

Opinnäytetyö AMK

Kemiantekniikka

2024

Jarno Reunamo

Öljyntorjunta jokiolosuhteissa



Opinnäytetyö AMK | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Kemiantekniikka

2024 | 53 sivua

Jarno Reunamo

Öljyntorjunta jokiolosuhteissa

Suomessa on kymmeniä tuhansia kilometrejä joeksi luokiteltavia vesistöjä. Joella virtaus, veden syvyys ja käytettävissä oleva öljyntorjuntakalusto tuovat erityislaatuista joella tehtävään öljyntorjuntatyöhön. Merelle suunnitellut välineet ja menetelmät eivät välttämättä sovellu suoraan jokiolosuhteisiin käytettäväksi.

Sisävesillä tehtävän öljyvahingontorjunnan johtovastuu eroaa aavalla merellä tapahtuvasta vahingosta. Sisävesillä öljyvahingon jälkitorjunta on vahinkoa kärsineen kunnan vastuulla. Tämä opinnäytetyö käsittelee pääosin alkuvaiheen öljyvahingontorjuntaa, jota johtaa alueen pelastusviranomaisen, mutta on osittain sovellettavissa myös jälkitorjuntaan.

Onnistunut öljyntorjunta alkaa vahingon rajoittamisesta ja rajaamisesta. Öljypuomituksen tehtävänä on estää öljyn leviäminen, suojata tärkeitä rantakohteita sekä ohjata öljy paikkaan, josta se voidaan kerätä. Joella tehtävät öljypuomitukset eroava merkittävästi merellä tehtäviin. Nopea virtaus aiheuttaa puomituksiin todella suuria voimia ja öljyn hallittu pitäminen puomituksen sisäpuolella vaatii erityisiä tekniikoita puomin asennukseen.

Öljyn keräys joella tapahtuu usein pienikokoisilla mekaanisilla keräimillä ja imeytysmateriaaleilla. Vain todella harvoilla jokiosuuksilla kyetään käyttämään suurikokoisia öljyntorjunta-aluksia. Tämä opinnäytetyö pyrkii kokoamaan tiedon erityispiirteistä, mitä joella tehtävään öljyntorjuntatyöhön tarvitaan.

Asiasanat: öljyntorjunta, öljypuomi, öljynkeräys

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Chemical Engineering

2024 | Total number of pages 53

Jarno Reunamo

Oil spill response in river conditions

Finland has tens of thousands of kilometres of water bodies classified as rivers. In a river, the flow, water depth and available oil spill response equipment bring uniqueness to oil spill response work. Equipment and methods designed for the sea may not be directly applicable for use in river conditions.

The leadership responsibility for oil spill response in inland waters differs from incidents occurring in open seas. In inland waters, the post-incident oil spill response is the responsibility of the affected municipality. This thesis mainly focuses on the initial stages of oil spill response, led by the local rescue authorities, but is partially applicable to post-incident response as well.

Successful oil spill response begins with containment and isolation of the spill. The purpose of oil boom deployment is to prevent the spread of oil, protect important shoreline areas, and direct the oil to a location where it can be recovered. Oil boom deployment in rivers differs significantly from deployment booms at sea. Fast-flowing currents exert significant forces on the booms, and keeping the oil inside of the booming requires specific techniques for boom installation.

Oil recovery in rivers often involves small-scale mechanical skimmers and absorbent materials. Large-scale oil spill response vessels can only be used in very few river sections. This thesis aims to compile information about the specific features required for oil spill response work in river environments.

Keywords: oil spill response, oil boom, oil spill clean up

Sisältö

Käytetyt lyhenteet ja sanasto	7
1 Johdanto	8
2 Öljyvahinkojen torjuntaa ohjaava lainsäädäntö	9
2.1 Pelastuslaki	9
2.1.1 Johtovastuu öljyvahingontorjunnassa jokialueilla	9
2.1.2 Pelastustoiminnan johtajan oikeudet öljyvahingon torjunnassa	10
2.2 Öljyvahingosta aiheutuneiden kustannusten korvaaminen	11
2.2.1 Öljysuojarahasto ja ympäristövahinkorahasto	11
2.3 Öljyvahinkojen jälkitorjunta	12
3 Öljyn käyttäytymismallit joessa	13
3.1 Haihtuminen ja liukeneminen	14
3.2 Dispergoituminen ja emulgoituminen	16
3.3 Sedimentoituminen	16
3.4 Biohajoaminen	17
4 Joki onnettomuusympäristönä	19
4.1 Virtaukset joella	19
4.1.1 Virtausnopeus joen eri syvyysalueilla	20
4.2 Virtausnopeuden määrittäminen kenttäolosuhteissa	20
4.2.1 Virtaaman määrittäminen	21
5 Öljyvahingon laajuuden ja leviämisen arviointi	23
5.1 Öljylautan leviäminen spontaanisti	23
5.2 Virran ja tuulen vaikutus	24
5.3 Öljymäärän arviointi öljylautan värin perusteella	25
6 Öljypuomin valinta joelle	28
6.1 Öljypuomin valintaperusteita	28
6.2 Puomien luokittelu	28
6.3 Matalat joet ja uomat	30

7 Öljypuomitukset joella	31
7.1 Virran puomiin kohdistamat voimat	31
7.1.1 Nuottaaminen virtaavassa vedessä	33
7.2 Kriittinen virtausnopeus	34
7.3 Puomituksen kulman ja puomitarpeen määrittäminen virtaavaan veteen	35
7.4 Puomitustaktiikat	37
7.5 Öljypuomin ankkurointi	40
8 Öljyn kerääminen	42
8.1 Mekaaniset keräimet	42
8.2 Imu- ja kauluskeräimet	43
8.3 Oleofiiliset keräimet	44
8.3.1 Rumpukeräimet	44
8.3.2 Levykeräimet	45
8.3.3 Köysikeräimet	46
8.3.4 Hihnakeräimet	47
8.4 Imeytyspuomit	48
9 Loppupohdinta	50
Lähteet	51

Kuvat

Kuva 1. Öljyn käyttäytymismallit (IOGP 2015, 13).	14
Kuva 2. Joen virtaukset.	19
Kuva 3. Joen virtausnopeudet poikkileikkauksella (Chow 1959, 19).	20
Kuva 4. Virtausnopeuden ja virtaaman mittaaminen (VESI.fi 2021).	21
Kuva 5. Öljyn leviäminen tuulen ja virran vaikutuksesta (ExxonMobil 2014, 4.3).	25
Kuva 6. Virran tai tuulen levittämä öljylautta (Fingas 2013, 62).	26
Kuva 7. Kriittisen nopeuden ylittyminen (ExxonMobil 2016, 5.7).	34
Kuva 8. Epäonnistunut puomitus (Kukhmar 2020).	35

Kuva 9. Puomituksen kulma joen eri kohdissa.	36
Kuva 10. Esimerkkejä joella tehtävistä puomituksista (Hansen 2001, 13-19).	37
Kuva 11. Vinopuomitus (Russian Marine Rescue Service 2020).	39
Kuva 12. Mutkitttelevat joet (Hansen 2001, 12).	39
Kuva 13. Plaanari (CCA n.d.). Oikealla oma hahmotelma plaanarin käytöstä.	40
Kuva 14. Puomin ankkurointi (Keränen 2018, 26).	41
Kuva 15. Imu- ja kauluskeräin (ITOPF 2014, 5).	43
Kuva 16. Rumpukeräin (Lamor 2019, 11).	45
Kuva 17. Levykeräin (Fingas 2013, 100).	46
Kuva 18. Köysikeräin (ITOPF 2014, 4).	47
Kuva 19. Hihnakeräin (Elastec n.d.).	48

Kuviot

Kuvio 1. Öljyn leviäminen Fayn mallinnuksen mukaan (Altarriba 2016, 25).	24
Kuvio 2. Puomiin kohdistuva voima virtaavassa vedessä.	33

Taulukot

Taulukko 1. BAOAC värikoodisto (Lewis 2007, 2).	25
Taulukko 2. Puomityyppien valintataulukko (Keränen 2018, 14).	29
Taulukko 3. Puomin kulma ja pituus eri virtausnopeuksilla (Fingas 2013,84).	36
Taulukko 4. Ankkurin koon vaikutus pitokykyyn (ExxonMobil 2014, 5.29).	41

Käytetyt lyhenteet ja sanasto

BAOAC	The Bonn Agreement Oil Appearance Code värikoodisto, jonka avulla voidaan arvioida öljylautan sisältämää öljyn määrää.
Dispersio	Kahden toisiinsa liukenemattoman aineen seos.
Emulsio	Emulsio on kahden toisiinsa liukenemattoman nesteen seos, jossa toinen aine on pieniksi pisaroiksi jakautuneena toisessa nesteessä. Emulsio on seoksena vakaampi kuin dispersio.
Faasi	Homogeeninen olomuotoalue, jonka erottaa selkeä rajapinta toisesta faasista.
Laminaarinen virtaus	Yhdensuuntainen virtaus, jossa ei esiinny pyörteitä.
Oleofiilinen	Puoleensavetävä, vastakohta hylkivälle
Skimmeri	Mekaaninen öljynkeräyslaite
Säistyminen	Ympäristöön joutuneen öljyn muuttuminen sään ja ympäristön vaikutuksesta.
Viskositeetti	Viskositeetti on suure, joka kuvaa nesteen kykyä vastustaa virtaamista. Korkea viskoosinen neste mielletään yleensä jäykemmäksi ja paksummaksi.

1 Johdanto

Öljyn globaali kulutus on ollut vuosikymmeniä tasaisessa kasvussa. Öljyn monet haitallisesti vaikutukset ovat nykyisin tunnistettu yhä laajemmin. Tärkeänä energianlähteenä käytettynä on käyttäjien sekä yhteiskunnan vastuullista pohtia, miten haittavaikutuksia saadaan vähennettyä. Liikenteen päästöjä on saatu vähennettyä paremman hyötysuhteen omaavilla moottoreilla ja erilaisilla hiukkassuodattimilla. Öljy kuljetetaan ja säilötään nestemäisessä muodossa lämpölaitoksien säiliöissä, jakeluasemilla ja lähes kaikkien polttomoottoristen ajoneuvojen polttoainetankissa. Luontoon päästyään öljy aiheuttaa pitkäaikaista ja vakavaa haittaa ympäristölle.

