suomenlahti.



Kuva 8. Päämallin rakenne. Mallissa suorakulmiot ovat päätösmuuttujia, kulmikkaat ovaalit alimalleja, ovaalit satunnaismuuttujia ja nelikulmio hyötömuuttujia.



Kuva 9. Öljyntorjunta-alue Hallin alimalli. Satunnaismuuttujat, joilla on harmaa katkoviivainen reuna, ovat sisääntulomuuttujia (input). Satunnaismuuttujat, joilla on harmaa yhtenäinen reuna, ovat ulosmenomuuttujia (output).

Suomenlahdella ja Saaristomerellä on arviolta 11 sellaista alusta, joiden voidaan olettaa tulevan onnettomuuspaikalle öljyonnettomuuden sattuessa Suomenlahdella. Määrä voi kuitenkin vaihdella esimerkiksi Meritaito Oy:n alusten työtehtävien takia. Alun perin mallissa oli seitsemän alusta ja siihen olisi voinut lisätä helposti vielä ainakin kaksi Oili I aluksen sisaralusta sekä mahdollisesti myös Leton ja Sektorin. Mallista tuli kuitenkin niin raskas, ettei sitä voitu pyörittää käytettävissä olevalla tietokoneella. Niinpä tässä työssä esitettävää mallia jouduttiin yksinkertaistamaan, ja yksi aluksista jouduttiin poistamaan, jotta tulosten tarkastelu oli mahdollista. Aluksista päätettiin poistaa pienin alus eli Merikarhu, koska sen vaikutus öljyntorjuntakapasiteettiin on vähäisin. Näin malliin jäi kaksi alusta sekä Merivoimilta, Rajavartiolaitokselta että Meritaito Oy:ltä. Koska malliin ei voitu laittaa kaikkia niitä aluksia, jotka olisi haluttu, mallista tehtiin toinen versio hieman eri aluksilla. Näin voitiin tarkastella sitä, miten mallin tulokset muuttuvat kun aluksia vaihdetaan. Toiseen versioon valittiin Saaristomereltä Tursas ja Suomenlahdelta viisi alusta: Seili, Oili I, Oili II, Hylje ja Merikarhu.

Malleissa ei voida juuri koskaan ottaa huomioon kaikkia asioita, vaan joudutaan tekemään oletuksia ja yksinkertaistuksia. Tässä mallissa ei ole otettu huomioon puomituksia ja niiden avulla tapahtuvaa mahdollista öljyn leviämisen estämistä. Useimmat öljyalaadut ovat kevyempiä kuin vesi, ja veteen joutuessaan ne leviävät jo muutamassa tunnissa laajalle alueelle tuhannesosamillimetrien paksuiseksi ohueksi kalvoksi veden pinnalla. Alueen koko voi olla jopa kymmeniä neliökilometrejä. (Aalto ym. 2006: 17.) Kevyet öljyalaadut leviävät nopeammin, laajemmalle alueelle ja muodostavat ohuemman kalvon kuin raskaat öljyt (Lehmuskoski 2006: 3). Puomien avulla merestä saadaan usein myös kerättyä enemmän öljyä kuin ilman puomeja, sillä puomit rajaavat öljyn pienemmälle alueelle. Toisaalta avomerellä puomien käsitteleminen on erittäin vaikeaa, ja esimerkiksi niiden ankkuroiminen on usein mahdotonta. Vaikka puomit onnistuttaisiin pitämään paikoillaan, suuri aallonkorkeus vähentää niiden tehokkuutta. Puomien tehokkuus on siten hyvin riippuvainen ympäristötekijöistä. (Helle 2005: 82.) Mallissa on oletuksena, että öljyntorjunta-alukset pääsevät tyhjentämään tankkinsa heti onnettomuuspaikalla olevaan säiliöalukseen ja pystyvät jatkamaan keräämistä saman tien tyhjennyksen jälkeen. Todellisuudessa alusten täytyy kuitenkin toisinaan ajaa jopa rantaan asti, jos onnettomuuspaikalla ei ole tarvittavia aluksia joihin tankin voi tyhjentää. Silloin eniten aikaa menee aluksen matkaan rantaan ja takaisin, minkä kesto on riippuvainen vallitsevista

sääoloista. Lisäksi vaikka onnettomuuspaikalla olisi tarvittavia aluksia, öljyntorjunta-alukset joutuvat usein käyttämään ainakin jonkin verran aikaa siihen, että ne pääsevät aluksen luokse ja toisaalta tyhjennyksen jälkeen takaisin öljynkeräyspaikalle.

Mallissa myös oletetaan, että kaikki merestä kerättävä aine on öljyä ja että kaikki mereen haihtumisen jälkeen jäävä öljy on kerättävissä. Todellisuudessa öljyn mukana tulee kuitenkin aina jonkin verran vettä, ja sen määrä vaihtelee riippuen muun muassa öljylautan paksuudesta ja öljytyypistä. Esimerkiksi aallokko ja kova tuuli voivat sekoittaa keskenään pieniä vesi- ja öljytippoja emulsioksi (Nissinen 2000: 9). Tällaisessa öljyssä vettä voi olla jopa 80 prosenttia (Veriö 1990: 30). Siten vesi myös kasvattaa merkittävästi öljypäästön kokonaistilavuutta (Nissinen 2000: 10). Lisäksi emulgoitumisen tai haihtumisen seurauksena osa öljystä voi muuttua vettä raskaammaksi ja vajota pohjaan (Nissinen 2000: 9–10) tai väliveteen keräysalusten ulottumattomiin.

Mallissa ei ole otettu huomioon sitä, että öljyn ollessa pitkään meressä sen viskositeetti muuttuu eikä se enää tartu harjoihin (haastattelu Taralainen 2.3.2010). Oletuksena mallissa on, että öljy tarttuu harjoihin samalla tavoin riippumatta siitä, kuinka kauan se on ollut meressä. Nämä ennako-oletukset vaikuttavat mallin tuloksiin ja vääristävät niitä liian optimistisiksi.

Osa mallin muuttujien todennäköisyysjakaumista on saatu aiemmista tutkimuksista (Helle 2009 ja Juntunen 2005). Öljyntorjunta-aluksiin liittyvät muuttujat ja niiden todennäköisyysjakaumat ovat uusia, ja ne on tehty tätä tutkimusta varten. Mallin muuttujat on luokiteltu kolmeen ryhmään: Ympäristötekijöihin liittyvät muuttujat, Öljyn leviämiseen liittyvät muuttujat ja Öljyntorjunta-aluksiin liittyvät muuttujat. Joidenkin muuttujien todennäköisyystaulua ei voida esittää niiden suuren koon takia. Tämä johtuu siitä, että solujen määrä kertautuu jokaisesta vanhempi -muuttujasta ja sen tiloista. Jos johonkin muuttujaan vaikuttaa kolme muuttujaa, joilla jokaisella on viisi vaihtoehtoista tilaa, tulee vaihtoehtoisia jakaumia 5^3 (= 125 kpl). Jos kyseessä olevalla muuttujalla on kolme tilaluokkaa, taulukossa on yhteensä $125 \cdot 3$ solua.

4.2 Ympäristötekijöihin liittyvät muuttajat

Vuodenajalla on suuri merkitys öljyonnettomuuden seurauksiin. Talvella erityisesti vaikeat jääolosuhteet, pimeys ja kylmyys vaikeuttavat öljyntorjuntaa, ja toisaalta keväällä tapahtuneella öljyonnettomuudella on negatiivisia vaikutuksia koko ekosysteemiin. Talvella ja keväällä tapahtuneet onnettomuudet ovatkin siksi usein kaikkein tuhoisimpia. (SYKE 2009b.) Tässä tutkimuksessa on otettu huomioon vain kevät, kesä ja syksy (Taulukko 3.). Talvi on jätetty huomiotta, sillä jääolosuhteiden takia öljyntorjunta poikkeaa huomattavasti muina vuodenaikoina tapahtuvasta torjunnasta. Öljyn kerääminen jäiden seasta on erityisen vaikeaa. Esimerkiksi Oili alukset pystyvät murtamaan vain enintään 10 cm paksuista jäätä (Hietala & Lampela 2007: 12), joten ne soveltuvat huonosti talvella tapahtuvaan öljyntorjuntaan. Alukset onkin sijoitettu talvisin hieman eritavoin kuin muina vuodenaikoina. Meritaito Oy siirtää muun muassa Kummelin talvisin sisämaasta Suomenlahdelle. Muuttujan *Vuodenaika* todennäköisyysjakauma kuvaa suhteellista todennäköisyyttä, että onnettomuus tapahtuu Suomenlahdella tiettyinä ajanjaksona vuodesta (Taulukko 4.) Se on muodostettu HELCOM:in onnettomuustilastojen pohjalta vuosilta 1989–2005 (katso Helle 2009, Juntunen 2005).

Taulukko 3. Muuttujan *Vuodenaika* tilat kuukausien mukaan.

Kevät	Kesä	Syksy
Maaliskuu	Kesäkuu	Syyskuu
Huhtikuu	Heinäkuu	Lokakuu
Toukokuu	Elokuu	Marraskuu

Taulukko 4. Muuttujan *Vuodenaika* prioritodennäköisyysjakauma.

Vuodenaika	
Kevät	0,39
Kesä	0,28
Syksy	0,33

Aallonkorkeus ei kasva Suomenlahdella koskaan todella suureksi. Aaltojen kokoa rajoittavat muun muassa Suomenlahden kapeus (Itämeriportaali 2010a). Suurilla aallonkorkeuksilla öljyn kerääminen merestä on vaikeaa. Suomen suurimmat torjunta-alukset pystyvät keräämään öljyä avomerellä kun aaltojen hetkellinen esiintymiskorkeus on 2–3 metriä. Merkitsevä aallonkorkeus on silloin 1–1,5 metriä (Hietala & Lampela 2007: 19.) Haastattelujen perusteella merkitsevän aallonkorkeuden ylittäessä kaksi metriä öljyntorjunta ei onnistu enää lainkaan Suomen nykyisellä kalustolla. Suomen nykyisille öljyntorjunta-aluksille merkitsevä aallonkorkeus on noin 80 prosentin todennäköisyydellä riittävän alhainen öljyntorjuntaan (Hietala & Lampela 2007: 19). Merkitsevä aallonkorkeus saadaan aallokon spektrin varianssin avulla, ja se on suunnilleen sama kuin aallokon korkeusjärjestykseen asetettujen aaltojen korkeimman kolmasosan keskiarvo. Merkitsevä aallonkorkeus on aina noin puolet pienempi kuin aallokon korkein aalto. (Itämeriportaali 2010b.) Kun tässä työssä puhutaan aallonkorkeudesta, tarkoitetaan merkitsevää aallonkorkeutta.

Muuttujan *Aallonkorkeus* todennäköisyysjakauma (Taulukko 5.) on Juntusen (2005) tutkimuksesta, jossa hän on laskenut merkitsevän aallonkorkeuden todennäköisyysjakauman käyttämällä Suomen merenkululaitoksen aallonkorkeusmittauksia vuosilta 1982–1985 (Kahma & Pettersson 1993). Mittaukset on tehty vain yhdellä poijulla, joka sijaitsee Helsingin edustalla pisteessä 59.58 N ja 25.14 E. Tällä hetkellä Suomenlahdelta ei ole kuitenkaan saatavilla helposti muita merkitsevän aallonkorkeuden mittaustuloksia.

Taulukko 5. Muuttujan *Aallonkorkeus* todennäköisyysjakauma ehdollistettuna muuttujalla *Vuodenaika*.

Vuodenaika	Kevät	Kesä	Syksy
Aallonkorkeus			
0–1 m	0,89	0,88	0,52
1–2 m	0,11	0,11	0,39
2–3 m	0,00	0,01	0,08
>3 m	0,00	0,00	0,01

Tuulen suunta alukselle tarkoittaa sitä, onko aluksella myötätuuli, vastatuuli vai sivutuuli. Sillä on suuri merkitys aluksen etenemisnopeuteen ja sitä kautta myös aluksen saapumisaikaan. Eri satamista lähdettäessä kohti eri onnettomuuspaikkoja tuulen suunta vaihtelee, koska myös aluksen kulkusuunta vaihtelee sen kulkiessa laivaväyliä pitkin. Muuttujan *Tuulen suunta alukselle* todennäköisyysjakauma laskettiin siten, että aluksen reitti onnettomuuspaikalle mitattiin laivaväyliä pitkin ja laskettiin tuulen eri ilmansuuntien prosenttiosuudet. Laivareitin lisäksi muuttujan *Tuulen suunta alukselle* todennäköisyysjakaumaan vaikuttaa siten myös muuttuja *Tuulen ilmansuunta*. Sivutuuleksi määriteltiin vain täysin sivusta puhaltava tuuli ja kaikki muut olivat joko myötä- tai vastatuulia. Aluksilla on todellisuudessa useita eri reittejä, joita pitkin ne voivat päästä onnettomuuspaikalle. Tässä tapauksessa reitiksi otettiin aina lyhin mahdollinen reitti satamasta laivaväyliä pitkin onnettomuuspaikalle. Muuttujan *Tuulen suunta alukselle* todennäköisyystaulua ei esitetä sen suuren koon takia.

Muuttujan **Tuulen ilmansuunta** todennäköisyysjakauma (Taulukko 6.) saatiin ilmatieteen laitoksen tilastoista. Ilmatieteen laitoksella on mittaustuloksia kolmelta eri asemalta Suomenlahdella: Hanko, Kotka ja Inkoo vuosilta 1971–2000. Kolmen eri mittausaseman tiedot syötettiin aluksi MS Exceliin, josta ne siirrettiin Hugin Researcher 7.2 ohjelmaan. Todennäköisyysjakauma iteroitiin käyttämällä EM-algoritmiä, joka on Hugin Researcher ohjelmassa käytössä oleva funktio. Sen avulla voidaan syötetyistä tiedoista saada arviot suhteellisesta todennäköisyysjakaumasta ja sen tiheydestä, kun mallin graafinen rakenne on tiedossa. (Lauritzen 1995). Muuttujaa *Tuulen ilmansuunta* tarvittiin muuttujan *Tuulen suunta alukselle* muodostamisessa.

Taulukko 6. Muuttujan *Tuulen ilmansuunnan* todennäköisyysjakauma ehdollistettuna muuttujalla *Vuodenaika*.

Vuodenaika	Kevät	Kesä	Syksy
Ilmansuunta			
Pohjoinen	0,0955224	0,108216	0,104462
Koillinen	0,0935323	0,0791584	0,0973632
Itä	0,170149	0,119238	0,0801218
Kaakko	0,0865672	0,0731464	0,0882354
Etelä	0,110448	0,0961925	0,148073
Lounas	0,204975	0,243487	0,185598
Länsi	0,129353	0,166333	0,174442
Luode	0,0865672	0,103206	0,11359
Tyyni	0,0228856	0,011022	0,0081136

SAFGOF-projektissa on määritelty viisi keskimääräistä onnettomuusalttiimpaa aluetta Suomenlahdelta eli niin sanottua **onnettomuus pistettä**. Alueet on määritelty tarkastelemalla liikennemääristä riippuvaisia geometrisiä törmäys- tai karilleajotodennäköisyyksiä Suomenlahdella (katso Ylitalo ym. 2008 tai Kujala ym. 2009). Alus on geometrisessä törmäyskurssissa, jos se törmää toiseen alukseen tai ajaa karille ilman taitavaa ohjausta (Kujala ym. 2009: 1353). Alueille on määritelty tarkat koordinaattipisteet. Neljälle pisteelle (C1–C4) tullaan mallintamaan yhteentörmäyksen ja kahdelle pisteelle (G1–G2) karilleajon todennäköisyys. Pisteiden tarkat koordinaatit ovat:

C1: 59.78 N, 24.73 E

C2: 59.95 N, 25.40 E

C3 & G2: 60.07 N, 28.34 E

C4: 59.49 N, 23.33 E

G1: 60.18 N, 25.62 E

Muuttujalle *Onnettomuus piste* annetaan tässä tapauksessa tasainen jakauma eli jokaisessa pisteessä onnettomuuden todennäköisyys on yhtä suuri (Taulukko 7). Tämä tehdään, koska tarkoituksena on tarkastella, miten öljyntorjunta-alukset tulisi sijoittaa, kun ei ole tiedossa, missä pisteessä onnettomuus tapahtuu. Jakauma on päivitettävissä jälkikäteen SAFGOF-projektissa saatavien tulosten mukaan kuvaamaan näiden pisteiden suhteellisia onnettomuustodennäköisyyksiä. Päivitetyllä jakaumalla saattaa olla vaikutusta myös mallin laskemiin suosituksiin alusten optimaalisen sijoittamisen kannalta.

Taulukko 7. Muuttujan *Onnettomuus piste* prioritodennäköisyysjakauma.

Onnettomuus piste	
C1	0,2
C2	0,2
C3&G2	0,2
C4	0,2
G1	0,2

Matkan pituus mitattiin kaikista neljästä satamasta viiteen eri pisteeseen laivaväyliä pitkin siten, että valittiin aina lyhin mahdollinen reitti. Tosiasiassa alukset voivat siis valita erilaisia reittejä. Matkan pituus on kuitenkin suuntaa-antava arvo. Todennäköisyystaulua ei esitetä sen suuren koon takia.

Näkyvyys tarkoittaa sitä, kuinka kaukaa jonkin kohteen voi nähdä. Näkyvyyteen vaikuttavat vesi- tai lumisade, valaistus, kohteen koko, kohteen ja taustan tummuusero sekä ilman epäpuhtaudet. Hyvä näkyvyys tarkoittaa yli 10 km:n näkyvyyttä, kohtalainen 4–10 km:n näkyvyyttä, huono 1–4 km:n näkyvyyttä ja erittäin huono alle 1 km:n näkyvyyttä eli sumua. (Ilmatieteen laitos 2010.) Öljyn paikantaminen ja siten myös sen kerääminen on tehokkainta valoisalla (Hietala & Lampela 2007: 10). Haastattelujen perusteella selvisi, että näkyvyys ei vaikuta aluksen nopeuteen, sillä nykyisellä tekniikalla pystytään ajamaan hyvin pimeässäkin. Näkyvyys ei vaikuta myöskään öljynkeruunopeuteen, sillä infrapunakameroilla ja lentokoneilla päästään suhteellisen helposti onnettomuuspaikalle

keräämään öljyä. Ainoastaan optimaalisimman keräyspaikan löytyminen saattaa vaikeutua. (haastattelu Päivinen 17.2.2010.) Koska haastattelujen perusteella näkyvyydellä on vain vähän merkitystä öljyntorjunnassa, se jätettiin lopulta pois mallista.

4.3 Öljyn leviämiseen liittyvät muuttujat

Öljiytyppi on luokiteltu kolmeen luokkaan: raskaisiin, keskiraskaisiin ja kevyisiin öljyihin. Öljiytyypillä on suuri merkitys öljyntorjunnan tehokkuuteen, sillä öljytyppi vaikuttaa muun muassa siihen, kuinka paljon öljyä haihtuu merestä ja kuinka hyvin öljy tarttuu öljyntorjunta-alusten keräysjärjestelmiin. Luokat ja todennäköisyysjakauma (Taulukko 8.) on saatu Juntusen (2005) työstä. Juntunen on saanut todennäköisyysjakauman Suomen ympäristökeskuksen asiantuntijalta. Todennäköisyydet arvioitiin ottamalla huomioon tankkerien tilavuudet, niiden suhteelliset osuudet kokonaisliikenteestä ja Suomenlahdella kuljetettava kokonaisöljymäärä (Juntunen 2005: 17). Näin ollen todennäköisyydet kuvaavat öljyn kuljetusosuuksia Suomenlahdella.

Taulukko 8. Muuttujan *Öljiytyppi* prioritodennäköisyysjakauma.

Öljiytyppi	
Kevyt	0,2
Keskiraskas	0,4
Raskas	0,4

Haihtumisella tarkoitetaan tässä tapauksessa sitä, kuinka monta prosenttia veteen joutuneesta öljystä haihtuu ilmaan. Yleensä haihtuminen tapahtuu ensimmäisen 24 tunnin aikana (ITOPF 2010c). Haihtuminen on ainoa öljyn säästymisprosesseista, jossa veteen vuotanutta öljyä poistuu vesiekosysteemistä. Sillä on myös erityisen suuri merkitys öljyn säästymisprosesseissa (Nissinen 2000: 9). Öljyn haihtumiseen merestä vaikuttaa muun muassa öljytyppi, tuuli, aallokko ja lämpötila. Kevyet öljyt haihtuvat meren pinnalta alle vuorokauden ja joskus vain muutamien tuntien kuluessa. (SYKE 2009b.) Kevyet raakaöljyt voivat menettää öljyvuotoa seuraavina päivinä jopa 75 prosenttia tilavuudestaan

haihtumalla (Nissinen 2000: 10). Tästä syystä kevyimpiä öljyalaatuja ei välttämättä ehditä poistaa vedestä (Lehmuskoski 2006: 4). Raskaat öljyt menettävät onnettomuuden jälkeisinä päivinä vain noin 5 % tilavuudestaan (Fingas 1997: 228). Vaikka kevyet öljytuotteet haihtuvat helposti, ne ovat vesiluonnolle kaikkein myrkyllisimpiä (SYKE 2009b). Haihtuminen myös vähentää öljyn syttymisherkkyyttä ja myrkyllisyyttä, sillä usein myrkyllisimmät yhdisteet ovat herkimmin haihtuvia. Toisaalta jäljelle jääneen öljyn tiheys voi muuttua, ja öljystä voi tulla vettä painavampaa, jolloin se vajoaa pinnan alle keruukaluston ulottumattomiin. (Nissinen 2000: 10.) Kylmällä säällä säästymisen on vähäisemmän haihtumisen ja hajotuksen takia hitaampaa kuin lämpimällä, joten myös öljyn olomuoto muuttuu hitaammin (Lehmuskoski 2006: 4–5).

Mallissa hyödynnettiin Juntusen (2005) tekemää luokkajakoa ja todennäköisyysjakaumaa. Juntunen mallinsi epävarmuutta normaalijakaumalla, jonka odotusarvo saatiin alla olevan kaavan avulla. Keskihajontana käytettiin arvoa $\sigma = 10$. Muuttujan todennäköisyystaulua ei esitetä sen suuren koon takia.

Juntusen (2005) kaava on muotoa:

$h = g_1(\text{öljytyyppi}) * g_2(\text{aallonkorkeus}) * g_3(\text{vuodenaika})$, jossa:

h = haihtuvan öljyn määrä prosentteina

	0,8 jos öljytyyppi = kevyt
$g_1(\text{öljytyyppi}) =$	0,3 jos öljytyyppi = keskiraskas
	0,15 jos öljytyyppi = raskas
	0,9 jos aallonkorkeus ≤ 1 m
	1 jos aallonkorkeus = 1–2 m
$g_2(\text{aallonkorkeus}) =$	1,1 jos aallonkorkeus = 2–3 m
	1,2 jos aallonkorkeus ≥ 3 m
	0,8 jos vuodenaika = kevät
$g_3(\text{vuodenaika}) =$	1,1 jos vuodenaika = kesä
	0,9 jos vuodenaika = syksy

Rantautumisaika on ehdollistettu muuttujalla *Onnettomuus piste* eli mitä lähempänä rantaa onnettomuus piste on, sitä suuremmalla todennäköisyydellä öljy ajautuu rantaan nopeasti. Rantautumisaika laskettiin pisteille, C3&G2 ja C4, hyödyntämällä Hietalan ja Lampelan (2007: 13) raportissa olevaa arviota siitä, että keskellä Suomenlahtea tapahtuvassa öljyonnettomuudessa öljyä ajautuisi rannikolle aikaisintaan vuorokauden ja viimeistään yhdeksän vuorokauden aikana. Epävarmuutta mallinnettiin normaalijakaumalla, jonka odotusarvona oli $\mu = 5$ ja keskihajontana $\sigma = 2$ (Taulukko 9.). Hietalan ja Lampelan (2007: 13) mukaan Suomen öljynkeruukapasiteetilla öljyä saataisiin kerättyä tuona aikana enimmillään 35 000 m³, mutta todellisuudessa eri tekijöiden vaikutuksen vuoksi tulos olisi 25 000 m³.

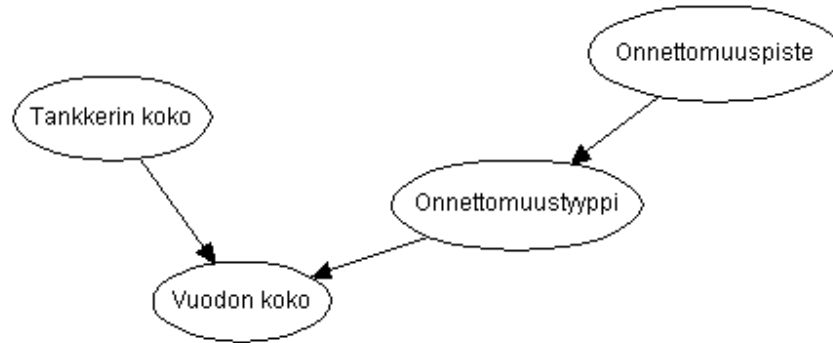
Pisteille C1 ja C2 laskettiin todennäköisyydet hyödyntämällä Hietalan ja Lampelan (2007) raportissa olevaa arviota siitä, että Suomen merialueella tapahtuvassa onnettomuudessa öljyä ajautuisi rannikolle kaikissa olosuhteissa keskimäärin, viimeistään kolmen päivän kuluessa. Epävarmuutta mallinnettiin normaalijakaumalla, jonka odotusarvona oli $\mu = 1,5$ ja keskihajontana $\sigma = 0,5$. Pisteelle G1 muodostettiin arvioimalla oma todennäköisyysjakaumansa, sillä piste sijaitsee niin lähellä rantaa, että normaalijakauma ei kuvaa sen rantautumisaikaa.

Taulukko 9. Muuttujan *Rantautumisaika* todennäköisyysjakauma ehdollistettuna muuttujalla *Onnettomuus piste*.

Onnettomuus piste	C1	C2	C3 & G2	C4	G1
Vuorokausi					
1	0,158655	0,158655	0,022892	0,022892	0,30
2	0,682689	0,682689	0,044332	0,044332	0,60
3	0,157305	0,157305	0,092422	0,092422	0,10
4	0,00135	0,00135	0,150819	0,150819	0
5	2,87E-07	2,87E-07	0,192659	0,192659	0
6	1,28E-12	1,28E-12	0,192659	0,192659	0
7	0	0	0,150819	0,150819	0
8	0	0	0,092422	0,092422	0
9	0	0	0,044332	0,044332	0
10	0	0	0,016644	0,016644	0

Muuttujalla **Vuodon koko** on kuusi eri tilaa, joista suurin on yli 30 000 m³ (Taulukko 10.). SYKE on määritellyt Suomenlahdella öljyntorjunnan tavoitetasoksi 30 000 m³, joka vastaa alueella liikennöivien säiliöalusten kahden lastitankin sisältämää öljymäärää (Hietala & Lampela 2007: 20). Vuodon koko voi kuitenkin todellisuudessa olla myös suurempi. Todennäköisyysjakauma saatiin tekemällä Vuodon koko -apumalli (Kuva 10.), jonka antamista priorituloksista otettiin muuttujan *Vuodon koon* todennäköisyysjakauma. Apumallissa on neljä muuttujaa, jotka ovat *Tankkerin koko*, *Onnettomuus piste*, *Onnettomuustyyppi* ja *Vuodon koko*. Tankkerien koot ja niiden jakauma Suomenlahdella saatiin Kurosen ym. (2008: 19) vuodelle 2007 tekemistä laskelmista. Muuttujalle *Onnettomuus piste* annettiin tasainen jakauma. Muuttujan *Onnettomuustyyppi* tilat ovat karilleajo ja yhteentörmäys. Sen jakauma saatiin arvioimalla HELCOM:n vuosien 1989–2008 tilastoista onnettomuustyyppien ja onnettomuuksien sijaintien perusteella jokaiselle onnettomuus pisteelle oma todennäköisyysjakauma (HELCOM 2001, HELCOM

2008). Muuttuja *Vuodon koko* jakauma ehdollistettiin muuttujilla *Onnettomuustyyppi* ja *Tankkerin koko*. Siihen saatiin jakauma Montewkan ym. (2010) esittämistä laskelmista.



Kuva 10. Vuodon koko -apumalli.

Taulukko 10. Muuttujan *Vuodon koko* prioritodennäköisyysjakauma, kun huomioidaan muuttujat *Onnettomuustyyppi* ja *Tankkerin koko*.

Vuodon koko	
0–500 m ³	0,1765
500–1000 m ³	0,1371
1000–5000 m ³	0,3699
5000–15000 m ³	0,1991
15000–30000 m ³	0,0741
>30000 m ³	0,0434

4.4 Öljyntorjunta-aluksiin liittyvät muuttujat

Kaikkia neljää **Sijoituspaikkaa** haluttiin painottaa mallissa samalla tavalla, koska tarkoituksena on selvittää, missä satamissa eri alusten olisi öljyntorjunnan kannalta optimaalisinta sijaita (Taulukko 11.). Tällä hetkellä aluksia on sijoitettu Suomenlahdella

seuraaviin satamiin: Helsinki, Kirkkonummi ja Kotka. Lisäksi aluksia on sijoitettu Saaristomerellä Turkuun (Kuva 1.).

Taulukko 11. Muuttuja *Sijoituspaikka*.

Sijoituspaikat	
Turku	0,25
Kirkkonummi	0,25
Helsinki	0,25
Kotka	0,25

Lähtöaika satamasta tarkoittaa sitä, kuinka kauan aluksella menee tunteina, ennen kuin se pääsee lähtemään satamasta torjuntatehtäviin. Jokaiselle alukselle on tehty oma todennäköisyysjakauma haastattelujen perusteella. Kolme Meritaito Oy:n alusta on välittömässä toimintavalmiudessa eli valmiita lähtemään vahinkopaikalle seitsemänä päivänä viikossa kello 8–16 välillä viimeistään kuuden tunnin kuluessa hälytyksestä (Työryhmä 2010: 10). Muiden alusten miehitys käynnistyy ilmoituksen tultua, ja valmiusryhmät ja lisämiehitys siirtyvät onnettomuutta lähimpänä olevaan asemapaikkaan. Merivoimien aluksista toinen, Hylje tai Halli, on aina enintään neljän tunnin lähtövalmiudessa, ja Rajavartiolaitoksen vartiovuorolla olevat alukset lähtevät vahinkoalueelle viimeistään tunnin kuluessa hälytyksestä. Rajavartiolaitoksen alukset Merikarhu, Tursas ja Uisko ovat suuren osan ajasta merellä erilaisissa tehtävissä. (Hietala & Lampela 2007: 12.) Joku niistä voi olla onnettomuuspaikalla ensimmäisenä, koska niillä ei mene aikaa satamasta lähtemiseen (haastattelu Pirttijärvi 17.2.2010).

Lähtöaika ehdollistettiin muuttujilla *Vuorokaudenaika* ja *Halli/Hylje lähtövalmiudessa* tai *Tursas/Uisko satamassa/merellä*. Lähtövalmiudessa tai merellä olevalla aluksella menee luonnollisesti vähemmän aikaa lähtöön kuin aluksella, joka ei ole lähtövalmiudessa tai on satamassa. Todennäköisyystauluja ei esitetä niiden suuren koon takia.