Öljyntorjuntaan keskittyneet hankkeet ja niiden seurauksena syntyneet oppaat ovat pääosin keskittyneet merellä tapahtuvaan öljyntorjuntaan. Erityisesti jokiympäristöön keskittyneitä hanketta tai opasta en ole löytänyt. Joen erityisolosuhteet asettavat erityisvaatimuksia öljyntorjunnan suhteen.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään lain asettamia vaatimuksia ja velvollisuuksia sisävesillä tapahtuvaan öljyvahingontorjuntaan. Olen laajan kirjallisuuskatsauksen avulla pyrkinyt kokoamaan yhteen oleellisen tiedon joella tapahtuvan öljyntorjunnan toteuttamisesta ja erityispiirteistä. Oman kokemuksen avulla olen pyrkinyt huomioimaan laajan lähdeaineiston joukosta sellaisia asioita ja aiheita, jotka olen havainnut oleellisiksi ja haastaviksi. Laajamittaisen joella tapahtuvan öljyvahingontorjunnan harjoittelu on haasteellista ja paljon resursseja vaativaa. Torjunnan kiireellisen luonteen takia osaamis- ja koulutustasoa ei kyetä juurikaan nostamaan torjuntatoimiin osallistuvalla henkilöstöllä vahingon tapahduttua. Tästä syystä oppiminen pitää olla etupainoista. Aiheeseen perehtyneitä asiantuntijoita ja helposti saavutettavissa olevaa tietoa sekä koulutusmateriaalia tarvitaan.

2 Öljyvahinkojen torjuntaa ohjaava lainsäädäntö

Öljyvahinkojen torjuntaa ohjaava lainsäädäntö on kirjattu pääosin pelastuslakiin. Aiempi öljyvahinkojen torjuntaa ohjannut öljyvahinkojen torjuntalaki on korvattu pelastuslakiin tehdyillä öljyvahinkoja koskevilla lisäyksillä. Öljyvahinkojen korvauksiin liittyvä lainsäädäntö on muutoksessa. Laki öljysuojarahastosta on kirjoitushetkellä osittain voimassa, mutta korvautumassa lailla ympäristövahinkorahastosta.

2.1 Pelastuslaki

Pelastuslaki (2011/379, 2:3) velvoittaa jokaista, joka huomaa tai saa tietää onnettomuuden tapahtuneen ryhtymään kykyjensä mukaisiin pelastustoimiin sekä ilmoittamaan siitä vaarassa oleville. Lisäksi yleinen toimintavelvollisuus velvoittaa tekemään hätäilmoituksen.

2.1.1 Johtovastuu öljyvahingontorjunnassa jokialueilla

Pelastustoimintaa johtaa pelastuslain mukaan sen alueen pelastusviranomainen, jonka alueella onnettomuus tai vahinko on tapahtunut tai saanut alkunsa. Alusöljy- tai kemikaalivahingoissa Suomen aluevesillä, aavalla selällä pelastustoiminnan johtajan asettaa rajavartiolaitos. Jokialueet kuuluvat sisävesiin, joten jokialueilla tapahtuvat öljyonnettomuudet kuuluvat pelastusviranomaisille. (Pelastuslaki 2011/379, 5:34.)

Öljyonnettomuus on vakava uhka ympäristölle, sen rajoittaminen ja torjunta vaatii kiireellistä toimintaa. Pelastuslain mukaan pelastuslaitos vastaa öljyvahingon hoitamisesta, kun onnettomuus tai uhka vaatii kiireellisiä toimenpiteitä ympäristön suojelemiseksi, eikä toimenpiteet ole onnettomuuden kohteeksi joutuneen omin toimin hoidettavissa. Pelastuslain mukaan pelastustoimintaa johtavan viranomaisen on ryhdyttävä kiireellisesti kaikkiin sellaisiin tarpeellisiin toimenpiteisiin vahinkojen torjumiseksi ja rajoittamiseksi, joista aiheutuvat kustannukset eivät ole epäsuhdassa uhattuna oleviin

taloudellisiin ja muihin arvoihin. Torjuntatoimet tulisi myös suorittaa niin, että ympäristö olisi mahdollisimman helppo saattaa ennen vahinkoa olevaan tilaan. (Pelastuslaki 2011/379, 5:32.)

Öljy- ja kemikaalivahinkojen pelastustoimintaa varten perustettavaan johtoryhmään tulee kutsua kuultavaksi ympäristönsuojelun asiantuntija tai ainakin varata tilaisuus, jossa asiantuntijaa on mahdollisuus kuulla. Pelastuslaissa todetaan, että ympäristönsuojelun asiantuntijaa on muutoinkin kuultava tarpeen vaatiessa. (Pelastuslaki 2011/379, 5:35.)

Pelastuslain 5:34:n mukaan tarvittavien valtakunnallisten järjestelyjen toimeen saattamiseksi onnettomuuden laadun ja laajuuden takia voi sisäministeriön pelastusviranomaisen ottaa tilanteen johtaakseen. Sisäministeriön pelastusviranomaisella on myös oikeus antaa pelastustoimintaan liittyen käskyjä, määrätä pelastustoiminnalle johtaja sekä määrittää hänelle kuuluva toimialue.

2.1.2 Pelastustoiminnan johtajan oikeudet öljyvahingon torjunnassa

Pelastustoiminnan johtajalle on pelastuslain nojalla annettu laajat toimivaltuudet ryhtyä tarvittaviin, jopa laajamittaisiin toimiin vahinkojen seurausten rajoittamiseksi, mikäli näiden toimien toteuttaminen on välttämätöntä. Pelastustoiminnan johtaja voi tarvittaessa ottaa tilapäisesti käyttöön kalustoa, kuten torjuntaan soveltuvia kuljetusvälineitä, työkoneita ja väliaikaiseen varastointiin soveltuvia tiloja. Pelastustoiminnan johtaja voi myös määrätä tarvittaessa rakentamaan patoja ja vastaavia maanrakennustöitä toisen alueella sekä ryhtyä muihin tarpeellisiin toimiin. Pelastuslaitos on kuitenkin velvollinen suorittamaan korvaus käyttöön otetusta omaisuudesta tai ulkopuoliselle aiheutetusta haitasta vahingonkorvauslain (412/1974) mukaisesti. (Pelastuslaki 2011/379, 5:35.)

2.2 Öljyvahingosta aiheutuneiden kustannusten korvaaminen

Pääsääntönä voidaan pitää, että vahingon aiheuttaja maksaa öljyvahingosta aiheutuneet kustannukset.

Öljyvahingon ja aluskemikaalivahingon torjumisesta vastaavalla viranomaisella tai virka-apua antaneella viranomaisella on oikeus saada torjuntatyöstä aiheutuneista kuluista korvaus vahingosta vastuulliselta tai hänen vakuutusenantajaltaan. Korvaus maksetaan sen mukaisesti mitä ympäristövahinkojen korvaamisesta annetussa laissa, merilaissa, liikennevakuutuslaissa, raideliikennevastuulaissa tai muutoin on säädetty. Tietyissä tapauksissa korvausta voidaan hakea kansainväliseltä öljyvahinkojen korvausrahastolta tai öljysuojarahastolta. (Pelastuslaki 2011/379, 14:99.)

2.2.1 Öljysuojarahasto ja ympäristövahinkorahasto

Öljysuojarahastoa koskeva lainsäädäntö on opinnäytetyön kirjoitushetkellä murroksessa. 1.1.2023 alkaen laki öljysuojarahastosta (2004/1406) on osittain kumottu lailla ympäristövahinkorahastosta (1262/2022). Siirtymävaihe päättyy 1.1.2025 jolloin siirrytään kokonaisuudessaan uuden lain tulkitsemiseen. Vuoden 2023 alusta kumoutuneet pykälät liittyvät öljysuojarahaston rahoitukseen sekä korvauksiin torjuntakaluston hankkimisesta sekä torjuntavalmiuden ylläpidosta.

Niissä tapauksissa, joissa vahingon aiheuttaja on tuntematon tai ei saada selvitettyksi, voidaan torjunnasta aiheutuneita kustannuksia hakea korvattavaksi öljysuojarahastosta. Öljysuojarahastosta annetun lain (2004/1406) mukaan korvauksia kustannuksista voidaan maksaa öljyvahingosta kärsimään joutuneelle tai korvata öljyvahinkojen torjuntaviranomaisille ja muille torjuntaan tai ympäristön ennallistamiseen osallistuneille. Näitä ovat esimerkiksi torjunnasta ja öljyn pilaaman ympäristön ennallistamisesta aiheutuneet kustannukset, mikäli korvauksia ei saada täysimääräisesti perityksi vahingon aiheuttaneelta, eli korvausvelvolliselta tai hänen vastuuvakuutuksestaan.

2.3 Öljyvahinkojen jälkitorjunta

Öljyvahingon torjunta voidaan jakaa kahteen selkeään osa-alueeseen. Nämä osa-alueet ovat pelastustoiminta ja jälkitorjunta. Tämä opinnäytetyö käsittelee öljyvahingon pelastustoimintaa, mutta on soveltuvin osin käytettävissä myös jälkitorjuntaan. Öljyvahingon pelastustoiminnan loppumisen sekä jälkitorjunnan alkamisen määrittää torjuntatoimista vastuussa oleva pelastusviranomainen. Pelastustoiminnan lopettamisesta on yleensä asioiden selkeyden vuoksi tarpeen tehdä nimenomainen päätös. Päätös on lain mukaan pyydettäessä tehtävä kirjallisesti, mutta selkeyden ja yksiselitteisyyden vuoksi päätös kannattaa ainakin suuremmissa tapauksissa tehdä aina kirjallisesti. Päätöksestä on informoitava öljyvahingon jälkitorjunnasta vastaavaa viranomaista viivytyksettä. (Pelastuslaki 2011/379, 5:32,40.)