Vuorokaudenajalla on kaksi eri tilaa eli *virka-aika* ja *ei virka-aika*. Virka-ajaksi määriteltiin aika klo 8–16, joka on Meritaito Oy:n alusten virka-aika. Vuorokaudenaika viivästyttää jonkin verran Meritaito Oy:n aluksien lähtöä, sillä niiden ei ole pakko lähteä torjuntatoimiin yöllä toisin kuin Rajavartiolaitoksen ja Merivoimien alusten (haastattelu Taralainen 2.3.2010). Todennäköisyysjakauma saatiin käyttämällä onnettomuustietokanta DAMA:n onnettomuuksia vuosilta 1997–1999 ja 2001–2006 (vuodelta 2006 tilastoja vain kesäkuun loppuun asti), jotka on pystytty paikallistamaan Suomenlahdelle (Taulukko 12.). DAMA tietokannassa on kaikki sellaiset merellä tapahtuneet onnettomuudet, joista on raportoitu Suomen Merenkululaitokselle.

Taulukko 12. Muuttujan *Vuorokaudenaika* prioritodennäköisyysjakauma.

Vuorokaudenaika	
Virka-aika	0,4
Ei virka-aika	0,6

Lähtöpäätös tarkoittaa sitä, lähteekö alus ollenkaan matkaan. Haastattelujen perusteella Seili ja Oili I eivät lähde matkaan kun aallonkorkeus on yli kolme metriä (Taulukko 13.).

Taulukko 13. Muuttujan *Lähtöpäätös* todennäköisyysjakauma ehdollistettuna muuttujilla *Tuulen suunta* ja *Aallonkorkeus*.

Tuulensuunta	Vastatuuli				Myötätuuli				Sivutuuli				Tyyni			
	0-1	1-2	2-3	>3	0-1	1-2	2-3	>3	0-1	1-2	2-3	>3	0-1	1-2	2-3	>3
Aallonkorkeus (m)																
Lähtöpäätös																
Lähdetään	1,0	1,0	1,0	0	1,0	1,0	1,0	0	1,0	1,0	1,0	0	1,0	1,0	1,0	1,0
Ei lähdetä	0	0	0	1,0	0	0	0	1,0	0	0	0	1,0	0	0	0	0

Halli lähtövalmiudessa -muuttuja kertoo, onko Halli onnettomuushetkellä lähtövalmiudessa vai ei. Halli on lähtövalmiudessa todennäköisyydellä 0,5 ja se ei ole lähtövalmiudessa todennäköisyydellä 0,5.

Hylje lähtövalmiudessa -muuttuja on ehdollistettu Hallin lähtövalmiudella. Jos Halli on lähtövalmiudessa, Hylje ei ole, ja jos Hylje on lähtövalmiudessa, niin Halli ei ole.

Tursas satamassa/merellä on muuttuja, joka kuvaa sitä, onko Tursas merellä vai satamassa. Rajavartiolaitoksella on kolme alusta, joista vähintään yksi on aina merellä, mutta normaalisti kuitenkin kaksi. Haastattelujen perusteella Merikarhu on lähes aina merellä ja sen lisäksi merellä on Tursas tai Uisko. Tursas on satamassa todennäköisyydellä 0,5 ja merellä todennäköisyydellä 0,5.

Uisko satamassa/merellä -muuttuja on ehdollistettu muuttujalla *Tursas satamassa/merellä* (Taulukko 14.).

Taulukko 14. Muuttujan *Uisko satamassa/merellä* prioritodennäköisyysjakauma.

Tursas satamassa/merellä	Satamassa	Merellä
Uisko satamassa/merellä		
Satamassa	0	0,9
Merellä	1,0	0,1

Etenemisnopeudelle tehtiin haastattelujen avulla aluskohtaiset todennäköisyysjakaumat. Muuttuja *Etenemisnopeus* ehdollistettiin muuttujilla *Aallonkorkeus* ja *Tuulen suunta* (Taulukko 15). Tuulen ollessa sivutuuli alukset joutuvat luovimaan eli kääntymään kohti myötä- tai vastatuulta. Niinpä aluksen matka sivutuulella lähes kaksinkertaistuu. Tämä otettiin huomioon etenemisnopeudessa siten, että sivutuulella etenemisnopeuden ajateltiin tippuvan lähes puoleen. Matkan pituutta ei siis muutettu tässä tapauksessa.

Taulukko 15. Aluksen Halli muuttujan *Etenemisnopeus* todennäköisyysjakauma ehdollistettuna muuttujilla *Tuulen suunta* ja *Aallonkorkeus*. *Etenemisnopeus* on ilmoitettu solmuina (kn).

Tuulen suunta	Vastatuuli				Myötätuuli				Sivutuuli				Tyyni			
	0-1	1-2	2-3	>3	0-1	1-2	2-3	>3	0-1	1-2	2-3	>3	0-1	1-2	2-3	>3
Aallonkorkeus (m)																
Etenemisnopeus (kn)																
1–3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3–5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0
5–7	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0,75	0	0	0	0
7–9	0	0	0,25	0,75	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0
9–11	0	1,0	0,75	0	0	0	0	0	0	0	0,75	0	0	0	0	0
11–13	1,0	0	0	0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0	0	1,0	1,0	1,0	1,0
13–15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Saapumisaika voidaan laskea, kun tiedetään lähtöaika, matkan pituus ja aluksen nopeus. Saapumisaika on laskettu tunteina. Muuttujan *Saapumisaika* todennäköisyystaulua ei esitetä sen suuren koon takia. Muuttujan *Saapumisaika* laskemisessa käytettiin kaavaa:

$$s_1 = m_1 / (e_1 * 1,852) + l_1, \text{ jossa:}$$

s_1 = saapumisaika, m_1 = matkan pituus, e_1 = etenemisnopeus ja l_1 = lähtöaika satamasta

Keruuajalla tarkoitetaan sitä, kuinka monta tuntia aluksella on aikaa kerätä öljyä sen jälkeen, kun se on saapunut onnettomuuspaikalle ja ennen kuin öljy ajautuu rantaan. Eri aluksilla keruu aika vaihtelee aluksen saapumisajan perusteella. Muuttujan *Keruu aika*

todennäköisyystaulua ei esitetä sen suuren koon takia. Muuttujan *Keruu aika* laskemisessa käytettiin kaavaa:

*Jos $r_1 * 24 < s_1$ niin $k_1 = 0$, muuten $k_1 = r_1 * 24 - s_1$, jossa:*

k_1 = keruu aika, r_1 = rantautumisaika ja s_1 = saapumisaika

Tankin täyttymisen yksikkö on m^3/h , ja se kuvaa torjunta-aluksen keruutankin täyttymistä öljyn keräyksen aikana. Muuttuja *Tankin täyttyminen* on ehdollistettu muuttujilla *Öljiytyppi ja Aallonkorkeus*. Öljiytyypillä on suuri merkitys siihen, saadaanko öljyä kerättyä merestä. Keskiraskasta ja raskasta öljyä voidaan kerätä merestä öljyntorjunta-alusten harjajärjestelmillä ympäristötekijöiden sen salliessa, mutta kevyt öljy ei useinkaan tartu harjoihin, ja siksi sitä voi olla jopa mahdotonta kerätä merestä. Kevyt öljy voidaan poistaa merestä imeyttämällä sitä erilaisiin materiaaleihin, tai se voidaan vain puomittaa ja näin estää sen ajelehtiminen rantaan. (haastattelu Möttönen 17.3.2010.) Kevyt öljy haihtuu erittäin helposti, joten se ehtii usein haihtua, ennen kuin öljyntorjuntatoimet ehditään edes aloittaa.

Öljiytyypin lisäksi myös aallonkorkeus vaikuttaa tankin täyttymiseen. Optimaalinen aallonkorkeus öljyntorjunnan kannalta on 0–1,5 m. Tämän jälkeen aallonkorkeus alkaa hidastaa öljyn keräämistä. (haastattelu Möttönen 17.3.2010.) Jos aallonkorkeus on yli 2 m, öljyn kerääminen alkaa olla mahdotonta. Silloin onnettomuuspaikalle lähtemistä pitää harkita, sillä suuri aallonkorkeus voi myös vahingoittaa aluksia. (haastattelu Pirttijärvi 17.2.2010.)

Lähes kaikilla aluksilla on erilainen todennäköisyysjakauma muuttujalla *Tankin täyttyminen*, sillä alusten tankkitilavuus ja keruutehokkuus vaihtelevat suuresti (Taulukko 16). Muuttujan *Tankin täyttyminen* todennäköisyysjakaumat on saatu haastattelujen perusteella sekä käyttämällä apuna SYKE:ssä laskettua aluskohtaista keruukapasiteettia (Hietala & Lampela 2007: 9).

Taulukko 16. Aluksen Halli muuttujan *Tankin täyttyminen* todennäköisyysjakauma ehdollistettuna muuttujilla *Aallonkorkeus* ja *Öljytyyppi*. Taulukossa K tarkoittaa kevyttä öljyä, KR keskiraskasta öljyä ja R raskasta öljyä.

Aallonkorkeus (m)	0–1			1–2			2–3			>3		
Öljytyyppi	K	KR	R	K	KR	R	K	KR	R	K	KR	R
Tankin täyttyminen												
0–0,00001 m ³ /h	0	0	0	0	0	0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,00001–5 m ³ /h	1,0	0	0	1,0	0	0	0	0	0	0	0	0
5–45 m ³ /h	0	0,05	0,05	0	0,10	0,10	0	0	0	0	0	0
45–55 m ³ /h	0	0,30	0,30	0	0,35	0,35	0	0	0	0	0	0
55–65 m ³ /h	0	0,45	0,45	0	0,40	0,40	0	0	0	0	0	0
65–75 m ³ /h	0	0,20	0,20	0	0,15	0,15	0	0	0	0	0	0

Tankin tyhjennyksen yksikkö on m³/h, ja sillä tarkoitetaan torjunta-aluksen keruutankin tyhjentymisnopeutta. Muuttuja *Tankin tyhjennys* on ehdollistettu muuttujalla *Öljytyyppi*. Raskas öljy täytyy lämmitellä notkeaksi ennen kuin se voidaan tyhjentää tankista (haastattelu Taralainen 2.3.2010). Tästä syystä raskaan öljyn tyhjentämiseen menee eniten aikaa. Suurissa öljyonnettomuuksissa öljyntorjunta-alusten oma keruutankkikapasiteetti täyttyy nopeasti, ja silloin torjunnan kannalta ratkaisevaksi muodostuu se, saadanko paikalle lisävarastokapasiteettia, johon alukset voivat tyhjentää keruutankkinsa (Jolma 2004: 6). Olennaista öljyntorjunnan sujuvuuden kannalta ei ole niinkään se, kuinka kauan aluksen keruutankin tyhjentämiseen menee aikaa vaan se, mihin tankki tyhjenetään. Jos alus joutuu menemään kauaksi tai jopa rantaan asti tyhjentämään keruutankkia, se hidastaa öljynkeruutehokkuutta huomattavasti. (haastattelu Möttönen 17.3.2010.) Lähes kaikilla aluksilla on erilainen todennäköisyysjakauma muuttujalla *Tankin tyhjennys*, sillä alusten keruutankin koko vaihtelee (Taulukko 17). Todennäköisyysjakaumat on muokattu haastattelujen perusteella.

Taulukko 17. Aluksen Halli muuttujan *Tankin tyhjennys* todennäköisyysjakauma ehdollistettuna muuttujalla *Öljytyyppi*.

Öljytyyppi	Kevyt	Keskiraskas	Raskas
Tankin tyhjennys (m ³ /h)			
30–60	0	0,10	0,30
60–90	0,05	0,80	0,60
90–120	0,30	0,10	0,10
120–140	0,45	0	0
140–160	0,20	0	0

Todellinen keruunopeus tarkoittaa sitä, kuinka monta kuutiometriä tunnissa kyseinen alus saa kerättyä öljyä. Todennäköisyystaulua ei esitetä sen suuren koon takia. Muuttujan *Todellinen keruunopeus* laskemisessa käytettiin kaavaa:

Jos $k_1 < tk_1 / tt_1$, niin $t_1 = tt_1$, muuten $t_1 = tk_1 / (tk_1 / tt_1 + tk_1 / tt_2)$, jossa:

t_1 = todellinen keruunopeus, k_1 = keruu aika, tk_1 = tankin koko, tt_1 = tankin täyttyminen
ja tt_2 = tankin tyhjennys

Kerätty määrä tarkoittaa sitä, kuinka monta kuutiometriä kyseinen alus saa kerättyä öljyä kaiken kaikkiaan ennen sen ajautumista rantaan. Todennäköisyystaulua ei esitetä sen suuren koon takia. Muuttujan *Kerätty määrä* laskemisessa käytettiin kaavaa:

*$k_2 = k_1 * t_1$, jossa:*

k_2 = kerätty määrä, k_1 = keruu aika ja t_1 = todellinen keruunopeus

Merivoimat, Rajavartiolaitos ja Meritaito ovat muuttujia, jotka kuvaavat sitä, kuinka monta kuutiometriä Merivoimien, Rajavartiolaitoksen ja Meritaito Oy:n alukset saavat kerättyä öljyä merestä. Todennäköisyystauluja ei esitetä niiden suuren koon vuoksi.

Muuttujan *Meritaito* laskemisessa käytettiin kaavaa:

$$mt_1 = ok_2 + sk_2, \text{ jossa:}$$

mt_1 = Meritaito, ok_2 = Oili kerätty määrä ja sk_2 = Seili kerätty määrä

Muuttujan *Rajavartiolaitos* laskemisessa käytettiin kaavaa:

$$rv_1 = tk_2 + uk_2, \text{ jossa:}$$

rv_1 = Rajavartiolaitos, tk_2 = Tursas kerätty määrä ja uk_2 = Uisko kerätty määrä

Muuttujan *Merivoimat* laskemisessa käytettiin kaavaa:

$$mv_1 = hyk_2 + hak_2, \text{ jossa:}$$

mv_1 = Merivoimat, hyk_2 = Hylje kerätty määrä ja hak_2 = Halli kerätty määrä

Potentiaalinen kerätty määrä tarkoittaa sitä, kuinka paljon kaikki alukset saavat yhteensä kerättyä öljyä merestä kun vuodon kokoa ei ole määritetty. Todennäköisyystaulua ei esitetä sen suuren koon takia. Muuttujan *Potentiaalinen kerätty määrä* laskemisessa käytettiin kaavaa:

$$p_1 = mv_1 + rv_1 + mt_1, \text{ jossa:}$$

p_1 = potentiaalinen kerätty määrä, mv_1 = Merivoimat, rv_1 = Rajavartiolaitos ja mt_1 = Meritaito

Kerättävissä olevan öljyn määrä tarkoittaa sitä, kuinka monta kuutiometriä öljyä alusten on mahdollista kerätä merestä kun muuttujat *Vuodon koko* ja *Haihtuminen* otetaan huomioon. Todennäköisyystaulua ei esitetä sen suuren koon takia. Muuttujan *Kerättävissä olevan öljyn määrä* laskemisessa käytettiin kaavaa:

$$k_3 = v_1 - h_1 / 100 * v_1, \text{ jossa:}$$

k_3 = kerättävissä olevan öljyn määrä, v_1 = vuodon koko ja h_1 = haihtuminen

Kerätty määrä avomerellä tarkoittaa sitä, kuinka paljon kaikki alukset saavat yhteensä kerättyä öljyä, kun muuttuja *Kerättävissä olevan öljyn määrä* otetaan huomioon. Todennäköisyystaulua ei esitetä sen suuren koon takia. Muuttujan *Kerätty määrä avomerellä* laskemisessa käytettiin kaavaa:

Jos $a_1 > 2$, niin $k_4 = 0$, muuten jos $p_1 > k_3$, niin $k_4 = k_3$, muuten $k_4 = p_1$, jossa:

k_4 = kerätty määrä avomerellä, a_1 = aallonkorkeus, p_1 = potentiaalinen kerätty määrä ja
 k_3 = kerättävissä olevan öljyn määrä

Kaavaa käytettiin, kun kyseessä oli keskiraskas tai raskas öljy. Kevyen öljyn tapauksessa kaava kerrottiin 0,1:llä, koska kevyttä öljyä ei saada juurikaan kerättyä öljyntorjunta-alusten keräysjärjestelmillä.