Öljyvahinkojen jälkitorjunnan korkein viranomaistaho on ympäristöministeriö. Ympäristöministeriö vastaa yleisestä ohjauksesta, kehittämisestä ja seurannasta. Kunta vastaa jälkitorjunnasta alueellaan ja määrää viranomaisen johtamaan torjuntaa. Kunnan eri laitosten ja viranomaisten on osallistuttava jälkitorjuntaan tarvittavin voimavaroin. Mikäli jälkitorjunta ulottuu usean kunnan alueelle Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus ohjaa ja sovittaa yhteen jälkitorjuntatöitä. Öljyvahingon jälkitorjunnasta syntyneiden kustannusten korvaamiseen sovelletaan samaa menettelyä, kuin pelastustoiminnasta aiheutuneiden kustannusten korvaamiseen. (Pelastuslaki 2011/379, 15:111 a.)

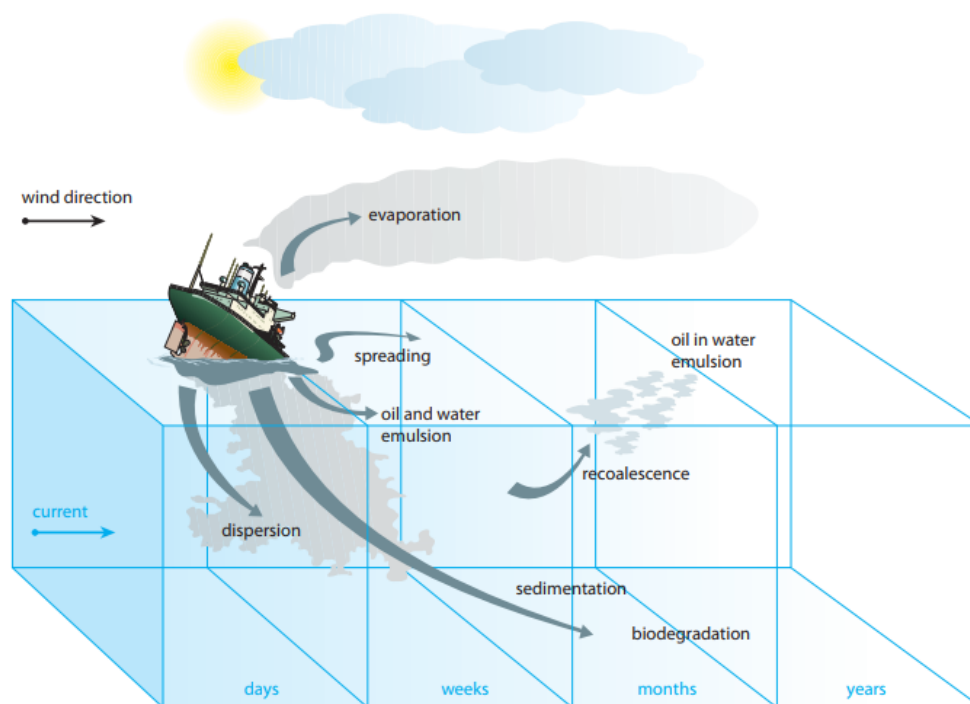
3 Öljyn käyttäytymismallit joessa

Raakaöljyt ovat kemiallisesti monimutkaisia yhdisteitä. Raakaöljyjen ominaisuuksiin ja koostumukseen vaikuttaa merkittävästi öljyjen alkuperä. Tietyltä alueelta maapalloa kerätty raakaöljy on ominaisuuksiltaan alueen geologisen ympäristön mukainen. Öljyn syntypaikan olosuhteet, kuten paine, lämpötila ja maaperä vaikuttavat raakaöljyn kemialliseen koostumukseen ja ominaisuuksiin. Raakaöljy sisältää pääasiassa n-, iso- ja sykloalkaaneja, aromaattisia hiilivetyjä, hartsia ja asfalteeneja. Funktionaalisten ryhmien perusteella voidaan erottaa erilaisia öljyn yhdisteitä, kuten fenoleita, kinoliineja, indoleja, tiofeeneja, karbatsoleja, karboksyylihappoja, porfyriineja, ketoneja, furaaneja sekä asetaatteja. Jalostusprosessissa öljyn kemiallinen koostumus yksinkertaistuu, kun erilaiset öljyjakeet erotellaan toisistaan. Kevyemmät öljyjakeet kelpaavat polttoaineiksi, keskiraskaista voidaan valmistaa esimerkiksi voiteluaineita ja raskaimmat sopivat tien pinnoitteiden valmistamiseen. (Lukkari 2012, 18-19.)

Öljy on lähtökohtaisesti vettä kevyempää. Makean veden tiheys on 1 g/cm^3 ja suolaisen meriveden $1,03 \text{ g/cm}^3$. Eri öljyjen tiheyden vaihtelevat $0,7\text{--}0,99 \text{ g/cm}^3$, joten vettä kevyempänä öljyt kelluvat veden pinnalla. Öljyn kevyimmät ainesosat haihtuvat helposti, jolloin jäännösöljyn tiheys kasvaa. Kun öljyn tiheys kasvaa veden tiheyttä suuremmaksi, öljy uppoaa. Ilmiö on suuressa mittaluokassa harvinainen, mutta tapahtuu osalle öljystä useimmissa onnettomuuksissa. (Fingas 2015, 75.)

Kun öljyä vuotaa veteen tai maaperään, se alkaa hajoamaan ja muuttumaan. Tätä prosessia voidaan kutsua öljyn säistymiseksi (weathering). Säistymisen nopeus ja laajuus riippuvat useista tekijöistä, kuten öljyn tyypistä, lämpötilasta ja sääolosuhteista. Toisena prosessina voidaan pitää öljyn liikkumista uudessa ympäristössä. Öljy voi levitä veden pinnalla, sekoittua tai liueta veteen, tunkeutua maaperään tai haihtua ilmaan. Öljyn leviämisen suunta ja nopeus riippuvat useista tekijöistä, kuten tuulen suunnasta ja nopeudesta, lämpötilasta, veden virtauksista ja maaperän tyypistä. (Fingas 2013, 43.)

Öljyn liikkeet ja säistyminen voidaan jakaa käyttäytymismalleiksi. (Kuva 1.) Tässä luvussa keskitytään öljyn haihtumiseen, dispersoitumiseen, emulgoitumiseen, sedimentoitumiseen ja biohajoamiseen. Öljyn leviämistä veden pinnalla spontaanisti sekä virran ja tuulen vaikutuksesta käsitellään tarkemmin luvussa 5.



Kuva 1. Öljyn käyttäytymismallit (IOGP 2015, 13).

3.1 Haihtuminen ja liukeneminen

Öljy ja öljytuotteet haihtuvat eri tavalla kuin vesi. Tuulella ei ole havaittu olevan kovin merkittävää vaikutusta haihtumiseen. Öljyn haihtuminen tapahtuu pääosin molekyylien diffuusiolla, jolloin tärkeimmät tekijät öljyn haihtumiseen ovat lämpötila ja diffuusiomatka kalvon pinnalle, toisin sanottuna öljylautan paksuus. Öljyn haihtuminen voi hidastua huomattavasti, jos öljyn pinnalle muodostuu kuori tai kalvo. Tämä ilmiö esiintyy pääasiassa maalla, missä öljy ei sekoitu veteen. Kuori muodostuu, kun öljyn kevyimmät komponentit haihtuvat pois ja pinnalle jäävät raskaimmat yhdisteet, kuten vahat ja hartsit. Nämä muodostavat tiiviin kerroksen, joka estää jäljellä olevan öljyn haihtumisen. Kun tällainen kuori

on muodostunut, kuoren alla olevan öljyn haihtuminen vähenee merkittävästi. Heti vuodon jälkeen haihtumisnopeus on hyvin nopea, mutta hidastuu lyhyen ajan kuluttua. Lämpimässä ympäristössä jopa 80 % haihtumisesta tapahtuu ensimmäisten kahden vuorokauden aikana vuodon jälkeen. Useimpien öljyjen haihtuminen seuraa logaritmista käyrää ajan suhteen, kun taas joillakin öljyillä, kuten dieselillä, haihtuminen voi olla verrannollinen ajan neliöjuureen ensimmäisien päivien ajan. Tämä tarkoittaa, että haihtumisnopeus hidastuu nopeasti ajan kuluessa molemmissa tapauksissa. Öljyn ominaisuudet voivat muuttua merkittävästi riippuen haihtumisen laajuudesta. Mikäli öljyn tilavuudesta haihtuu noin 40 prosenttia, voi öljyn viskositeetti kasvaa jopa 400 prosenttia. Öljyjen tiheys voi haihtumisen seurauksena kasvaa 10 prosenttia. Viskositeetin kasvaessa kevyiden öljyjakeiden kerääminen voi helpottua skimmereillä, eli mekaanisilla öljyn keräämiseen suunnitelluilla laitteilla, mutta erityisesti raskaat jakeet saattavat painua pohjaan, josta niiden kerääminen on hyvin vaikeaa. (Fingas 2013, 44-45.)

Kevyet öljyjakeet kuten bensiini ja kerosiini haihtuvat lähes kokonaan muutamien päivien aikana 20 °C lämpötilassa. Diesel- ja kevytpolttoöljy haihtuu noin 30-50-prosenttisesti ja raskaspolttoöljy 10-prosenttisesti (IOGP 2015, 14). Tämä ei kuitenkaan tarkoita öljyn haitallisuuden vähenemistä, vaan käytännössä jäljelle jää öljyn haitallisimmat ainesosat. Biodieselin haihtuminen perinteiseen dieseliin verrattuna on vähäisempää. Ajoneuvojen polttoaineena käytettävä korkeaseosetanoli on tyypillisesti noin 80-85-prosenttisesti etanolia ja 15-20-prosenttisesti hiilivetykomponentteja. Veteen joutuessaan korkeaseosetanolin etanoli osa liukenee veteen, ja hiilivedyt jäävät kellumaan kalvoksi pinnalle (Malk 2017). Perinteisistä öljyistä ja seosöljyjen hiilivetyosista vain alle prosenttisyksikkö liukenee veteen. Nämä pienet osaset ovat alhaisen molekyylipainon aromaattisia yhdisteitä ja polaarisia yhdisteitä, jotka luokitellaan yleisesti hartseiksi. Veteen liukenevat aromaattiset yhdisteet ovat erityisen myrkyllisiä kaloille ja muille vesieläimille. (Fingas 2013, 51.)

3.2 Dispergoituminen ja emulgoituminen

Dispersion muodostuminen on prosessi, jossa öljy pisaroituu ja pienet öljypisarat sekoittuvat vesifaasiin aaltojen tai muun turbulenssin vaikutuksesta. Pienet öljypisarat, halkaisijaltaan alle 0,02 mm ovat suhteellisen stabiileja dispergoituneina veteen ja pysyvät vesifaasissa pitkän aikaa. Suuret pisarat pyrkivät kohoamaan takaisin öljykalvoon ja suuremmat kuin 0,1 mm pisarat eivät pysy vesifaasissa pidempään, kuin muutaman sekunnin. Kevyemmät öljy-laadut, joissa hartsien ja asfalteenin määrät ovat pieniä ovat alttiimpia dispergoitumiselle. Raskailla öljy-laaduilla dispergoitumista ei juurikaan tapahdu. Riippuen ympäristön olosuhteista, kuten virtauksesta ja aallokosta, dispergoituminen voi olla vähäistä tai se voi poistaa jopa suurimman osan öljylautasta. Dispergoitunut öljy saattaa myöhemmin pintaantua ja muodostaa uuden öljylautan veden pinnalle. (Fingas 2013, 50.)

Emulgoitumisella tarkoitetaan öljyn ja veden seoksen vakaampaa versiota. Öljyn ja veden emulgoituessa öljy ottaa sisäänsä vesipisaroita ja muodostaa näin stabiilin emulsion. Emulgoituminen tapahtuu tyypillisesti korkeamman viskositeetin öljyissä, tai kevyemmissä öljyjakeissa, kuten dieselissä haihtumisen seurauksena tapahtuneen viskositeetin nousun jälkeen. Pienen 0,010-0,025 mm vesipisaran päästyä öljyn sisään, öljyissä olevat asfalteenit ja hartsit stabiloivat sen ja vesipisara laskeutuu öljykerroksen pohjalle. Emulsiot voivat olla epästabiileja, jotka hajoavat muutamien minuuttien tai tuntien kuluttua. Stabiileimmat emulsiot kestävät päiviä tai monia viikkoja muodostaen lopulta niin kutsuttuja tervapalloja. Öljyn emulgoituminen veden kanssa voi vaikeuttaa öljyn poistamista luonnosta merkittävästi mekaanisilla keräimillä. (Fingas 2013, 50.)

3.3 Sedimentoituminen

Muutamissa hyvin tutkituissa öljyvuodoissa merkittävä määrä (noin 10 %) öljystä sedimentoitui merenpohjaan. Tällaiset määrät voivat olla erittäin haitallisia merenpohjassa öljyn kanssa kosketuksiin joutuvalla eliöstöllä. Öljyn

uppoaminen tapahtuu tyypillisesti kevyempien ainesosien haihtumisen jälkeen, jolloin öljyn tiheys on kasvanut riittävästi ja jäljelle on jäänyt aromaatteja sekä suurimolekyylisiä asfalteeneja. Nämä ovat luonteeltaan tahmaisia yhdisteitä, jotka tarttuvat herkästi eloperäiseen ainekseen, mikä nopeuttaa niiden sedimentaatiota. Varsinkin aromaattisten ja polyaromaattisten yhdisteiden sitoutuminen hiukkasiin on voimakasta. Kun öljy päätyy pohjaan, se peittyy yleensä muulla sedimentillä, hajoaa hyvin hitaasti ja voi pysyä ympäristössä vuosikymmeniä. (Fingas 2013, 53.)

Mikäli öljyn sisältämiä biohajoavia osia päätyy pohjasedimenttiin, se voi osaltaan vaikuttaa hapettomien olosuhteiden kehittymiseen vesistön pohjaan. Hapettomuus voi edistää pohjan rautayhdisteisiin sitoutuneen fosfaatin vapautumista sedimentistä veteen ja edelleen kohti pintaa johtuen raudan pelkistymisestä. Pohjasta vapautuva fosfaatti saattaa toimia ravinteena hajottaja organismeille ja nopeuttaa öljyn hajoamista. Pintaan päätyessään fosfaatti kuitenkin lisää leväkukintoja ja muuta rehevöitymistä. Pelkistävien prosessien seurauksena sedimentistä voi liueta veteen myös haitallisia metalleja, jotka ovat haitallisia eliöille ja hidastavat luonnon ennallistumista. (Lukkari 2012, 23.)

3.4 Biohajoaminen

Mikro-organismit kykenevät hajottamaan hiilivetyjä. Monet bakteeri-, sieni- ja hiivakannat metaboloivat hiilivetyjä energianlähteenään. On havaittu, että öljyä hajottavat bakteerit ja mikro-organismit ovat runsaimpia alueilla, joissa on esiintynyt öljyvuootoja. Jokainen bakteerilaji voi käyttää hyväkseen vain muutamia öljyyn liittyviä yhdisteitä. Tästä syystä laaja-alaista hajoamista ei välttämättä tapahdu. Mikro-organismien hajottamat hiilivedyt muuttuvat yleensä hapettuneiksi yhdisteiksi, jotka voivat hajota edelleen, liueta veteen tai kerääntyä jäännösöljyyn. Hajoamistuotteiden vesistötoksisuus voi joskus olla suurempi kuin lähtöaineiden. Hajoamisnopeus riippuu hiilivetyjen luonteesta, ympäristön lämpötilasta ja hapen saatavuudesta. Yleensä hajoamisnopeudet kasvavat lämpötilan noustessa. Alueen alkuperäiset bakteerit ja muut mikro-organismit ovat usein parhaiten sopeutuneita vallitsevaan ympäristöön ja tästä

syystä ovat tehokkaimpia öljyn hajottajia. Ulkopuolisten öljynhajottajabakteerien lisääminen öljyvahingon turmelemaan vesistöön ei välttämättä paranna hajoamisnopeutta. Hajoamisnopeus on suurin tyydyttyneissä hiilivedyissä, erityisesti niissä, jotka sisältävät noin 12–20 hiiliatomia. (Fingas 2013, 53-54.)

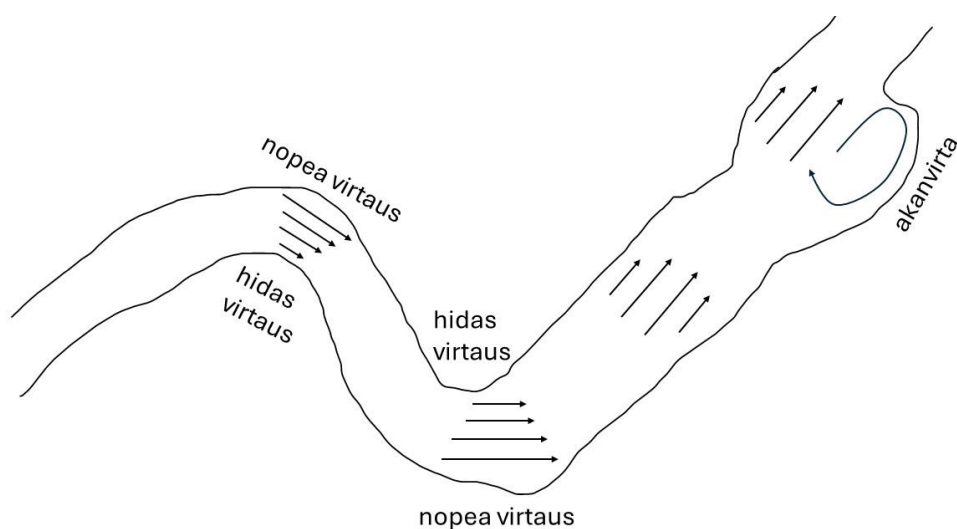
Suurimolekyylipainoiset aromaattit ja asfalteenit, hajoavat erittäin hitaasti tai eivät lainkaan. Bensiini yleensä haihtuu ennen kuin ehtii hajoamaan. Vaikka bensiini sisältää hajoavia komponentteja, se sisältää myös joitain mikro-organismeille myrkyllisiä yhdisteitä. Nämä yhdisteet haihtuvat yleensä nopeasti. Diesel on melko hajoava öljy, koska se koostuu pääasiassa hajoavista tyydyttyneistä yhdisteistä. Kevyet raakaöljyt ovat myös jossain määrin hajoavia. Raskaissa raakaöljyissä on vain vähän helposti hajoavia aineita. Hajoamisnopeus riippuu myös hapen saatavuudesta. Maan pinnalla öljyt voivat hajota nopeasti, mutta vähähappisissa olosuhteissa muutaman senttimetrin syvyydessä hyvin hitaasti tai ei lainkaan. Vedessä vapaan hapen pitoisuudet voivat rajoittaa hajoamista. Arvioidaan, että yhden öljylitran hajoamiseen tarvitaan noin 400 000 litraan merivettä liuennut happimäärä. Hajoamisnopeus riippuu myös ravinteiden, kuten typen ja fosforin saatavuudesta. Öljyn hajoaminen on tehokkainta rannoilla, veden, öljyn ja ilman rajapinnassa. Biohajoaminen voi olla hidas prosessi. Dieselöljyn 50-prosenttinen hajoaminen voi optimaalisissa olosuhteissa kestää muutamia viikkoja, kun taas raakaöljyn 10-prosenttinen hajoaminen voi kestää vuosia. (Fingas 2013, 55.)