Alusten keruutehokkuus tarkoittaa sitä, kuinka paljon öljyä alukset saavat kerättyä merestä suhteessa muuttujaan *Kerättävissä olevan öljyn määrä*. Todennäköisyystaulua ei esitetä sen suuren koon takia. Muuttujan *Alusten keruutehokkuus* laskemisessa käytettiin kaavaa:

*Jos $k_4 / k_3 * 100 > 100$, niin $ak_1 = 100$, muuten $ak_1 = k_4 / k_3 * 100$* , jossa:

ak_1 = alusten keruutehokkuus, k_4 = kerätty määrä avomerellä ja
 k_3 = kerättävissä olevan öljyn määrä

Poistoprosentti on laskettu ottamalla huomioon muuttujat *Vuodon koko*, *Kerätty määrä avomerellä* sekä *Haihtuminen*. Poistoprosentti tarkoittaa sitä, kuinka suuri osa mereen vuotaneesta öljystä poistuu kokonaan ekosysteemistä joko haihtumalla tai öljyntorjunnan avulla. Todennäköisyystaulua ei esitetä sen suuren koon takia. Muuttujan *Poistoprosentti* laskemisessa käytettiin kaavaa:

*Jos $k_4 / v_1 * 100 + h_1 > 100$, niin $pp_1 = 100$, muuten $pp_1 = k_4 / v_1 * 100 + h_1$* , jossa:

pp_1 = poistoprosentti, k_4 = kerätty määrä avomerellä, v_1 = vuodon koko ja
 h_1 = haihtuminen

Hyötymuuttujien avulla satunnaismuuttujiin voidaan liittää saavutettuja etuja tai syntyneitä kustannuksia. Tässä mallissa hyötymuuttujalle on annettu sitä suurempi arvo, mitä suurempi on merestä poistetun öljyn määrä (Taulukko 18.). Arvolla ei ole sinänsä mitään absoluuttista merkitystä, vaan ainoastaan suhde on tärkeä. Hyötymuuttujassa annettujen suhteellisten arvojen perusteella malli sijoittaa alukset satamiin mahdollisimman optimaalisesti siten, että hyötymuuttuja saa mahdollisimman suuren arvon. Tällä tavoin hyötymuuttujan avulla voidaan tarkastella, miten alukset olisi optimaalisinta sijoittaa.

Taulukko 18. Hyötymuuttujan arvot saavutettavan öljynpoistoprosentin mukaan.

Poistoprosentti	0–20 %	20–40 %	40–60 %	60–80 %	80–100 %
Hyöty	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0

5 Tulokset

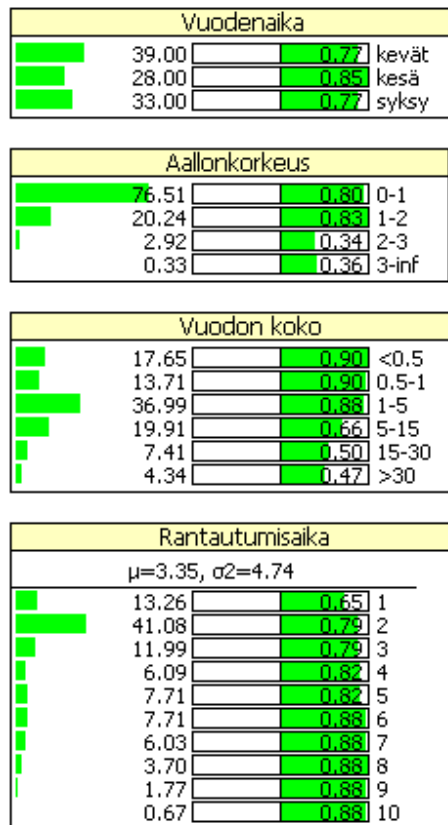
5.1 Prioritilanne (Sk0)

Mallin tuloksia tarkastellaan aluksi prioritilanteessa eli tilanteessa, jossa minkään muuttujan tilaa ei tiedetä etukäteen. Prioritilanteen lisäksi öljyntorjunta-alusten keruutehokkuutta ja öljyn poistoprosenttia merestä tarkastellaan kolmen erilaisen onnettomuusskenaarion valossa, ja aivan lopuksi tarkastellaan alusten optimaalista sijoittamista eri satamiin. Tuloksia tarkastellaan mallin alkuperäisen version avulla, jossa ovat alukset Hylje, Halli, Seili, Oili I, Tursas ja Uisko. Mallin toisen version tuloksiin tehdään vain lyhyt katsaus. Siinä ovat alukset Hylje, Oili I, Oili II, Seili, Merikarhu ja Tursas.

Prioritilanteessa kaikki muuttujat sisältävät niihin liittyvän epävarmuuden (Taulukko 19. ja Taulukko 20.). Prioritilanne edustaa siis sitä tilannetta, jossa tällä hetkellä olemme, kun elämme täydessä epävarmuudessa mahdollisen onnettomuuden suhteen. Prioritilanteessa osalla muuttujista on suuret todennäköisyydet öljyntorjunnan keruutehokkuuden kannalta parhaimmilla tiloilla (Kuva 11.). Esimerkiksi aallonkorkeus on 0–1 m todennäköisyydellä 0,77, ja todennäköisin vuotokoko on suhteellisen pieni eli 1000–5000 m³ todennäköisyydellä 0,37 (Kuva 9.). Kun aallonkorkeus on yli kaksi metriä, öljyä ei päästä

keräämään lainkaan. Jos taas vuotokoko olisi erittäin suuri eli yli 30000 m³, alukset saisivat enimmillään kerättyä kerättävissä olevan öljyn määrästä 80–100 % todennäköisyydellä 0,36, kun muut muuttajat olisivat prioritilassaan. Kun vuodon kokoa ei tunneta, odotettavissa oleva keruutehokkuus on huomattavasti parempi (katso 5.3.) Vuodon koolla ja aallonkorkeudella on siten suuri vaikutus öljynkeruutehokkuuteen. Niiden lisäksi myös öljytyyppi vaikuttaa tuloksiin, sillä öljytyypin ollessa kevyt, öljyä ei saada kerättyä juuri lainkaan merestä. Silloin öljyä kuitenkin haihtuu runsaasti, joten poistoprosentti on suuri.

Vaikka osalla muuttujista suuri osa todennäköisyysmassasta sijoittuu parhaimpiin tiloihin, niin vuodenaika ja rantautumisaika ovat poikkeuksia. Onnettomuuksia tapahtuu tilastollisesti vähiten kesällä, jolloin öljynkeruutehokkuus on mallin mukaan paras. Eri vuodenaikojen todennäköisyyksien väliset erot ovat prioritilanteessa kuitenkin melko pienet. Rantautumisajan suhteen merkittävin osa todennäköisyysmassasta sijoittuu vain kahden vuorokauden kohdalle, jolloin alusten keruaika on hyvin lyhyt. Pahimmillaan rantautumisaika on vain yhden vuorokauden, jolloin öljyntorjunta-alusten keruaika on niin lyhyt, ettei merestä ehditä kerätä kovinkaan paljon öljyä, ennen kuin se ajautuu rantaan.



Kuva 11. Muuttujien *Vuodenaika*, *Aallonkorkeus*, *Vuodon koko* ja *Rantautumisaika* todennäköisyysjakaumat sekä hyödyn arvot muuttujien eri tiloille. Kuvassa vasemmalla ovat todennäköisyyttä kuvaavat palkit ja todennäköisyydet prosentteina. Oikealla ovat hyötyä kuvaavat palkit ja hyödyn arvot, jotka mallin lopputuloksena saataisiin, jos kyseinen tila vakioitaisiin muiden muuttujien ollessa prioritilanteessa. Äärimmäisenä oikealla ovat muuttujien vaihtoehtoiset tilaluokat.

5.2 Onnettomuusskenaariot (Sk1–3)

Kaikissa kolmessa onnettomuusskenaariossa kahden ympäristötekijöihin liittyvän muuttujan, *Aallonkorkeuden* ja *Vuodenajan*, tilat on ajateltu tunnetuiksi eli ne on lukittu tiettyihin luokkiin. Muuttuja *Vuodenaika* valittiin toiseksi skenaariotekijäksi, koska se vaikuttaa muihin ympäristötekijöihin liittyviin muuttujiin kuten muuttujiin *Aallonkorkeus*, *Haihtuminen* ja *Tuulen ilmansuunta*. Muuttuja *Aallonkorkeus* taas valittiin, koska sillä on erittäin suuri vaikutus *Alusten keruutehokkuuteen*, mutta se vaikuttaa myös *Poistoprosenttiin* öljyn haihtumisen kautta. Öljyä haihtuu suurella aallonkorkeudella sekoittumisen seurauksena enemmän kuin tyyneellä säällä.

Todennäköisin skenaario (Sk1)

Ensimmäisessä skenaariossa skenaariomuuttujien tilat lukittiin todennäköisimpiin luokkiinsa eli luokkiin, joissa prioritilanteessa sijaitsee niiden suurin todennäköisyysmassa. Aallonkorkeus on silloin *0–1 metriä* (Taulukko 19.) ja vuodenaika *Kevät* (Taulukko 20.).

Optimaalisin skenaario (Sk2)

Toisessa skenaariossa muuttujien *Aallonkorkeus* ja *Vuodenaika* tilojen odotetaan olevan öljynkeruutehokkuuden kannalta parhaat mahdolliset, joten aallonkorkeus (Taulukko 19.) lukittiin tilaan *0–1 metriä* ja vuodenaika tilaan *Kesä* (Taulukko 20.). Kesä on keruutehokkuuden kannalta optimaalisin vuodenaika, sillä silloin tuulen suunnat ovat aluksille todennäköisesti optimaalisimmat ja suuren haihtumisen ansiosta myös poistoprosentti on suuri. Optimaalisin skenaario valittiin tarkasteluun, jotta voidaan nähdä kuinka suuri osuus mereen vuotaneesta öljystä saadaan parhaimmillaan kerättyä. Poistoprosentin kannalta optimaalisin skenaario ei anna aivan parasta tulosta. Syynä tähän on se, että poistoprosentin tarkastelussa otetaan huomioon öljyntorjunnan lisäksi myös haihtumalla merestä poistuva öljy. Pienellä aallonkorkeudella haihtuminen on vähäisempää kuin suuremmalla, joten poistoprosentin kannalta optimaalisin aallonkorkeus olisi *1–2 m*, jolloin öljyä pystytään vielä keräämään mutta sitä myös haihtuu.

Pahin skenaario (Sk3)

Kolmannessa skenaariossa muuttujien *Aallonkorkeus* ja *Vuodenaika* tilat ovat pahimmat mahdolliset sekä alusten keruutehokkuuden että öljyn poistoprosentin kannalta. Muuttujien pahimpien tilojen määrittämiseksi tarkasteltiin Hugin Researcher 7.2 ohjelman hyötyanalyysiominaisuutta prioritilanteessa. Mallin ajamisen jälkeen nähdään todennäköisyysjakaumien lisäksi vakioimattoman muuttujan jokaisen tilan tuottaman hyödyn arvo toisin sanoen tässä tapauksessa kokonaishyöty, joka saavutettaisiin jos kyseinen tila lukittaisiin mallin vallitsevassa tilassa (katso Kuva 11.). Mitä pienempi hyödyn arvo jollakin muuttujan tilalla on, sitä pienempi on hyöty eli tässä tapauksessa, sitä pienempi on poistoprosentti kyseisen tilan ollessa vallitseva.

Pahimmassa skenaariossa aallonkorkeudeksi valittiin hyötyanalyysin pohjalta *2–3 metriä* (Taulukko 19.) ja vuodenajaksi *Syksy* (Taulukko 20.). Pahimmassa skenaariossa muuttujien tilat oli mahdollista valita siten, että sekä alusten keruutehokkuus että poistoprosentti on

huonoin mahdollinen. Tämä perustuu siihen, että yli kahden metrin aallonkorkeudella öljyä ei enää saada kerättyä merestä Suomen nykyisellä öljyntorjuntakalustolla. Siksi riittää, että aallonkorkeus on vähintään 2–3 metriä, jotta alusten keruutehokkuus on huonoin mahdollinen. Poistoprosentin kannalta taas epäedullisin aallonkorkeus on mallin mukaan 2–3 m. Aallonkorkeuden ollessa yli kolme metriä öljyä haihtuu enemmän kuin sen ollessa 2–3 metriä. Tästä syystä poistoprosentti on yli kolmen metrin aallonkorkeudella suurempi. Öljyn merestä poistumisen kannalta 2–3 metriä on siis pahin mahdollinen aallonkorkeus mallissa.

Hyötyanalyysin perusteella pahimmassa skenaariossa epäedullisin vuodenaika on syksy, jolloin haihtuminen on viileämmän ilman vuoksi vähäistä. Pahin skenaario valittiin tarkasteluun, jotta voidaan nähdä, millainen alusten keruutehokkuus ja öljyn poistoprosentti on pienimmillään. Vaikka on hyvä tietää, kuinka paljon esimerkiksi parhaassa tapauksessa öljyä saadaan kerättyä merestä, tilanne ei onnettomuuden sattuessa ole välttämättä esimerkiksi sääolosuhteiden kannalta optimaalinen. Öljyntorjunnan tehostamisen kannalta öljykuljetusten synnyttämiä riskejä arvioitaessa onkin erittäin tärkeää tarkastella myös sitä, millainen öljynkeruutehokkuus voi huonoimmillaan olla.

Taulukko 19. Muuttujan *Aallonkorkeus* todennäköisyysjakaumat prioritilanteessa sekä kolmessa eri skenaariossa.

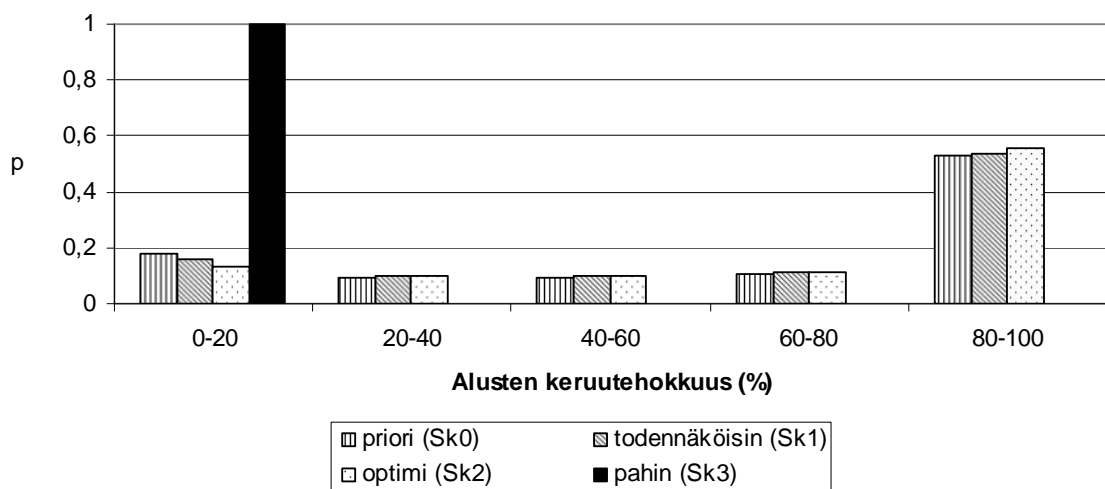
	Priori (Sk0)	Todennäköisin (Sk1)	Optimaalisin (Sk2)	Pahin (Sk3)
0–1 metriä	0,77	1,0	1,0	0
1–2 metriä	0,20	0	0	0
2–3 metriä	0,03	0	0	1,0
>3 metriä	0	0	0	0

Taulukko 20. muuttujan *Vuodenaika* todennäköisyysjakaumat prioritilanteessa sekä kolmessa eri skenaariossa.