4 Joki onnettomuusympäristönä

Suomessa on 1913 jokea, joiden yhteenlaskettu pituus on yli 35 000 kilometriä. (Antikainen 2019, 54). Joki on onnettomuusympäristönä erityinen ja tästä syystä merellä tapahtuvaa öljyntorjuntaa ei voida suoraan soveltaa jokiympäristöön.

4.1 Virtaukset joella

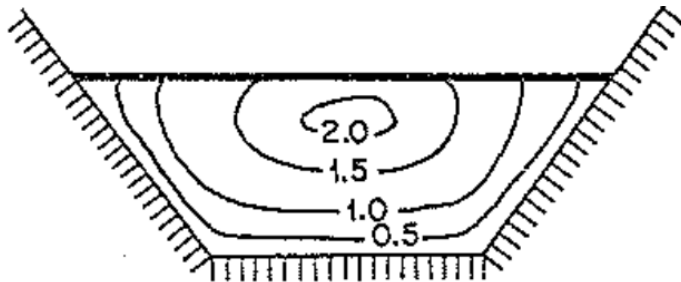
Joen virtaukset aiheuttavat haasteita öljyntorjunnalle. Käytännössä jokaisen joen geometrinen profiili on erilainen. Suoralla joen osuudella virtaukset kulkevat systemaattisesti joen virtaussuuntaan. Kapeikkojen tai matalikkojen kohdalla joen virtaus kiihtyy kokonaisuudessaan. Mutkien kohdalla joen virtaus on ulkokaarteessa nopeampaa ja sisäkaarteessa hitaampaa. (Kuva 2.) Virran kohdatessa esteen tai kapeikon muodostuu pyörteitä ja vastakkaisia virtauksia. Kapeikoissa voi rannan tuntumaan muodostua virtaus, joka kuljettaa vettä ja muuta ainesta päävirran vastaisesti pitkiäkin matkoja. Edellä kuvattua päävirran vastaista virtausta on suomessa totuttu kutsumaan akanvirraksi. (Earle 2019, 432-435; Hrissanthou 2022, 119-139.)



Kuva 2. Joen virtaukset.

4.1.1 Virtausnopeus joen eri syvyysalueilla

Joessa virtausnopeus ei jakaudu tasaisesti uoman poikkileikkauspinta-alalle. Joen muoto, pohjan materiaali ja kasvillisuus aiheuttavat seinämäkitkaa ja hidastavat virtausta vapaaseen vesipintaan verrattuna. Tyypillisesti virtausnopeus on suurin keskellä jokea, vähän vedenpinnan alapuolella. Seinämäkitkan takia jokiuoman reunoilla virtausnopeus on pienimmillään. (Kuva 3.) (Chow 1959, 19.)



Kuva 3. Joen virtausnopeudet poikkileikkauksalalla (Chow 1959, 19).

4.2 Virtausnopeuden määrittäminen kenttäolosuhteissa

Öljyonnettomuuden sattuessa on tärkeä saada nopea käsitys joen virtaaman yleispiirteistä ja virtausnopeudesta. Kenttäolosuhteissa tehtävä virtaus- ja virtaamamittaus on aina suuntaa antava toimenpide. Toimenpide on usein kuitenkin tarpeellinen, jotta öljyn leviäminen alajuoksulle olisi arvioitavissa. Virtausnopeus ja torjuntatöihin osallistuvien toimintavalmiusaika aktiivisen torjuntatyön aloittamiseen määrittää paikkaa, johon öljylautta on mahdollista pysäyttää. Lisäksi torjuntamenetelmien valinta ja puomin oikea asettelu vaatii virtausnopeuden tuntemista.

Mittauspaikka valmistellaan kuvan 4 mukaisesti merkitsemällä virtamittauksen alku- ja loppupiste rannalle selkeästi erottuvilla merkeillä ja näiden etäisyys mitataan. Tulokseksi saadaan matka S. Kaarnapala heitetään alkupisteen yläpuolelta virtaan. Ajastin käynnistetään, kun kaarnapala saavuttaa alkupisteen ja pysäytetään kaarnapalan saavuttaessa loppupisteen. Tulokseksi saadaan

aika t . Mittaus toistetaan kolme kertaa ja lasketaan mittausten keskiarvo. Virtausnopeus lasketaan VESI.FI (2021) ohjekortin mukaan seuraavasti:

$$V = \frac{S}{t} \quad \frac{(t_1+t_2+t_3)}{3} = t \quad (1)$$

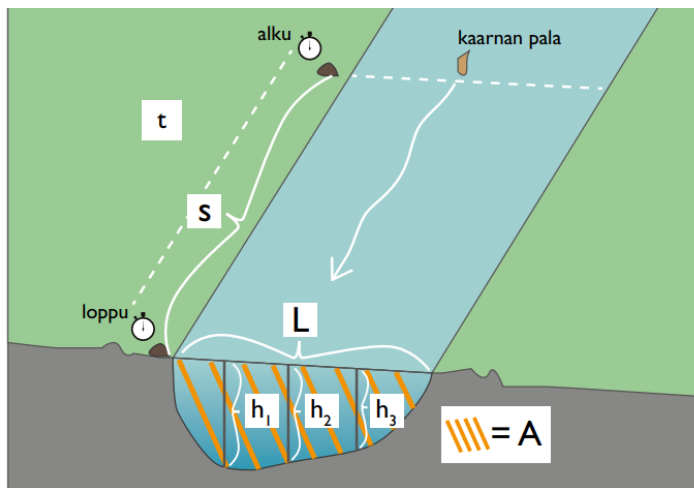
jossa

V on virtausnopeus (m/s)

S on alku ja loppupisteen välinen etäisyys (m)

t on kolmen mittauksen keskiarvo (s)

Mittauspaikan valinnalla on oleellinen merkitys saadun tuloksen luotettavuuteen. Mittauspaikka kannattaa valita jokiosuudelta, jossa virtaus on mahdollisimman laminaarista. Tämä tarkoittaa sitä, että joki on tältä kohtaa mahdollisimman suoralinjainen, turbulenssia aiheuttavia esteitä tai virtausta kiihdyttäviä kapeikkoja ei ole. Joen poikkileikkauksen olisi syytä olla mahdollisimman symmetrinen.



Kuva 4. Virtausnopeuden ja virtaaman mittaaminen (VESI.fi 2021).

4.2.1 Virtaaman määrittäminen

Virtaama kertoo, kuinka paljon vettä kokonaisuudessa joessa liikkuu tietyssä ajanjaksona. Virtaaman selvittäminen auttaa pelastustöitä tekeviä ennustamaan

virran nopeutta kapeikoissa ja mahdollisen haitallisen aineen sekoittumista vesimassaan. Virtaaman laskennassa on selvitettävä pohjan muoto ja veden syvyys, jotta uoman poikkileikkauspinta-ala voidaan laskea.

Joen syvyyden määrittämiseen voidaan käyttää kaikuluotainta, tai matalassa joessa mittauskeppejä. Poikkileikkauksen pinta-ala määritetään mittauspaikan loppupisteen kohdalta kuvan 4 mukaisesti. Veden syvyys mitataan kolmesta kohtaa uoman leveydeltä ja lasketaan näiden keskiarvo. Uoman poikkileikkauksen pinta-ala lasketaan VESI.FI (2021) ohjekortin mukaan seuraavasti:

$$A = L * h \quad \frac{h_1+h_2+h_3}{3} = h \quad (2)$$

jossa

A on poikkileikkauksen pinta-ala (m²)

L on uoman leveys (m)

h on uoman syvyyden keskiarvo kolmesta kohtaa mitattuna (m)

Virtaama kertoo, kuinka paljon vettä uomassa liikkuu aikayksikköä kohden. Virtaama lasketaan virtausnopeus kerrottuna uoman poikkileikkauksen pinta-alalla sekä pohjan karkeuskertoimella. Virtaama lasketaan VESI.FI (2021) ohjekortin mukaan seuraavasti:

$$Q = A * V * C \quad (3)$$

jossa

Q on virtaama (m³/s)

A on poikkileikkauksen pinta-ala (m²)

V on virtausnopeus (m/s)

C on pohjan karkeuskerroin, karkea C=0,9 muta-, hiekkapohja C=1

5 Öljyvahingon laajuuden ja leviämisen arviointi

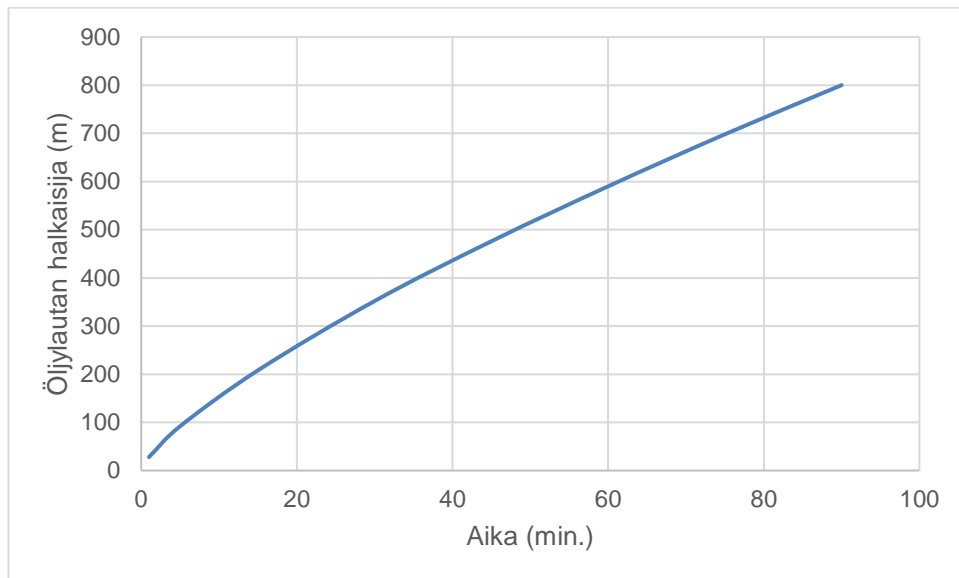
Öljyn päätyessä jokeen öljy jää suurimmaksi osaksi kellumaan veden pinnalle. Osa öljystä voi dispersoitua veteen ja muodostaa veden kanssa muutamien millimetrin paksuisen emulsion veden pintaosaan. Öljylaatujen viskositeetit ja tiheydet vaihtelevat, joten eri laatujen käyttäytyminen joessa on hieman erilaista. Pääasiassa öljy liikkuu joessa lauttamuotona veden pinnalla. Suurin vaikuttava tekijä öljylautan liikkeeseen ilman tehokkaita rajoitustoimia on virtaus ja öljyvuodon kesto aika. Öljylautan väri vaihtelee öljylautan paksuuden mukaan. Öljylautan värin havaitseminen veden pinnan tasolta voi olla haastavaa. Ylhäältäpäin havainnoissa öljylautan värit ja rajat voidaan havaita selvemmin.

5.1 Öljylautan leviäminen spontaanisti

Nestemäisessä olomuodossa esiintyessään öljyt pyrkivät veden pinnalla hakeutumaan tiheyttä ja pintajännitystä vastaavaan tasapainotilaan. Öljyn tiheys ja viskositeetti poikkeaa merkittävästi veden tiheydestä ja viskositeetista. Paksu öljylautta leviää pinta-alaltaan laajemmaksi ja ohenee. Käytännössä ilmiön tapahtuminen joessa vaatii hitaan vuodon sijaan niin sanottua kertavuotoa, jossa suuri määrä öljyä päätyy nopeassa ajassa veteen. Ilmiön mallinnukset ovat luonteeltaan teoreettisia ja tapahtuvat puhtaasti maksimissaan öljyvuodon aivan alkuaikana. Ilmiö on kuitenkin todellinen ja tapahtuva. Minkä muodon ja suunnan öljylautta ottaa, on kuitenkin enemmän riippuvainen virtaus- ja tuuliolosuhteista. (Fingas 2013, 56-57.)

Öljyn tunnettujen fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien mukaan on leviämisestä luotu laskennallisia malleja. Näistä malleista tunnetuin on Fayn leviämismalli. Fayn leviämismallissa leviäminen täysin tynnen veden pinnalla on jaettu kolmeen eri vaiheeseen. Ensimmäinen vaihe on inertia-vaihe. Inertia-vaiheessa veteen vuotanut öljy pyrkii kohoamaan veden pinnalle ja asettumaan tasapainotilaan painovoiman ja hitausvoimien avulla. Toisena vaiheena tulee viskoottinen vaihe. Tämän vaiheen aikana hitausvoimien vaikutuksesta tulevaa

laajenemista ei enää tapahdu. Viskoottisessa vaiheessa öljylautan leviämisestä vastaavat öljyn ja veden rajapinnan viskoottiset voimat. Kolmannessa vaiheessa öljyn leviämisestä vastaavat pintajännitysvoimat. Tämä on pitkäkestoisin vaihe ja alkaa tyypillisesti öljylautan paksuuden ollessa alle 10 millimetriä. (Altarriba 2017, 7-8.)

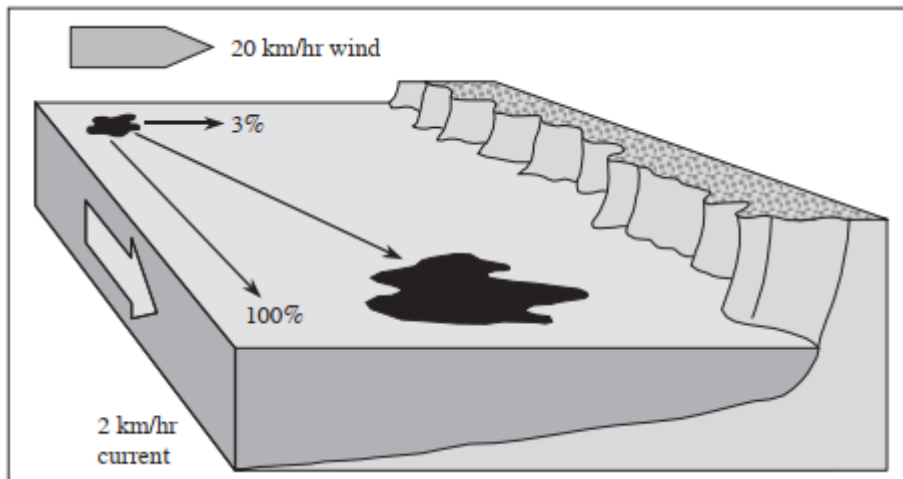


Kuvio 1. Öljyn leviäminen Fayn mallinnuksen mukaan (Altarriba 2016, 25).

Kuviossa 1 on havainnollistettu Fayn leviämismallilla veteen vuotaneen kevyen polttoöljy- tai bensiinilautan leviämistä 25 °C lämpöisessä vedessä ilman ulkopuolisia fysikaalisia vaikutuksia, kuten tuuli ja virtaus.

5.2 Virran ja tuulen vaikutus

Virta on voimakkain öljylauttaa liikuttava voima, tämän jälkeen tulee tuuli. Toisinaan tuuli ja virtaukset rikkovat lauttoja, jolloin öljy voi muodostaa pitkiä ja kapeita vanoja. Virran vaikutuksesta öljylautta kulkee käytännössä samalla nopeudella kuin virtaava vesi. Ilma on vähemmän tiheää kuin öljy, joten tuuli kykenee vaikuttamaan öljylautan liikkeeseen vain 3-5 prosentin suhteella lautan pinnalla vallitsevaan tuulen nopeuteen. (Kuva 3.) (ExxonMobil 2014, 4.6; Fingas 2013, 58-59.)



Kuva 5. Öljyn leviäminen tuulen ja virran vaikutuksesta (ExxonMobil 2014, 4.3).

Tuulen ja virran vaikutusta määritettäessä niitä kuvaavat vektorit asetetaan kuvaajaan oikeassa suhteessa sekä suunnassa ja niiden yhteisvaikutus lasketaan.

5.3 Öljymäärän arviointi öljylautan värin perusteella

BAOAC (The Bonn Agreement Oil Appearance Code) koodiston perusteella öljylautta heijastaa valoa pinnastaan viidellä eri tavalla riippuen öljylautan paksuudesta. (Taulukko 1.) BAOAC järjestelmän värikoodisto on viisiportainen ja luotu helpottamaan ilmasta tapahtuvan öljyvahingon tiedustelua ja vahingon laajuuden arviointia. (Lewis 2007, 2.)

Taulukko 1. BAOAC värikoodisto (Lewis 2007, 2).

Numero	Öljylautan väri	Öljykalvon paksuus (μm)	Littraa (ha)
1	Harmaa	0,04-0,30	0,004-3
2	Sateenkaari	0,30-5,0	3-50
3	Metalli	5,0-50	50-500
4	Epäsäännöllinen öljyalaadun todellinen väri	50-200	500-2000
5	Tasainen öljyalaadun todellinen väri	yli 200	yli 2000

Öljyn vuotokohdassa tai kertavahingon alussa öljylautta on tyypillisesti useita millimetrejä paksu. Öljylauttaa katsellessa pystyy erottamaan selkeästi öljyalaadun todellisen värin. Esimerkiksi kevytpolttoöljy on väritykseltään punertavaa, diesel melko väritöntä ja raskaammat öljyalaadut ruskeita tai mustia. Paksussa, tason viisi öljylautassa väri on tasainen. Öljylautan ohentuessa tasolle neljä alkaa tasainen väri hajoamaan ja katsoja havaitsee todellisen värin eri sävyjä. Öljyalaadun tunnistaminen on tasolla neljä ja viisi kohtalaisen helppoa. Öljylautan ohentuessa tasolle kolme, öljylautan väritys muuttuu metalliseksi ja öljyalaadun ominaisväri katoaa. Kaikkien öljyalaatujen väri alkaa näyttämään samalta tasolta kolme alkaen. Metallinen väritys toimii tasaisessa vedenpinnassa peilinä ja katsoja kykenee näkemään tällä tasolla helposti pilvien ja taivaan heijastuman lautaa pinnassa. Tasolla kaksi öljy saa pinnalleen sateenkaaren värin. Tämä on tunnetuin ja silmään pistävin väritys ihmisten keskuudessa. Sateenkaaren väreissä joessa ajelehtiva öljylautta aiheuttaa suurta huolta. Todellisuudessa öljylautta on tässä vaiheessa niin ohut, että öljyn mekaaninen kerääminen on käytännössä mahdotonta. Ohuimmillaan, eli tasolla yksi öljykalvo muuttuu harmahtavaksi ja usein lauttaan alkaa muodostua reikiä ja harsomaisuutta. Öljylautta on kuitenkin selkeästi erotettavissa. (Fingas 2013, 69; Lewis 2007, 3-5.)



Kuva 6. Virran tai tuulen levittämä öljylautta (Fingas 2013, 62).

Virtaavassa vedessä öljypäästö muodostaa tyypillisesti pitkänmallisen öljylautan. Kuvassa 6 olevassa öljylautassa voimme havaita, miten vanan keskiosa muodostuu metallinvärisestä BAOAC värikoodiston tason kolme paksuisesta öljykalvosta. Metallin värisen osan reunoilla on sateenkaaren värejä. Öljylautta ohenee reunoja kohden ja aivan reunassa voimme nähdä harmaan hailakan värityksen, joka paikoitellen on jo hieman rikkonainen. Mikäli tiedämme lautan pinta-alan voimme kohtalaisella tarkkuudella arvioida lautan sisältämän öljyn määrän hyödyntämällä BAOAC järjestelmää ja taulukkoa 1.

Vedessä olevan öljylautan koon ja värin arvioiminen veden pinnan tasolta on erittäin vaikeaa, ellei mahdotonta. Kokonaisuuden hahmottamiseksi tarkastelukulma pitäisi olla suurempi kuin 45 astetta veden pinnan tasosta. Parhaiten öljylauttaa voidaan havainnoida katselemalla tai kuvaamalla sitä kohtisuoraan yläpuolelta. Kuvaamiseen ja pinta-alan arvioimiseen kannattaa hyödyntää miehittämättömiä lennokkeja. (Fingas 2013, 69; IOGP 2015, 10,15.)