	Priori	Todennäköisin	Optimaalisin	Pahin
Vuodenaika	(Sk0)	(Sk1)	(Sk2)	(Sk3)
Kevät	0,39	1,0	0	0
Kesä	0,28	0	1,0	0
Syksy	0,33	0	0	1,0

5.3 Alusten keruutehokkuus

Sekä prioritilanteessa, todennäköisimmässä että optimaalisimmassa skenaariossa yli puolet muuttujan *Alusten keruutehokkuus* jakauman todennäköisyysmassasta sijaitsee tilassa 80–100 % kerättävissä olevan öljyn määrästä ($p(\text{Sk0}) = 0,53$; $p(\text{Sk1}) = 0,54$; $p(\text{Sk2}) = 0,56$) (Kuva 12.). Myös muut keruutehokkuuden tilaluokat ovat kuitenkin näillä skenaarioilla täysin mahdollisia, ja niiden todennäköisyydet liikkuvat välillä 0,09–0,18. Pahimmassa skenaariossa keruutehokkuus on mallin mukaan täysin varmasti 0–20 % ($p(\text{Sk3}) = 1,00$). Prioritilanteessa ja skenaarioissa 1–2 tilaluokalla 0–20 % on hieman suurempi todennäköisyys kuin tilaluokilla 20–40 %, 40–60 % ja 60–80 %.

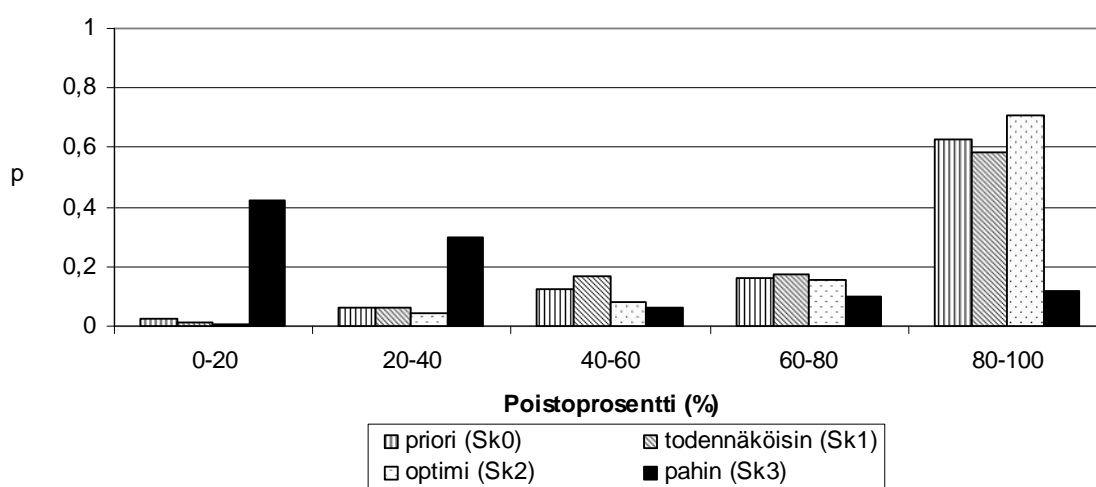


Kuva 12. Alusten keruutehokkuus neljässä eri tilanteessa.

Mallin toisen version, jossa ovat alukset Hylje, Oili I, Oili II, Seili, Merikarhu ja Tursas, tulokset ovat hyvin lähellä ensimmäisen version tuloksia. Muuttujan *Alusten keruutehokkuus* jakauma on tässäkin mallin versiossa painottunut vahvasti luokkaan 80–100 % kerättävissä olevan öljyn määrästä ($p(\text{Sk}0) = 0,52$; $p(\text{Sk}1) = 0,52$; $p(\text{Sk}2) = 0,55$). Prioritilanteessa ja skenaarioissa 1–2 myös muiden tilaluokkien todennäköisyydet ovat hyvin lähellä mallin ensimmäisen version tuloksia ja tilaluokalla 0–20 % on mallin toisessakin versiossa toiseksi suurin todennäköisyys. Pahimmassa skenaariossa alusten keruutehokkuus on täsmälleen sama kuin mallin ensimmäisessä versiossa ($p(\text{Sk}3) = 1,00$). Tulokset ovat siis hyvin lähellä mallin ensimmäisen version tuloksia.

5.4 Öljyn poistoprosentti merestä

Öljyn poistoprosentissa huomioidaan alusten keräämä öljymäärä ja merestä haihtumalla poistunut öljymäärä. Prioritilanteessa sekä skenaarioissa 1–2 suurin osa todennäköisyysmassasta on tässäkin tapauksessa tilaluokassa 80–100 %. Tosin todennäköisyyksien keskinäiset erot eri skenaarioissa ovat suurempia kuin keruutehokkuuden kohdalla ($p(\text{Sk}0) = 0,63$; $p(\text{Sk}1) = 0,59$; $p(\text{Sk}2) = 0,71$) (Kuva 13.). Todennäköisyydet ovat prioritilanteessa ja skenaarioissa 1–2 sitä suurempia, mitä parempi tilaluokka on kyseessä, eikä tilaluokan 0–20 % todennäköisyys ei ole toiseksi suurin kuten muuttujalla *Alusten keruutehokkuus*. Pahimmassa skenaariossa suurin todennäköisyys on tilaluokalla 0–20 % ($p(\text{Sk}3) = 0,42$) ja pienin tilaluokalla 40–60 % ($p(\text{Sk}3) = 0,06$).



Kuva 13. Öljyn poistoprosentti merestä neljässä eri tilanteessa.

Mallin toisessakin versiossa poistoprosentin jakauma on painottunut vahvasti luokkaan 80–100 % kerättävissä olevan öljyn määrästä ($p(\text{Sk}0) = 0,62$; $p(\text{Sk}1) = 0,57$; $p(\text{Sk}2) = 0,70$). Myös muiden tilaluokkien osalta todennäköisyydet ovat hyvin samanlaiset kuin mallin ensimmäisessä versiossa. Pahimmassa skenaariossa poistoprosentti on täsmälleen sama kuin mallin ensimmäisessä versiossa.

5.5 Alusten sijoittaminen

Mallin ensimmäisen version mukaan kaikki alukset on kaikissa neljässä eri tilanteessa optimaalisinta sijoittaa Helsinkiin (Taulukko 21.). Tällä tavoin saataisiin prioritilanteessa kerättyä 80–100 % kerättävissä olevan öljyn määrästä todennäköisyydellä 0,53 (Kuva 12.). Toisaalta, vaikka kaikki alukset olisi sijoitettu prioritilanteessa Turkuun, on alusten keruutehokkuus 80–100 % todennäköisyydellä 0,52. Myös muiden tilaluokkien osalta todennäköisyydet ovat lähes samanlaiset riippumatta siitä, onko alukset sijoitettu Helsinkiin vai Turkuun. Alusten optimaalisella sijoittamisella ei siten näytä olevan juurikaan vaikutusta öljynkeruutehokkuuteen.

Mallin toisessa versiossa alukset olisi optimaalisinta sijoittaa siten, että Tursas sijoitettaisiin Kotkaan ja Hylje, Oili I, Oili II ja Seili Helsinkiin (Taulukko 22.). Silloin prioritilanteessa alusten keruutehokkuus olisi 80–100 % todennäköisyydellä 0,52. Jos taas kaikki alukset olisi sijoitettu Turkuun, alusten keruutehokkuus olisi prioritilanteessa 80–100 % todennäköisyydellä 0,50. Myös mallin toisessa versiossa muidenkin tilaluokkien todennäköisyydet ovat lähes samanlaiset riippumatta siitä, onko alukset sijoitettu mahdollisimman optimaalisesti vai ei. Mallin toisessakaan versiossa alusten optimaalisella sijoittamisella ei näytä olevan kovin paljon merkitystä alusten öljynkeruutehokkuuteen.

Taulukko 21. Öljyntorjunta-alusten optimaalinen sijoittaminen prioritilanteessa mallin ensimmäisessä versiossa.

Turku	Kirkkonummi	Helsinki	Kotka
-	-	Halli	-
-	-	Hylje	-
-	-	Seili	-
-	-	Oili I	-
-	-	Tursas	-
-	-	Uisko	-

Taulukko 22. Öljyntorjunta-alusten optimaalinen sijoittaminen prioritilanteessa mallin toisessa versiossa.

Turku	Kirkkonummi	Helsinki	Kotka
-	-	Hylje	-
-	-	Oili I	-
-	-	Oili II	-
-	-	Seili	-
-	-	-	Tursas
-	-	Merikarhu	-

6 Tulosten tarkastelu

6.1 Tutkimuskysymykset

Ensimmäisessä tutkimuskysymyksessä kysyttiin öljyntorjunta-alusten keruutehokkuutta. Sekä prioritilanteessa, todennäköisimmässä skenaariossa että optimaalisimmassa skenaariossa alukset saavat kerättyä kerättävissä olevasta öljystä 80–100 % yli 0,50 todennäköisyydellä. Pahimmassa skenaariossa keruutehokkuus on täysin varmasti 0–20 %. Mallin kummatkin versiot antavat hyvin samanlaiset tulokset. Sillä, että mallin toisessa versiossa on osittain eri öljyntorjunta-alukset kuin mallin ensimmäisessä versiossa, ei siten näytä ole kovinkaan suurta merkitystä tuloksiin.

Toinen tutkimuskysymys on, miten Suomen öljyntorjunta-alukset olisi optimaalisinta sijoittaa eri satamiin. Tulosten mukaan mallin ensimmäisessä versiossa kaikki alukset on optimaalisinta sijoittaa Helsinkiin, mutta mallin toisessa versiossa Tursas on optimaalisinta sijoittaa Kotkaan ja loput alukset Helsinkiin. Mallin ensimmäisessä versiossa on isompia aluksia kuin mallin toisessa versiossa. Alusten suurempi koko ja etenemisnopeus ja siten myös parempi keruutehokkuus vaikuttavat todennäköisesti siihen, että ensimmäisessä versiossa kaikki alukset on optimaalisinta sijoittaa Helsinkiin, mutta toisessa versiossa yhden aluksen on kannattavaa olla Kotkassa lähempänä itäistä onnettomuuspistettä. Malli ei sijoita missään tilanteessa yhtäkään öljyntorjunta-alusta Kirkkonummelle tai Turkuun. Tämä johtuu siitä, että Helsinki sijaitsee lähempänä onnettomuuspisteitä kuin Kirkkonummi, joten on mielekkäintä sijoittaa aluksia Helsinkiin. Aluksia ei ole järkevää sijoittaa Turkuun, koska kaikki viisi onnettomuuspistettä sijaitsevat Suomenlahdella. Todellisuudessa tämä ei kuitenkaan pidä paikkaansa, sillä Saaristomeri on myös öljyonnettomuuksille riskialtista aluetta.

Kolmas tutkimuskysymys koskee sitä, kuinka suuri vaikutus optimaalisella sijoittamisella on öljynkeruutehokkuuteen. Vaikka kaikki alukset olisi sijoitettu mahdollisimman kauaksi onnettomuuspisteistä eli Turkuun, keruutehokkuus huononee vain vähän. Tulosten perusteella optimaalisella sijoittamisella näyttäisi siis olevan hyvin vähän merkitystä alusten keruutehokkuuteen. Tämä johtuu muun muassa siitä, että öljyntorjuntaan vaikuttaa moni muu muuttuja, joilla on paljon suurempi merkitys öljyntorjunnan onnistumiselle kuin

etäisyydellä onnettomuuspaikasta. Etäisyyttä paljon tärkeämpiä ovat erilaiset ympäristötekijöihin liittyvät muuttujat, kuten aallonkorkeus ja vuodenaika, mutta myös itse onnettomuuteen liittyvät muuttujat, kuten vuodon koko ja öljytyyppi, jotka voivat hidastaa tai nopeuttaa öljyntorjuntaa merkittävästi. Suomenlahti on myös suhteellisen pieni alue, jossa matka ei tarkastelun kohteena olleista satamista mahdollisille onnettomuuspaikoille ole koskaan kovin pitkä. Lisäksi öljyonnettomuuden mallintamiseen liittyy aina hyvin paljon epävarmuutta. Nämä tekijät vaikuttavat siihen, että optimaalisella sijoittamisella on vain vähän merkitystä öljyntorjunnan onnistumisen kannalta.

6.2 Asiantuntijahaastattelut

Tässä tutkimuksessa asiantuntijoiksi valittiin öljyntorjunta-aluksilla työskenteleviä henkilöitä, sillä heillä uskottiin olevan parasta saatavilla olevaa tietoa öljyntorjunta-aluksista. Lisäksi Jouko Pirttijärvi Suomen ympäristökeskuksesta valittiin antamaan viranomaisen näkemys Suomen öljyntorjunnasta. Jos haastateltaviksi olisi valittu ainoastaan viranomaisia, käytännön kokemuksista karttunut tieto olisi jäänyt saamatta. Niinpä nähtiin järkevänä yhdistää öljyntorjunta-aluksilla työskentelevillä henkilöillä ja viranomaisilla oleva tieto. Toisaalta, vaikka öljyntorjunta-aluksilla työskentelevillä henkilöillä on erittäin paljon tietoa aluksesta ja sen toiminnasta, niin vain muutama Suomen öljyntorjunta-aluksista on ollut todellisissa öljyntorjuntatehtävissä. Näin ollen vain osalla haastateltavista oli kokemusta aidosta öljyntorjuntatilanteesta. Periaatteessa olisi ollut mahdollista valita haastateltaviksi vain öljyntorjunnassa mukana olleita, mutta silloin mahdollisia haastateltavia olisi ollut hyvin vähän eikä olisi saatu aluskohtaista tietoa niistä aluksista, jotka eivät ole olleet mukana öljyntorjunnassa.

Kokemuksen puuttumisen takia vastausten antaminen oli joillekin erityisen haastavaa, ja kuten aiemmin on kerrottu, osa kysymyksistä oli aiheeltaan niin haastavia, että kaikki haastateltavat eivät suostuneet vastaamaan niihin. Vastausten antaminen olisi voinut olla helpompaa, jos kysymykset olisi jaettu pienempiin osiin ja niitä olisi analysoitu erikseen. Lisäksi niissä tapauksissa, joissa haastateltavat antoivat ainoastaan yhden arvon, vaikka tarkoituksena oli antaa sekä maksimi, minimi että keskimääräinen arvo, eri arvojen merkitys olisi pitänyt selittää paremmin. Esimerkiksi etenemisnopeuden moni määritteli vain maksiminopeuden kautta ja sanoi, että tyynellä säällä ajetaan maksiminopeutta ja sillä

selvä. Kaikkiin muuttujiin, myös maksimaaliseen etenemisnopeuteen eri olosuhteissa, liittyy kuitenkin aina epävarmuutta, joten olisi ollut tärkeää, että haastateltavat olisivat määritelleet myös minimin ja keskimääräisen arvon. Tärkeintä oli kuitenkin, että asiantuntijoilta saatiin mahdollisimman paljon tietoa aluksiin liittyen ja edes jonkinlaisia suuntaa-antavia arvioita kysytyistä asioista todennäköisyysjakaumien muotoilemista varten.

6.3 Alusten keruutehokkuus ja poistoprosentti

Molemmat mallin versiot tuottavat öljynkeruutehokkuuden suhteen prioritilanteessa ja todennäköisimmässä skenaariossa lähes yhtä hyviä tuloksia kuin optimaalisessa skenaariossa. Tätä selittää osittain se, että öljynkeruutehokkuuden kannalta ympäristötekijöihin liittyvien muuttujien optimaalisimmilla tiloilla on suuri todennäköisyys. Prioritilanteessa taustalla vaikuttaa siten muuttujien parhaimpien tilojen suuri todennäköisyys. Tämä selittää myös sen, miksi todennäköisimmässä skenaariossa, eli kun skenaariomuuttujien tilat on lukittu todennäköisimpiin luokkiinsa, tulokset öljyntorjunta-alusten keruutehokkuuden suhteen ovat lähes samanlaiset kuin optimaalisimmassa skenaariossa. Todennäköisin skenaario on siis melko lähellä optimaalisinta skenaariota, ja skenaariot eroavat toisistaan vain vuodenaajan suhteen. Tulokset ovat poistoprosentin suhteen kuitenkin optimaalisimmassa skenaariossa selvästi paremmat kuin prioritilanteessa tai todennäköisimmässä skenaariossa. Syynä tähän on se, että optimaalisin vuodenaika on kesä, jolloin haihtuminen on suurempaa kuin keväällä tai syksyllä. Suurempi haihtuminen nostaa siis poistoprosenttia optimaalisimmassa skenaariossa.

Molemmissa mallin versioissa muuttujan *Alusten keruutehokkuus* tilaluokalla 0–20 % on toiseksi suurin todennäköisyys. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että öljytyypin ollessa kevyt alukset eivät saa kerättyä öljyä merestä juuri lainkaan, joten keruutehokkuus on silloin hyvin suurella todennäköisyydellä 0–20 % kerättävissä olevan öljyn määrästä. Alusten hyvin heikko keruutehokkuus, kun kyseessä on kevyt öljy, nostaa siten tilaluokan 0–20 % todennäköisyyttä. Jos kevyttä öljytyyppiä ei huomioitaisi, tilaluokan 0–20 % todennäköisyys olisi huomattavasti pienempi. Poistoprosentissa samaa ilmiötä ei havaita. Syynä on se, että vaikka kevyttä öljyä ei saada kerättyä kovin paljon, niin sen

haihtumisprosentti on kuitenkin suuri, jolloin poistoprosentti on myös hyvin todennäköisesti suuri, eikä tilaluokan 0–20 % todennäköisyys siksi korostu.

Pahimmassa skenaariossa muuttujalla *Poistoprosentti* on kahdella huonoimmalla poistoprosentin tilaluokalla suurin todennäköisyys. Syynä on se, että öljyntorjunta-alukset eivät saa kerättyä merestä lainkaan öljyä, joten poistoprosentti perustuu vain haihduntaan ja on siksi suurella todennäköisyydellä melko alhainen. Haihdunta taas on todennäköisesti melko vähäistä, koska keskiraskaan ja raskaan öljyn haihtuminen on hyvin vähäistä ja öljy on todennäköisimmin toista niistä. Toisaalta haihtumista lisää kuitenkin se, että kyseessä on syksy ja suuri aallonkorkeus, jolloin haihtuminenkin on suurta etenkin, jos kyseessä on kevyt öljy. Siten pahimmassa skenaariossa tilaluokkien ääripäät ovat suurempia kuin keskimäinen luokka, jolla on pienin todennäköisyys.

Kuten myös Aps ym. (2009a) tekemässään tutkimuksessa havaitsivat, sääolosuhteiden ollessa epäsuotuisat alusten öljynkeruutehokkuus on hyvin alhainen. Pahimmillaan öljyä ei päästä keräämään lainkaan. Tämän takia vuodon koko ei enää vaikuta öljynkeruutehokkuuteen, kun kyseessä on pahin skenaario. Ympäristötekijöihin liittyvistä muuttujista suurin vaikutus öljynkeruutehokkuuteen on aallonkorkeudella, sillä sen noustessa 2–3 metriin, öljynkeruutehokkuus on varmasti 0–20 % eli huonoimmassa luokassa.

Kuten aiemmin on todettu, mallissa on tehty joitakin hyvin optimistisia oletuksia (katso 4.1). Nämä ennako-oletukset vaikuttavat osaltaan mallin tuloksiin painottaen tulosjakautumia jonkin verran optimistisempaan suuntaan. Lisäksi on hyvä muistaa, ettei mallissa ole otettu lainkaan huomioon talvella tapahtuvaa öljyonnettomuutta. Silloin öljyn kerääminen jäiden seasta on erittäin hankalaa ja keruutulos selvästi huonompi kuin muina vuodenaikoina.

7 Pohdinta

Mallin tulosten perusteella öljyonnettomuuden sattuessa Suomenlahdella Suomen öljytorjunta-aluksilla voi melko suurella todennäköisyydellä saada kerättyä jopa 80–100 % öljymäärästä ennen sen ajautumista rantaan, jos ympäristöolosuhteet ovat suotuisat. Silloin tosin koko öljyntorjuntajärjestelmän pitää olla tehokas ja toimiva, jotta puhdistustoimet päästään aloittamaan nopeasti ja öljyä saadaan kerättyä mahdollisimman paljon. Toisaalta on täysin mahdollista, että tulos on optimaalistenkin ympäristöolosuhteiden vallitessa paljon huonompi etenkin suuren vuotokoon ollessa kyseessä. Suomenlahdelle tarvitaankin lisää öljytorjunta-aluksia, jotta öljyntorjuntakapasiteetti saadaan riittävälle tasolle. Lisäksi öljynkeräystekniikkaa suurilla aallonkorkeuksilla on edelleen tutkittava ja kehitettävä. Suomen uusi monitoimialus, joka sijoitetaan Suomenlahdelle, otetaan käyttöön vuonna 2011 (SYKE 2010b). Monitoimialuksessa on aallonvaimennin, joka saattaa auttaa alusta pääsemään onnettomuuspaikalle suurellakin aallonkorkeudella. Tällä hetkellä aallonvaimentimella on kuitenkin tehty vasta alustavia testejä, eikä tiedetä kuinka hyvin se todellisuudessa toimii. (haastattelu Pirttijärvi 17.2.2010.) Suomen lisäksi myös Viron ja erityisesti Venäjän tulisi nostaa öljyntorjuntakapasiteettiaan.

Ympäristöolosuhteilla ja erilaisilla onnettomuuteen liittyvillä muuttujilla, kuten öljytyypillä ja vuodon koolla, on erittäin suuri merkitys öljyntorjuntatehokkuuteen, ja pahimmillaan ne estävät öljyntorjunnan kokonaan. Öljyntorjunta ja sen onnistuminen on siten suuresti riippuvainen asioista, joihin ihminen ei voi millään tavoin vaikuttaa. Siksi emme voi luottaa siihen, että öljyonnettomuuden sattuessa öljyntorjuntakalusto kerää kaiken mereen päässeeseen öljyn.

Suomenlahti on toistaiseksi selvinnyt ilman suurta öljyonnettomuutta. Suuri öljyonnettomuus voi kuitenkin tapahtua milloin vain, ja sen estämiseksi on tehtävä kaikki mahdollinen. Koska öljyntorjunnan onnistuminen on aina epävarmaa, kaikkein tärkeintä olisi panostaa öljyonnettomuuksien ennaltaehkäisyyn ja merenkulun turvallisuuteen. Öljyonnettomuuksien ennaltaehkäisy on parempi ja halvempi keino estää öljyonnettomuuksien haitalliset ympäristövaikutukset, kuin pelkkä

öljyntorjuntakapasiteetin lisääminen. Toisaalta niin kauan kun öljyonnettomuuden tapahtuminen on mahdollista, myös öljyntorjuntakaluston on oltava kunnossa.

Uusin keino vähentää onnettomuuksien todennäköisyyttä on kaksisuuntainen, ennakoiva alusliikenteen ohjausjärjestelmä ENSI (Enhanced Navigation Support Information), jonka toivotaan olevan käytössä vuonna 2013 kaikissa Suomenlahdella liikennöivissä öljylaivoissa ja ohjauskeskuksissa. Ohjausjärjestelmään kuuluu, että laivojen reittisuunnitelmat välitetään myös maihin, jossa reittien turvallisuus voidaan tarkastaa. Näin voidaan vähentää inhimillisten erehdysten riskiä. (HS 2010b.) Lisäksi tällä hetkellä öljyonnettomuuksien riskiä ja riskin vähentämistä tutkitaan muun muassa SAFGOF-projektissa, jossa kartoitetaan meriliikenteen onnettomuusriskejä, kehitetään Suomenlahden onnettomuusmallinnusta ja arvioidaan eri toimenpiteitä onnettomuuksien vähentämiseksi (Merikotka 2009).

Viimeisin esimerkki tehokkaan öljyntorjunnan tärkeydestä on Meksikonlahden öljynporauslautan hajoaminen ja siitä aiheutunut öljyvuoto. Öljyvuodon uskotaan olevan kaikkien aikojen suurin onnettomuudesta aiheutunut öljykatastrofi (HS 2010a). Meksikonlahden onnettomuuden myötä öljyntorjunnan tärkeys on jälleen noussut otsikoihin ja öljyntorjunnan kehittäminen tuntuu entistä ajankohtaisemmalta.

Tässä tutkimuksessa kehitetty malli osoittaa havainnollisesti sen, että on mahdotonta ennustaa täysin luotettavasti, kuinka paljon öljyä saadaan kerättyä, jos Suomenlahdella tapahtuu öljyonnettomuus. Koska mahdollinen onnettomuus on suurelta osin melko ennustamaton, todennäköisyyspohjainen lähestymistapa on varteenotettava keino tilanteen arvioimiseksi. Kaikki ennusteet ovat aina arvioita todellisesta tilanteesta, mutta tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, ettei ennusteiden ja mallien tekeminen olisi järkevää. Koska suuren öljyonnettomuuden öljyntorjuntaa ei voida käytännössä kokeilla ennen kuin sellainen tapahtuu, tarvitaan malleja, joiden avulla öljyntorjuntaa voidaan tarkastella teoriassa. Erialaisten mallien avulla on mahdollista saada ainakin jonkinlainen käsitys öljyntorjunnan tehokkuudesta ja esimerkiksi siitä, missä alusten olisi optimaalisinta sijaita.

Ennaltaehkäisyyn ja toisaalta öljyntorjuntakapasiteetin lisäämisen avulla öljyonnettomuuden riskiä voidaan selvästi pienentää. Koska öljyonnettomuuden riskiä ei voida kuitenkaan

kokonaan poistaa, on päätettävä, mikä riskin taso on hyväksyttävä ja kuinka paljon ollaan valmiita panostamaan öljyntorjuntaan ja toisaalta öljyonnettomuuksien ennaltaehkäisyyn. Päätösten tekemiseen tarvitaan riskin arviointia ja tutkimuksia, joissa Bayes-verkot ovat erityisen käyttökelpoisia. Bayes-verkkojen hyvä puoli on se, että niissä on mahdollista laskennallisesti yhdistää sekä asiantuntijoilta saatua tietoa että tilastotieteellistä aineistoa. Tämä mahdollisuus on erittäin tärkeää etenkin kun aineiston määrä on rajoittunut tai se on hajanaista. Mallinnuksessa voidaan myös hyödyntää tarkkuudeltaan hyvin eritasoista tietoa: ääritapauksessa muuttujalle voidaan määritellä tasainen jakauma, jos sitä pidetään priorioletuksiltaan täysin ennustamattomana. Bayes-verkkoja on myös helppo päivittää, kun jostakin asiasta saadaan lisää tietoa. Koska erilaisten tilojen ja niiden yhdistelmien tarkastelu ei vaadi useiden tuntien malliajoja, Bayes-verkot sopivat hyvin reaaliaikaiseen skenaarioanalyysiin. Näin ollen Bayes-verkot soveltuvat hyvin monimutkaisten ongelmien, kuten esimerkiksi mekaanisen öljyntorjunnan mallintamiseen.

Tässä tutkimuksessa kehitetyssä mallissa on jouduttu tekemään yleistyksiä ja ottamaan vain osa kaikista öljyntorjuntaan liittyvistä muuttujista huomioon. Malliin pyrittiin kuitenkin valitsemaan öljyntorjunnan tehokkuuden kannalta tärkeimmät muuttujat. Useiden muuttujien todennäköisyysjakaumat on tehty malliin asiantuntijahaastatteluiden ja kirjallisuuden pohjalta saadun tiedon avulla. Jos jakaumat tehtäisiin eri henkilöiden haastatteluiden tai muiden tulosten pohjalta, ne eroaisivat todennäköisesti jonkin verran nykyisistä jakaumista. Sillä ei kuitenkaan välttämättä olisi merkittävää vaikutusta lopputuloksiin. Bayes-mallinnuksen yhtenä pääideana on hyödyntää kaikki saatavilla oleva tieto ja päivittää vanhaa käsitystä uuden aineiston valossa. Myös tässä työssä muodostetut jakaumat voisi päivittää uudella aineistolla, jos joku sattuisi tekemään aiheeseen liittyvää tutkimusta. Bayes-verkkomalli mahdollistaa tämän suhteellisen vähäisellä vaivalla, sillä suurin työ on lisääaineiston keräämisessä.

Rajallisen laskentakaluston takia malliin sisällytettyjen öljyntorjunta-alusten määrää jouduttiin rajoittamaan todellista pienemmäksi. Niinpä malli ei kerro, millainen Suomen öljyntorjunnan keruutehokkuus on Suomenlahdella, kun kaikki Suomenlahden öljyntorjunnasta vastaavat alukset huomioidaan. Toisaalta öljyntorjuntatilanteessa paikalle lähetetään ensin vain osa aluksista ja vasta tarpeen tullen lisää kalustoa. Etenkin suhteellisen pienissä onnettomuuksissa paikalle lähetetään vain osa aluksista. Lisäksi on

todennäköistä, että öljy ehtii ajautua rantaan ennen kuin kaikki alukset ovat paikalla. Kaikkien alusten paikalle lähettäminen on siis erittäin epätodennäköistä. Tässä mielessä kuudella aluksella tehty tarkastelu vaikuttaa mielekkäältä.

Malli antaa viitteitä siitä, millainen Suomen öljyntorjuntatehokkuus voisi mahdollisen onnettomuuden tapahtuessa olla. Lisäksi sen avulla voidaan vertailla eri muuttujien vaikutusta öljynkeruutehokkuuteen. Tarkoituksena on jatkaa tutkimuksia ja jos mahdollista lisätä malliin öljyntorjunta-aluksia sekä onnettomuus pisteitä Saaristomereltä ja Pohjanlahdelta. Silloin mallilla voitaisiin tarkastella Suomen öljyntorjunta-alusten keruutehokkuutta ja optimaalista sijoittamista eri satamiin koko Suomen rannikolla. Tämä tutkimus on ainutlaatuinen, sillä öljyntorjunta-alusten optimaalista sijoittamista ja Suomen öljyntorjunnan tehokkuutta ei ole koskaan aiemmin tutkittu tällä tavoin. Tutkimus tarjoaa uudenlaisen tavan tarkastella aihetta ja luo hyvän pohjan jatkotutkimuksia varten.

Kiitokset

Erittäin suuret kiitokset MMM Annukka Lehikoiselle kaikesta saamastani ohjauksesta, avusta ja tuesta työtä tehdessäni. Kiitos ohjaajalleni professori Jussi Jauhiaiselle, ja suuri kiitos koko professori Sakari Kuikan FEM-tutkimusryhmälle. Kiitän myös asiantuntijoina toimineita Jouko Pirttijärveä (SYKE), Ilpo Lahtelaa (Meritaito Oy), Mika Möttöstä (Rajavartiolaitos), Kari Nousiaista (Rajavartiolaitos), Ville Puustista (Rajavartiolaitos), Jukka Päivistä (Merivoimat), Markus Santasaloa (Merivoimat) ja Lauri Taralaista (Meritaito Oy). Lisäksi haluan kiittää seuraavia henkilöitä, joilta sain tietoa ja apua: Faris Alshail, Jutta Ylitalo (Aalto Yliopisto), Maria Hänninen (Aalto Yliopisto), Hanna Suutarla (Arctia Shipping), Meri Hietala (SYKE) ja Asko Hutila (Ilmatieteen laitos).