6 Öljypuomin valinta joelle

Joella tapahtuneen öljyvahingon torjuntatoimien alkaessa on ensimmäiseksi öljyvuodon rajoittamisen ja tukkimisen ohella pyrittävä estämään öljylautan leviäminen virran tai tuulen vaikutuksesta. Tätä tehtävää varten on kehitetty erilaisia öljypuomeja. Öljypuomeja käytetään estämään öljyn leviäminen, suojaamaan tärkeitä rantakohteita ja ohjaamaan öljyä paikkaan, jossa sen kerääminen on mahdollista. Vaikka öljy olisi jo päässyt liikaamaan rantoja, on tärkeää jatkaa öljyn leviämisen estämistä, jotta likaantunut ranta-alue ei pääsisi laajenemaan. (Keränen 2018, 10.)

6.1 Öljypuomin valintaperusteita

Öljypuomia valitessa on tärkeää huomioida ympäristön olosuhteet, jossa puomia todennäköisesti käytetään. Joella merkittävin puomin valintaan vaikuttava olosuhde on virtaus. Virtausta vähäisempinä tekijöinä voidaan pitää tuulta ja aallokkoa, jotka taas ovat merellä vaikuttavampia ympäristötekijöitä. Yksikään puomityyppi ei toimi optimaalisesti kaikissa erilaisissa olosuhteissa. Tyypillisesti öljypuomit pystyvät estämään öljyn karkaamisen alle 0,5 m/s virtauksessa. Puomin helman vakaudella on virtaavassa vedessä oleellinen vaikutus öljyn pidätyskykyyn. (Keränen 2018, 47.)

6.2 Puomien luokittelu

Puomeja luokitellaan niiden rakenteen ja pääasiallisen käyttötarkoituksen mukaan. Pääasialliset käyttökohteet ovat avomeri-, rannikko-, virta- ja rantapuomit. Eri olosuhteisiin suunnitelluissa puomeissa on otettu huomioon esimerkiksi puomin aallokon kesto, tai riittävä jäykkyys virtaaviin vesiin. Öljyn nuottaus vaatii puomilta myös jäykkyyttä sekä vetolujuutta.

Puomit voidaan jakaa rakenteensa perusteella aita- ja verhopuomeihin. Aitapuomit ovat rakenteeltaan jäykistettyjä pystysuunnassa. Aitapuomeja

käytetään tyypillisesti virtaavissa vesissä tai siipipuomeina öljynkeräysalusten kyljissä, aluksen kerätessä öljyä. Verhopuomit ovat pystysuunnassa jäykistämättömiä, mutta verhon alareunassa oleva paino pyrkii pitämään puomit pystysuunnassa vedessä ollessaan. Verhopuomit jaotellaan lisäksi kellukemateriaalin ja -rakenteen mukaan kiinteällä täytteellä oleviin, itsetäytyviin ja paineilmalla täytettäviin puomeihin. (Keränen 2018, 13.)

Puomin valintaa helpottamaan on luotu valintataulukko. Taulukossa on koottuna eri käyttöolosuhteet ja puomien perustyytit. Luokittelussa pienempi numero kuvaa puomin parempaa soveltuvuutta käyttötarkoitukseensa, eli numero 1 on paras ja 3 huonoin. Pienimmän pistemäärän saanut puomi toimii parhaiten halutussa olosuhteessa.

Taulukko 2. Puomityyppien valintataulukko (Keränen 2018, 14).

Luokittelu 1=Hyvä, 2=Välttävä, 3=Huono			Puomityyppi			
			Puomi kiinteällä täytteellä	Itse- täytyvä puomi	Paine-ilma täytteinen puomi	Aita- puomi
Arviokriteerit	Toiminta- ympäristö	Laajat avoimet vesistöt ja avomeri	2	2	1	3
		Suojainen vesistö ja rannikko	1	1	1	2
		Tyyne vesi	1	1	1	1
		Voimakas virtaus (>0,5m/s)	2	3	2	3
		Matala vesi (<0,3 m)	1	2	2	3
		Roskia (tai jäätä)	1	3	2	2
	Toiminnallisuus	Kelluvuus	2	1	1	3
		Toiminta aallokossa	2	2	1	3
		Kestävyys	2	3	1	1
	Käytettävyys	Käyttöön- otettavuus	2	1	2	2
		Puhdistetta- vuus	1	1	1	1
		Pieni varasto- tilan tarve	3	1	1	3
	Soveltuvuus öljyn nuottaukseen	U- tai -V- nuottaus	2	3	1	3
		J-nuottaus	1	3	1	3

Jokialueelle puomia valittaessa tärkein ominaisuus on puomin toimivuus virrassa. Taulukosta 2 nähdään, että puomi kiinteällä täytteellä ja paineilmatäytteinen puomi saa parhaan luokituksen virtaavaan veteen. Toiminnallisuussosiossa kelluvuus ja kestävyys ovat jokiolosuhteisiin puomia valitessa oleellisia ominaisuuksia. Öljypuomin toimivuutta aallokossa voidaan pitää vähemmän merkitseväenä ominaisuutena jokiympäristössä. Toiminnallisuuden kannalta paineilmatäytteinen puomi saa paremman luokituksen. Käytettävyyssosiossa molemmat puomityypit luokituvat samalla tavalla käyttönotettavuudessa ja puhdistettavuudessa. Varastointitilan tarpeessa paineilmatäytteinen puomi korostuu selkeästi toimivampana. Tärkeimpien ominaisuuksien suhteen puomityypit luokituvat siis samalla tavalla. Muissa ominaisuuksissa paineilmatäytteinen puomi pärjää hieman paremmin. Taulukko ei huomioi puomien hankintahintaa mitenkään. Todellisuudessa puomeja hankittaessa on investoijan huomioitava hankinnasta, säilytyksestä ja kuljetuksesta aiheutuvat kustannukset ja nämä vaikuttavat lopulliseen hankintapäätökseen.

6.3 Matalat joet ja uomat

Matalissa uomissa puomivalintaan pitää kiinnittää erityistä huomiota. Matalan uoman vesimassa saattaa liikkua vain alle metrin syvyydessä uomassa. Korkean puomin helma saattaa ulottua 70 senttimetrin syvyyteen, jolloin puomi pakottaa puomin kohdalla uoman vesimassan virtauksen alle puoleen tilavuuteen entiseen verrattuna. Tämä aiheuttaa paljon turbulenssia ja kovan virtauksen. Puomi saattaa itsessään muodostaa tarkoituksettoman padon ja puomi ei kykene pidättämään öljylauttaa suunnitellusti. Mataliin vesiin valitun puomin helman syvyys ei saisi koskaan ylittää $1/3$ uoman syvyydestä, jotta pyörteiden voimakkuus ei kasvaisi niin suureksi, ettei puomi enää kykene pidättämään öljyä suunnitellusti. (Keränen 2018, 45.)

7 Öljypuomitukset joella

Öljypuomituksen yleisenä tarkoituksena on rajoittaa öljyn leviämistä. Öljypuomeja voidaan kuitenkin käyttää myös suojaamiseen, öljylautan ohjaamiseen ja rikastamiseen tarvittavaan kerättävään kerrospaksuuteen. Joella ja virtaavissa vesissä tapahtuvat puomitukset poikkeavat merkittävästi merellä tehtävistä puomituksista. Puomeilta vaadittavat ominaisuudet ovat erilaisia merelle vaadittaviin ominaisuuksiin verrattuna. Puomien ominaisuuksia käsitellään tarkemmin edellisessä osassa. Oikein valittu ja rakennettu puomitus rajoittaa tehokkaasti öljyn leviämistä, mahdollistaa tarvittaessa liikenteen sekä ohjaa öljylautan virran mukana keräyspisteeseen. (Fingas 2013, 83.)

7.1 Virran puomiin kohdistamat voimat

Vedessä olevaan puomiin kohdistuu erilaisia voimia. Näitä ovat aallokon, tuulen, virran tai puomin vetämisestä puomiin kohdistuvat voimat. Näistä merkittävin on virran tai puomin hinaamisen vaikutus puomiin. Voimia tarkasteltaessa on käytännössä merkityksetöntä, onko puomi paikallaan nopeudella x virtaavassa vedessä, tai hinataanko puomia nopeudella x paikallaan olevassa vedessä. Voimat ovat käytännössä samanlaisia.

Suurin puomiin kohdistuva voima syntyy siis veden alla puomin helman vastustaessa veden liikettä. Vastustava voima on suurin puomin ollessa kohtisuoraan virtausta vasten. Käytännössä puomi ei ole koskaan koko matkaltaan kohtisuorassa, vaan enemmän tai vähemmän U muotoisena. U muodostelmassa virtaa vasten tai nuottauksessa olevaa puomin muotoa voidaan kuvata aukkosuhteella. Aukkosuhde tarkoittaa puomin aukon leveyden suhdetta puomin kokonaispituuteen. Hinauksessa aukkosuhde on tyypillisesti noin 0,2-0,5. Eli 100 metrin pituisista öljypuomia käytettäessä vetävien alusten etäisyys toisistaan on 20-50 metriä. Tarvittavan hinausvoiman teoreettiseen laskemiseen on eri kirjallisuuslähteissä useita eri kaavoja, joiden antamat voimat vaihtelevat jopa moninkertaisesti (Kalervo 2015, 3). Hinausvoimia on

myös testattu ja mitattu erilaisissa olosuhteissa niin Suomessa kuin ulkomailla. Julkaisussa Estimation of Towing Forces on Oil Spill Containment Booms (1999) on testattu allasolosuhteissa virtauksen aiheuttamia voimia ja verrattu niitä aiempiin kirjallisuuslähteisiin, kuten julkaisun Response to Marine Oil Spills (ITOPF 1986) ja Robert Schulzen World catalog of oil spill response products (1995) julkaisun tietoihin. Tulokset ovat kaikki erilaisia, mutta saman suuntaisia.