Lopuksi haluan lämpimästi kiittää Markkua ja koko muuta perhettäni saamastani tuesta ja kannustuksesta.

Lähteet

- Aalto, A., T. Ihaksi, J. Ikävalko, J. Karjalainen, M. Keinänen, M. Kiljunen, H. Kiviranta, K. Koskinen, E. Malinen, H. Peltonen, S. Suni, M. Verta, P. J. Vuorinen & M. Romantschuk (2006). Itämeren myrkkyyhat: kaksi esimerkitapausta. *Vesitalous* 2/2006, 15–19.
- Alenius, P., K. Myrberg, & A. Nekrasov (1998). The physical oceanography of the Gulf of Finland: a review. *Boreal Environmental Research* 3, 97–125.
- Aps, R., K. Herkül, J. Kotta, I. Kotta, M. Kopti, R. Leiger, Ü. Mander & Ü. Suursaar (2009a). Bayesian inference for oil spill related Net Environmental Benefit Analysis. Teoksessa Brebbia, C., G. Benassai, G. Rodriguez (toim.): *Coastal Processes*. 235–246. WIT Press, Boston.
- Aps, R., M. Fetissov, K. Herkül, J. Kotta, R. Leiger, Ü. Mander & Ü. Suursaar (2009b). Bayesian inference for predicting potential oil spill related ecological risk. Teoksessa Guarascio, M., C.A. Brebbia & F. Garzia (toim.): *Safety and Security Engineering III*. 149–159. WIT Press, Boston.
- Asiantuntijaryhmän loppuraportti (2008). *Suuronnettomuuksien ja ympäristötuhojen torjunta*. Sisäisen turvallisuuden ohjelman valmisteluun osallistuneen asiantuntijaryhmän loppuraportti. 83 s. Sisäasianministeriö, Helsinki.
- Borsuk, M., C. Stow & K. Reckhow (2004). A Bayesian network of eutrophication models for synthesis, prediction, and uncertainty analysis. *Ecological Modelling* 173: 2–3, 219–239.
- Bromley, J., N. Jackson, O. Clymer, A. Giacomello & F. Jensen (2005). The use of Hugin to develop Bayesian networks as an aid to integrated water resource planning. *Environmental modeling & Software* 20/2005, 231–242.
- Burgman, M. (2005). *Risks and Decisions for Conservation and Environmental Management*. 488 s. Cambridge University Press, Cambridge.
- Česnauskis, M. (2007). Model for probabilistic assessment of oil outflow event caused by tanker accident. *TRANSPORT – 2007* 22:3, 187–194.
- Cowell, R., A. David, S. Lauritzen & D. Spiegelhalter (2007). *Probabilistic Networks and Expert Systems*. 321 s. Springer-Verlag, New York.
- EVOSTC, Exxon Valdez Oil Spill Trustee Council (2009). *Legacy of an Oil Spill. 20 Years After the Exxon Valdez*. 2009 Status Report. 37 s. Northern Printing, Anchorage.
- Fingas, M. (1997). Studies on the evaporation of crude oil and petroleum products: I. The relationship between evaporation rate and time. *Journal of Hazardous Materials* 56:3, 227–236.
- FINLEX (2009). Öljyvahinkojen torjuntalaki. 18.3.2010.
<<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20091673>>.
- Gästgifvars, M., A. Sarkanen, M. Frisk, H. Lauri, K. Myrberg, P. Alenius, O. Andrejev, O. Mustonen, H. Haapasaari & A. Andrejev (2004). *Ajelehtimiskokeet ja kulkeutumisenusteet Suomenlahdella*. 57 s. SY720. Paino Vammalan Kirjapaino Oy, Vammala.

- Haapasaari, H. & M. Hietala (toim., 2000). *Laittomat päästöt merellä. Ympäristörikosten ja – rikkomusten oikeuskäsittelyn varmistaminen*. YO82. 50 s. Oy Edita Ab, Helsinki.
- HELCOM (2008). Report on shipping accidents in the Baltic Sea area for the year 2008. Helsinki Commission, Baltic Marine Environment Protection Commission. 27.4.2010. <http://www.helcom.fi/stc/files/shipping/shipping_accidents_2008.pdf>.
- HELCOM (2001). Compilation on ship accidents in the Baltic Sea Area 1989–1999. Final Report. 27.4.2010. <<http://www.helcom.fi/stc/files/Maps/accidents/accidents1989to1999.pdf>>.
- Helle, I. (2009). *Modelling the effectiveness of oil combating from an ecological perspective – a Bayesian network approach for the Gulf of Finland*. 98 s. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta.
- Hietala, M. <meri.hietala@ymparisto.fi> (2010). Kartta. *Henkilökohtainen sähköpostiviesti* 25.5.2010.
- Hietala, M. & K. Lampela (toim., 2007). *Öljyntorjuntavalmius merellä -työryhmän loppuraportti*. 41/2007. 42 s. Edita Prima Oy, Helsinki.
- Hirsijärvi, S. & H. Hurme (2001). *Tutkimushaastattelu. Teemahaastattelun teoria ja käytäntö*. 213 s. Yliopistopaino, Helsinki.
- HS (=Helsingin Sanomat) (2010a). BP: Öljyvuoto on tukittu lopullisesti huomenna. *Helsingin Sanomat* 4.8.2010.
- HS (=Helsingin Sanomat) (2010b). Öljykuljetusten riskejä yritetään pienentää Suomenlahdella. *Helsingin Sanomat* 3.6.2010.
- Hänninen, S. (2005). Itämeri ei kestä suurta öljyvahinkoa. *Vesitalous* 2/2005, 10–13.
- Hänninen, S. & J. Rytkönen (2004). *Oil transportation and terminal development in the Gulf of Finland*. VTT 547. 141 s. Edita Prima Oy, Helsinki.
- Ilmatieteen laitos (2010). Näkyvyys ja sumulajit: Sumua, utua vai auerta? 6.1.2010. <http://www.fmi.fi/saa/tilastot_53.html>.
- IMO (2009). Prevention of pollution by oil. 30.6.2010. <http://www.imo.org/Environment/mainframe.asp?topic_id=231#revisedannexone>.
- ITOPF (2010a). Exxon Valdez. 17.5.2010. <<http://www.itopf.com/information-services/data-and-statistics/case-histories/elist.html>>.
- ITOPF (2010b). Torrey Canyon. 30.6.2010. <<http://www.itopf.com/information-services/data-and-statistics/case-histories/tlist.html>>.
- ITOPF (2010c). Weathering Process. 30.8.2010. <<http://www.itopf.com/marine-spills/fate/weathering-process/>>.
- Itämeriportaali (2010a). Aaltoennätykset Itämerellä. 8.7.2010. <http://www.itameriportaali.fi/fi/tietoa/yleiskuvaus/veden_liikkeet/aallot/fi_FI/aaltoennatyksi a/>.

- Itämeriportaali (2010b). Merkitsevä aallonkorkeus. 22.6.2010.
<http://www.itameriportaali.fi/fi/tietoa/yleiskuvaus/veden_liikkeet/aallot/fi_FI/merkitseva-aallonkorkeus/>.
- Itämeriportaali. (2010c). Veden virtaus. 30.6.2010.
<http://www.itameriportaali.fi/fi/tietoa/yleiskuvaus/veden_liikkeet/virtaus/fi_FI/vedenvirtaus/>.
- Jolma, K. (2004). Ympäristövahinkojen torjunta tänään. Suomen ympäristökeskus. 17.3.2010.
<<http://www.wwf.fi/www/uploads/pdf/Jolma130904.pdf>>.
- Jolma, K. (1999). *Torjuntavalmius 2005 ja 2010*. 76 s. Vesivarayksikkö, Suomen ympäristökeskus, Helsinki.
- Juntunen, T. (2005). *Öljyonnettomuuksien ympäristövaikutusten mallintaminen Suomenlahdella Bayes-verkoilla*. 64s. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto. Biotieteellinen tiedekunta.
- Juntunen, T., T. Rosqvist, J. Rytönen, S. Kuikka (2005). How to Model the Oil Combatting Technologies and Their Impacts on Ecosystem: a Bayesian Networks Application in the Baltic Sea. *ICES CM 2005/S:02*.13 s.
- Kahma, K. & H. Pettersson (1993). *Aaltohavainnot Suomenlahdella 1982–1985*. 32 s. Sisäinen raportti 1/1993. Merentutkimuslaitos.
- Knapp, S. & P. Franses (2009). Does ratification matter and do major conventions improve safety and decrease pollution in shipping? *Marine Policy* 33:5, 826–846.
- Kokkonen, T., T. Ihaksi., A. Jolma & S. Kuikka (2010). Dynamic mapping of nature values to support prioritization of coastal oil combating. *Environmental Modelling & Software* 25:2, 248–257.
- Korhola, A. (2006). Tutkimustieto tarpeen Itämeren ympäristöongelmien ratkaisemisessa. *Vesitalous* 2/2006, 5.
- Kuikka, S., T. Lecklin, M. Rahikainen, K. Vainio – Mattila, T. Juntunen, T. Rosqvist, K. Jolma, A. Mäkinen, J. Ikävalko, J. Mattila & A. Aalto (2005). Use of biological life history, genetic, and vulnerability information to optimize the repertoire of oil combating technologies. *ICES CM 2005/S:12*.15 s.
- Kujala, P., M. Hänninen, T. Arola & J. Ylitalo (2009). Analysis of the marine traffic safety in the Gulf of Finland. *Reliability Engineering & System Safety* 94:8, 1349–1357.
- Kuronen, J. & U. Tapaninen (2007). *Turvallisuusmääräysten kehitys ja vaikutukset meriliikenteeseen ja satamiin*. 71 s. Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskus B148, Turun yliopisto.
- Kuronen, J., R. Helminen, A. Lehikoinen & U. Tapaninen (2008). *Maritime Transportation in the Gulf of Finland in 2007 and 2015*. 110 s. Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskus A45, Turun yliopisto.
- Lahtonen, U. (2004). *Öljyntorjunnan kehitys Suomessa 1968 lähtien 1990-luvulle*. 486 s. Edita Prima Oy, Helsinki.

- Lampela, K. (2008). Selvitys laaditun liiketoimintasuunnitelman mukaisen, osakeyhtiömuotoisen öljyntorjuntakeskuksen perustamismahdollisuuksista. 25 s. Selvitysmiehen raportti. Suomen ympäristökeskus. <<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=79405&lan=FI>>.
- Lauritzen, S.(1995). The EM algorithm for graphical association models with missing data. *Computational Statistics & Data Analysis* 19: 191-201.
- Lappalainen J. (2008). *Transforming Maritime Safety Culture. Evaluation of the Impacts of the ISM Code on Maritime Safety Culture in Finland*. 54 s. Merenkulkualan koulutus- ja Tutkimuskeskus A46, Turun yliopisto.
- Lehmuskoski, A. (toim., 2006). *Öljyntorjuntaopas. Ohjeita öljyyntyneiden rantojen puhdistamiseksi*. 16 s. WWF Suomen raportti nro 19. Miktor, Helsinki.
- Lonka, H. (1998). *Öljy- ja kemikaalivahinkojen torjuntavalmius Suomessa -ympäristövahinkojen torjunnan näkökulma*. 144 s. SY193. Oy Edita Ab, Helsinki.
- Lonka, H., M. Hjelt, J. Vanhanen, T. Raivio, T. Vaahtoranta, P. Visuri, M. Väyrynen, E. Frinking & K. O'Brien (2002). *Riskien hallinta Suomessa*. 144 s. Sitran raportteja 23. Edita Prima Oy, Helsinki.
- Madsen, A., F. Jensen, U. Kjærulff, M. Lang, (2005). The Hugin tool for probabilistic graphical models. *International Journal on Artificial Intelligence Tools* 14: 507-543.
- Mayer, M & J. Booker (1991). *Eliciting and analyzing expert judgement a practical guide*. 452 s. Academic Press, London.
- Merenkulkulaitos (2010a). AIS - Alusten automaattinen tunnistusjärjestelmä. 30.6.2010. <http://veps.fma.fi/portal/page/portal/fma_fi/merenkulun_palvelut/liikenteen_ohjaus/alusliikennepalvelut/ais>.
- Merenkulkulaitos (2010b). VTS - Vessel Traffic Service. 30.6.2010. <http://veps.fma.fi/portal/page/portal/fma_fi/merenkulun_palvelut/liikenteen_ohjaus/alusliikennepalvelut/vts>.
- Merikotka (2010). OILRISK - Applications of ecological knowledge in managing oil spill risk. 3.6.2010. <<http://www.merikotka.fi/oilrisk/>>.
- Merikotka (2009). SAFGOF - Suomenlahden meriliikenteen kasvunäkymät 2007–2015 ja kasvun vaikutukset ympäristölle ja kuljetusketjujen toimintaan. 6.1.2010. <<http://www.merikotka.fi/SAFGOFesittely.php>>.
- Montewka, J., K. Ståhlberg, T. Seppälä & P. Kujala (2010). *Elements of risk analysis for collision of oil tankers*. 8 s. Julkaisematon. Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu.
- Myllymäki, P. & H. Tirri (1998). *Bayes-verkkojen mahdollisuudet*. 110 s. Paino-Center Oy, Sipoo.
- Mäkinen, A. (2005). Suomenlahden tila ja uhat. Teoksessa Pajanen, K., M. Soullanto & E. Sikk (toim.). *Suomenlahti – alkumerestä nykymereksi*. 87–96 s. Karisto Oy, Hämeenlinna.
- Nikula, P. & V-P. Tynkkynen (2007). *Risks in Oil Transportation in the Gulf of Finland "Not a Question of If – But When"*. 27 s. Working paper 2007:7. Civil Protection Network (CIVPRO). Aleksanteri Institute. Allduplo, Stockholm.

- Nissinen, J. (2000). *Raakaöljyä Suomenlahden laineille. Katsaus raakaöljyn ominaisuuksiin, ympäristövaikutuksiin, torjuntaan ja onnettomuuksien historiaan eteläisillä aluevesillämme*. 42 s. Suomen ympäristökeskuksen moniste 184, Oy Edita Ab, Helsinki.
- O'Hagan A., C. Buck, A. Daneshkhah, J. Eiser, P. Garthwaite, D. Jenkinson, J. Oakley & T. Rakow. (2006). *Uncertain Judgements. Eliciting Experts' Probabilities*. 321 s. John Wiley & Sons, South Sussex.
- Ovsienko, S. (2002): An updated assessment of the risk for oil spills in the Baltic Sea area. 77 s. 3.8.2010. <<http://www.helcom.fi/stc/files/shipping/RiskforOilSpillsReport2002.pdf>>.
- Raateoja, M., K. Myrberg, J. Flinkman & J. Vainio (2008). *Kotimeri. Itämeri ympärillämme*. 133 s. Edita Publishing Oy, Porvoo.
- Reed, M., Ø. Johansen, P. Brandvik, P. Daling, A. Lewis, R. Fiocco, D. Mackey & R. Prentki (1999). Oil Spill Modeling towards the Close of the 20th Century: Overview of the State of the Art. *Spill Science & Technology Bulletin* 5:1, 3–16.
- Reed, M., O. Aamo & P. Daling, (1995). Quantitative analysis of alternate oil spill response strategies using OSCAR. *Spill Science and Technology Bulletin* 2: 1, 67–74.
- Rothblum, A., S. Withington, D. Wheal, S. Schappell, D. Wiegman, W. Boehm & M. Chaderjian (2002). *Human Factors in Incident Investigation and Analysis*. Workgroup report. 2nd International Workshop on human factors in offshore operations. Houston, Texas.
- Rytönen, J. (2003). Merikuljetusten uudet tuulet Itäisellä Suomenlahdella – öljykuljetukset vahvassa nousussa. Suomenlahden tulevaisuus-luentoilta 20.2.2003, Kotka. 6.7.2010. <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2003/TUO_Rytönen2.pdf>.
- Stankiewicz, M. & N. Vlasov (toim., 2009). *HELCOM. Ensuring safe shipping in the Baltic*. 18 s. Helsinki Commission (HELCOM) - Baltic Marine Environment Protection Commission, Helsinki.
- Suomen ympäristökeskus SYKE (2010a). Alusöljyvahingot vuosina 1969–2009. 30.6.2010. <<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=113927&lan=fi>>.
- Suomen ympäristökeskus SYKE (2010b). Alusonnettomuusriski ja ennakkoturvallisuus. 17.3.2010. <<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=2900&lan=fi>>.
- Suomen ympäristökeskus SYKE (2009a). Öljyntorjuntatekniikka. 17.3.2010. <<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=9536&lan=fi>>.
- Suomen ympäristökeskus SYKE (2009b). Öljyn vaikutukset meriympäristöön. 6.1.2010. <<http://www.environment.fi/default.asp?node=15058&lan=fi>>.
- Suomen ympäristökeskus SYKE (2008). Paljonko on paljon? Öljymäärien havainnollistaminen. 11.3.2010. <<http://www.environment.fi/default.asp?node=15177&lan=fi>>.
- Suomen ympäristökeskus SYKE (2007). M/t Propontis at anchor near Kalbådagrund. 30.6.2010. <<http://www.environment.fi/default.asp?contentid=222421&lan=en>>.
- Syvänen, K. (toim., 2005). Pohjanlahden alueen alusöljy- ja aluskemikaalivahinkojen torjunnan yhteistoimintasuunnitelma. 35 s. Länsi-Suomen ympäristökeskuksen moniste 131/2005.

- Trucco, P., E. Cagno, F. Ruggeri & O. Grande (2008). A Bayesian belief network modeling of organizational factors in risk analysis: a case study in maritime transportation. *Reliability Engineering & System Safety* 93:6, 845–856.
- Työryhmä (2010). Isojen alusöljyvahinkojen torjunnan johtamisen valmiussuunnittelu – työryhmä 2010. Ehdotus suurten alusöljyvahinkojen torjunnan järjestämisestä, johtamisesta ja viestinnästä. 22.6.2010.
<<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=119127&lan=en>>.
- Van der Gaag L., S. Renooij, C. Witteman, B. Aleman & B. Taal (2002). Probabilities for a probabilistic network: a case study in oesophageal cancer. *Artificial Intelligence in Medicine* 25, 123–148.
- Varis, O. (1997). Bayesian decision analysis for environmental and resource management. *Environmental Modelling & Software* 12:2–3, 177–185.
- Varis, O. & S. Kuikka (1997). Joint use of multiple environmental assessment models by a Bayesian meta-model: the Baltic salmon case. *Ecological modelling* 102:2–3, 341–351.
- Veriö, T. (1990). *Öljyvahinkojen torjunta*. 233 s. Mäntän Kirjapaino Oy, Mänttä.
- WWF (2009). Lessons Not Learned. 20 Years After the Exxon Valdez Disaster. 12 s. WWF. Anchorage. 30.6.2010. <http://www.wwf.fi/wwf/www/uploads/pdf/exxon_valdez_report.pdf>.
- WWF (2007). WWF esittää kuuden kohdan reseptiä tehokkaampaan öljyonnettomuuden ehkäisyyn. 1.7.2010.
<http://www.wwf.fi/tiedotus/tiedotteet/tiedotteet_2007/esittaa_kuuden_kohdan.html>.
- Ylitalo, J., M. Hänenen & P. Kujala (2008). *Accident probabilities in selected areas of the Gulf of Finland*. 49 s. Teknillinen korkeakoulu. Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta. Sovelletun mekaniikan laitos. Sarja AM. TKK AM 6.

Haastatteluun osallistuneet ja kysymyksiin vastanneet:

Lahtela, Ilpo. Öljyntorjunta-alus Oili I, Meritaito Oy. 2.3.2010

Nousiainen, Kari ja Puustinen, Ville. Öljyntorjunta-alus Merikarhu, Rajavartiolaitos.
19.3.2010

Möttönen, Mika. Öljyntorjunta-alus Tursas, Rajavartiolaitos. 17.3.2010

Pirttijärvi, Jouko. Suomen ympäristökeskus. 17.2.2010

Päivinen, Jukka. Öljyntorjunta-alus Halli, Merivoimat. 17.2.2010

Santasalo, Markus. Öljyntorjunta-alus Hylje, Merivoimat. 6.4.2010

Taralainen, Lauri. Öljyntorjunta-alus Seili, Meritaito Oy. 2.3.2010

LIITE 1. Kysymykset Jouko Pirttijärvelle

1. Lähtöaika

- a. Mikä on aluksen keskimääräinen lähtöaika hälytyksen tultua? (tunteja)
- b. Onko lähtösatamalla/aluksella vaikutusta lähtöaikaan? Miten?
- c. Mikä nopeuttaa ja mikä hidastaa lähtöä eri aluksilla/ eri satamissa?

- d. Mitkä muut asiat vaikuttavat lähtöaikaan? (hidastavat/nopeuttavat) Kuinka yleistä tällainen on? Ja kuinka paljon se suunnilleen viivästyttää lähtöä?

- e. Aluksia on tällä hetkellä mm. Kirkkonummessa, Turussa, Savonlinnassa, Oulussa, Helsingissä, Maarianhaminassa, ja Kotkassa.
Missä muissa satamissa niitä voisi olla?

2. Aluksen nopeus

- a. Kuinka kovaa eri aluksilla voi enintään ajaa ihanteellisissa olosuhteissa?

3. Aallonkorkeuden vaikutus aluksen nopeuteen

- a. Millä merkitsevällä aallonkorkeudella ei voida enää lähteä matkaan?
- b. Mikäli onnettomuus tapahtuu, voidaanko olettaa että alus noudattaa aluskohtaisia nopeusrajoituksia vai mennäänkö niin kovaa kuin päästään?

4. Näkyvyyden vaikutus aluksen nopeuteen

Kuinka paljon aluksen nopeus hidastuu (solmuina/prosentteina) (minimi, keskimäärin, maksimi) jos näkyvyys on

- a. 4–10 km
- b. 1–4 km
- c. alle 1 km?

- d. Kuinka paljon aluksen nopeus hidastuu jos on pimeää? (solmuina tai prosentteina) (minimi, keskimäärin, maksimi)

5. Tankin täyttönopeus

- a. Mikä öljytyyppi (kevyt, keskiraskas, raskas) on nopein ja mikä hitain kerätä merestä?
- b. Millä merkitsevällä aallonkorkeudella öljynkeräys hidastuu?
- c. Millä merkitsevällä aallonkorkeudella on enää mahdotonta kerätä öljyä?

Kuinka paljon keräys suunnilleen hidastuu (esim. tunteina tai prosentteina) (minimi, keskimäärin, maksimi) jos näkyvyys on

- d. 4–10 km
- e. 1–4 km
- f. alle 1 km?

g. Kuinka paljon keräys hidastuu, jos on pimeää? (tunteina tai prosentteina) (minimi, keskimäärin, maksimi)

6. Tankin tyhjennysaika

- a. Vaikuttaako öljytyyppi tankin tyhjennysnopeuteen? Miten?
- b. Vaikuttaako näkyvyys tankin tyhjennysnopeuteen? Miten?

7. Muuta

- a. Miten aluksia voi ryhmitellä nopeuden ja koon mukaan?

LIITE 2. Kysymykset öljyntorjunta-aluksilla työskenteleville henkilöille

1. Lähtöaika

- Mikä on aluksen keskimääräinen lähtöaika hälytyksen tultua? (tunteja)
- Mikä on vähimmäisaika (esim. alle 6 h) ja enimmäisaika (esim. yli 12 h) joka lähtöön voi kulua?
- Mikä nopeuttaa ja mikä hidastaa lähtöä?
- Kuinka yleistä tällainen on? Ja kuinka paljon se suunnilleen viivästyttää/nopeuttaa lähtöä?
- Voisiko alus olla sijoitettuna johonkin muuhun satamaan? Mihin?

2. Aallonkorkeuden vaikutus aluksen nopeuteen

- Kuinka nopeasti aluksella voi (minimissään, keskimäärin ja maksimissaan) ajaa tyynellä säällä, kun merkitsevä aallonkorkeus on

0–1 metriä?	minimi	keskimäärin	maksimi
-------------	--------	-------------	---------

- Kuinka nopeasti aluksella voi (minimissään, keskimäärin ja maksimissaan) ajaa vastatuulella, kun merkitsevä aallonkorkeus on

0–1 metriä?	minimi	keskimäärin	maksimi
1–2 metriä?	minimi	keskimäärin	maksimi
2–3 metriä?	minimi	keskimäärin	maksimi
yli 3 metriä?	minimi	keskimäärin	maksimi

- Kuinka nopeasti aluksella voi (minimissään, keskimäärin ja maksimissaan) ajaa myötätuulella, kun merkitsevä aallonkorkeus on

0–1 metriä?	minimi	keskimäärin	maksimi
1–2 metriä?	minimi	keskimäärin	maksimi
2–3 metriä?	minimi	keskimäärin	maksimi
yli 3 metriä?	minimi	keskimäärin	maksimi

- Kuinka nopeasti aluksella voi (minimissään, keskimäärin ja maksimissaan) ajaa sivutuulella, kun merkitsevä aallonkorkeus on

0–1 metriä?	minimi	keskimäärin	maksimi
1–2 metriä?	minimi	keskimäärin	maksimi
2–3 metriä?	minimi	keskimäärin	maksimi
yli 3 metriä?	minimi	keskimäärin	maksimi

e. Millä merkitsevällä aallonkorkeudella ei voida enää lähteä matkaan?

f. Mikäli onnettomuus tapahtuu, voidaanko olettaa että alus noudattaa aluskohtaisia nopeusrajoituksia vai mennäänkö niin kovaa kuin päästään?

3. Tankin täyttönopeus

a. Kuinka kauan menee, että aluksen tankki on täysi? (vähimmillään ja enimmillään) (Teoreettinen keruukapasiteetti on laskettavissa. Esim. Hylkeellä menee n.12 h ja Merikarhulla n. 40 minuuttia, että tankki on täysi, kun keruunopeus on 1 solmu ja öljykerroksen paksuus on 1 mm)

Kuinka kauan menee minimissään, keskimäärin ja maksimissaan, että tankki on täysi (tunteina) kun kyseessä

b. Raskas öljytyyppi ja merkitsevä aallonkorkeus

0–1 metriä?	minimi	keskimäärin	maksimi
1–2 metriä?	minimi	keskimäärin	maksimi
2–3 metriä?	minimi	keskimäärin	maksimi
yli 3 metriä?	minimi	keskimäärin	maksimi

c. Keskiraskas öljytyyppi ja merkitsevä aallonkorkeus

0–1 metriä?	minimi	keskimäärin	maksimi
1–2 metriä?	minimi	keskimäärin	maksimi
2–3 metriä?	minimi	keskimäärin	maksimi
yli 3 metriä?	minimi	keskimäärin	maksimi

d. Kevyt öljytyyppi ja merkitsevä aallonkorkeus

0–1 metriä?	minimi	keskimäärin	maksimi
1–2 metriä?	minimi	keskimäärin	maksimi
2–3 metriä?	minimi	keskimäärin	maksimi
yli 3 metriä?	minimi	keskimäärin	maksimi

e. Millä merkitsevällä aallonkorkeudella on enää mahdotonta kerätä öljyä?

4. Tankin tyhjennysaika

Kuinka kauan tankin tyhjennykseen menee (minimi, keskimäärin ja maksimi) kun kyseessä on

a. Kevyt	minimi	keskimäärin	maksimi
b. Keskiraskas	minimi	keskimäärin	maksimi
c. Raskas öljytyyppi	minimi	keskimäärin	maksimi

LIITE 3. Mallin muuttajat, muuttujien tyyppi ja tilat.

Joidenkin muuttujien tilat vaihtelevat aluksesta riippuen. Näiden muuttujien tilat on otettu taulukkoon aluksen Halli alimallista.

Muuttuja	Muuttujan tyyppi	Tilat
<i>Ympäristötekijöihin liittyvät muuttajat</i>		
Vuodenaika	Satunnais	Kevät, Kesä Syksy
Aallonkorkeus	Satunnais	0-1, 1-2, 2-3, >3
Tuulen suunta alukselle	Satunnais	Myötätuuli, Vastatuuli, Sivutuuli, Tyyni
Tuulen ilmansuunta	Satunnais	Pohjoinen, Koillinen, Itä, Kaakko, Etelä, Lounas, Länsi, Luode
Onnettomuus piste	Satunnais	C1, C2, C3&G2, C4, G1
Matkan pituus	Satunnais	42, 50, 52, 81, 94, 111, 122, 128, 139, 161, 173, 244, 246, 253, 290, 301, 303, 456
<i>Öljyn leviämiseen liittyvät muuttajat</i>		
Öljytyyppi	Satunnais	Kevyt, Keskiraskas, Raskas
Haihtuminen	Satunnais	0-33, 33-66, 66-100
Rantautumisaika	Satunnais	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
Vuodon koko	Satunnais	0-500, 500-1000, 1000-5000, 5000-15000, 15000-30000, 30000-inf
<i>Öljyntorjunta-aluksiin liittyvät muuttajat</i>		
Sijoituspaikka	Päätös	Turku, Kirkkonummi, Helsinki, Kotka
Lähtöaika satamasta (Halli)	Satunnais	0-1, 1-3, 3-6
Vuorokaudenaika	Satunnais	Virka-aika, Ei virka-aika
Lähtöpäätös	Satunnais	Lähdetään, Ei lähdetä
Halli lähtövalmiudessa	Satunnais	Kyllä, Ei
Hylje lähtövalmiudessa	Satunnais	Kyllä, Ei
Tursas satamassa/merellä	Satunnais	Satamassa, Merellä
Uisko satamassa/merellä	Satunnais	Satamassa, Merellä
Etenemisnopeus	Satunnais	1-3, 3-5, 5-7, 7-9, 9-11, 11-13, 13-15
Saapumisaika	Satunnais	1-12, 12-24, 24-72, 72-168, 168-288
Keruu aika	Satunnais	0-6, 6-24, 24-72, 72-120, 120-168, 168-240
Tankin täyttyminen (Halli)	Satunnais	0-0,00001; 0,00001-5, 5-45, 45-55, 55-65, 65-75
Tankin tyhjennys (Halli)	Satunnais	30-60, 60-90, 90-120, 120-140, 140-160
Todellinen keruunopeus (Halli)	Satunnais	0-5, 5-10, 10-30, 30-50, 50-75
Kerätty määrä (Halli)	Satunnais	0-100, 100-1000, 1000-8000, 8000-18000
Merivoimat	Satunnais	0-100, 100-1000, 1000-5000, 5000-15000, 15000-35000
Rajavartiolaitos	Satunnais	0-100, 100-1000, 1000-5000, 5000-15000, 15000-35000
Meritaito	Satunnais	0-100, 100-1000, 1000-5000, 5000-15000, 15000-30000
Potentiaalinen kerätty määrä	Satunnais	0-100, 100-1000, 1000-5000, 5000-10000, 10000-30000, 30000-10000
Kerättävissä olevan öljyn määrä	Satunnais	0-100, 100-1000, 1000-5000, 5000-10000, 10000-30000, 30000-inf
Kerätty määrä avomerellä	Satunnais	0-0,001; 0,001-100; 100-1000, 1000-5000, 5000-10000, 10000-50000
Alusten keruutehokkuus	Satunnais	0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100
Poistoprosentti	Satunnais	0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100
Hyötymuuttuja	Hyöty	0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1