Julkaisussa Use of Booms in Oil Pollution Response (ITOPF 2016, 6) on esitetty seuraavanlainen hyvin yksinkertaistettu kaava öljypuomiin kohdistuvan voiman laskemiseen virtaavassa vedessä:

$$F = 100 * A * V^2 \quad (4)$$

Jossa

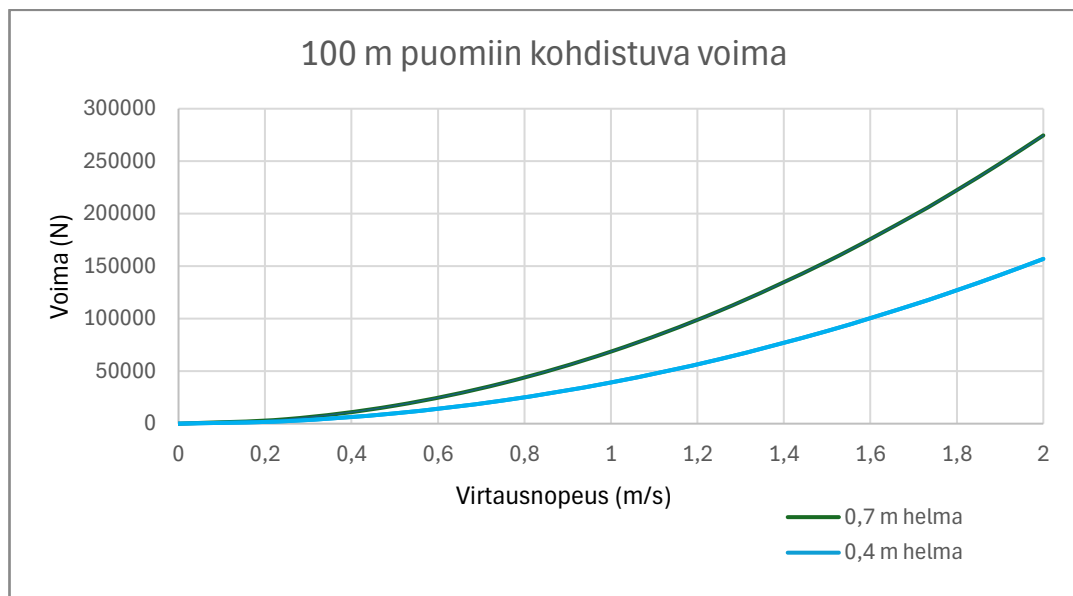
F on voima (kg)

A on helman korkeus (m) kerrottuna puomin pituudella (m)

V on virtausnopeus (m/s)

Kaava antaa voiman F epävirallisena kgf (kilogram force) yksikkönä. Kgf yksikkö voidaan muuttaa SI-järjestelmän mukaisesti newtoneiksi kertomalla saatu luku normaaliputoamiskiintyvyyden arvolla $9,80665 \text{ m/s}^2$, joka pyöristetään usein kahden desimaaliluvun tarkkuuteen, eli arvoon $9,81 \text{ m/s}^2$.

Kuvio 2. Puomiin kohdistuva voima virtaavassa vedessä.



Kuviossa 2 on laskettu 100 metriä pitkään puomiin kohdistuvia voimia 0,4 metrin sekä 0,7 metrin helmasyvyydellä virtaavassa vedessä. X-akselilla on esitetty virtausnopeus (m/s) ja Y-akselilla voima (N). Kuten kuvaajasta nähdään, virtausnopeuden kasvaessa kaksinkertaiseksi, puomiin kohdistuva voima kasvaa nelinkertaiseksi.

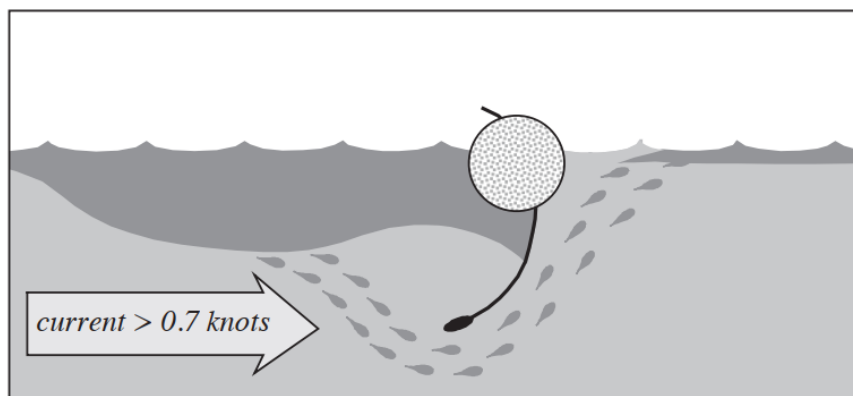
7.1.1 Nuottaaminen virtaavassa vedessä

Esimerkiksi 100 metriä pitkällä puomilla helman syvyyden ollessa 0,7 metriä ja virtausnopeuden ollessa 1 m/s, puomiin kohdistuva voima on noin 69000 N. Kaava ei ota huomioon nuotatessa aukkosuhdetta tai onko puomi asennettu U muotoisesti virtaavaan veteen. Nuottaamisessa puomin pituuden sijaan kannattaa käyttää nuottaavien alusten etäisyyttä toisiinsa. Nuotatessa tai puomia vedettäessä virtaavassa joessa aluksen laskennallinen tehontarve on yksi kilowatti 267 newtonia kohden (ITOPF 2016, 7). 100 metriä pitkän puomin paikallaan pitämiseen 1 m/s virtaavassa vedessä tarvitaan siis vähintään 257 kilowatin tehoinen öljyntorjunta-alus. Mikäli puomia haluttaisiin liikuttaa tässä virrassa lisäksi 0,5 m/s vastavirtaan tarvittaisiin tehoa vähintään 579 kilowattia.

Jokialueilla käytettävät öljyntorjunta-alukset ovat tyypillisesti enintään muutaman sadan kilowatin tehoisia. Nuottaaminen virtaavassa vedessä on erittäin haastavaa, vaarallista ja epäonnistumisen mahdollisuus on suuri. Öljypuomin öljynpidätyskyky ylittyy helposti ja öljyntorjunnalliset tulokset ovat heikkoja. Nuottaamista virtaavissa vesistöissä kannattaa käyttää hyvin harkiten tai välttää kokonaan.

7.2 Kriittinen virtausnopeus

Virtaavaan veteen öljypuomia asennettaessa on tärkeä huomioida, ettei öljypuomin rakenteellinen kyky pidättää öljyä ylity. Pistettä, jossa öljynpidätyskyky menetetään, kutsutaan kriittiseksi nopeudeksi (critical velocity) (ExxonMobil 2014, 5-7; Fingas 2013, 83). Yleisesti ottaen kriittinen nopeus ylitetään, jos virtausnopeus puomin suhteen kasvaa suuremmaksi kuin 0,5 m/s. Kriittisen pisteen ylittyessä puomia vasten pakkautunut öljy alkaa turbulenssin vaikutuksesta pisaroitumaan virtaavaan vesimassaan ja pääsee karkaamaan puomin alitse. (Fingas 2013, 83.)



Kuva 7. Kriittisen nopeuden ylittyminen (ExxonMobil 2016, 5.7).

Puomin helman syvyyden kasvattaminen ei ole ratkaisu puomin öljynpidätyskyvyn parantamiseen nopeasti virtaavassa vedessä. Ilmiö liittyy enemmän vesimassan liikenopeuteen kuin vesimassan matkaan helman alitse. Suurempi veden alla oleva helma tarkoittaa suuremman vesimassan

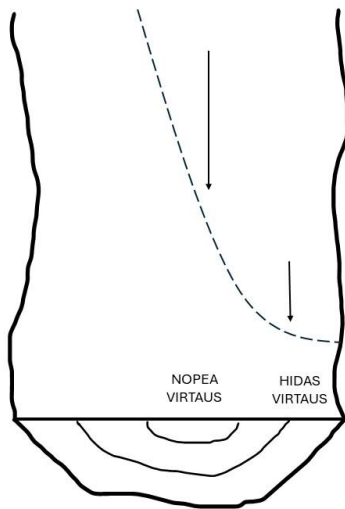
ahtautumista puomin alitse. Turbulenssin kasvaessa öljyn ja veden tiheysero sekä nesteiden pintajännitys ei kykene pitämään nestefaaseja erillään, jolloin öljy pisaroituu veden mukana puomin väärälle puolelle (Fingas 2013, 87-88). Epäonnistuneen puomituksen seurauksena on yleensä havaittavissa öljyvuotoa puomin takana. (Kuva 8.)



Kuva 8. Epäonnistunut puomitus (Kukhmar 2020).

7.3 Puomituksen kulman ja puomitarpeen määrittäminen virtaavaan veteen

Kuvasta 8 voidaan havaita, miten kriittinen nopeus on ylittynyt ja puomi vuotaa öljyä. Öljypuomi on asetettu liian suureen kulmaan virtaan nähden. Kuvan yläosassa sijaitsevan rannan lähellä puomi on virtaan nähden suuremmassa kulmassa ja öljyvuoto on vähäisempää, myös puomin rantakiinnitys näyttää tiiviimmältä. Puomin asettaminen riittävän suureen kulmaan virtaan nähden vähentää puomiin kohdistuvaa suhteellista virtausnopeutta. Suurissa virtausnopeuksissa puomi tulee asettaa lähes virran suuntaisesti. Luvun 4.1.1 mukaisesti, veden virtausnopeus on uoman keskellä nopeampaa ja rannan lähellä hitaampaa. Tätä tietoa voidaan hyödyntää puomitusta tehdessä. Öljypuomi voidaan asettaa uoman keskellä pieneen kulmaan ja rannan lähellä suurempaan kulmaan, ilman että kriittinen nopeus ylittyy. (Kuva 9.)



Kuva 9. Puomituksen kulma joen eri kohdissa.

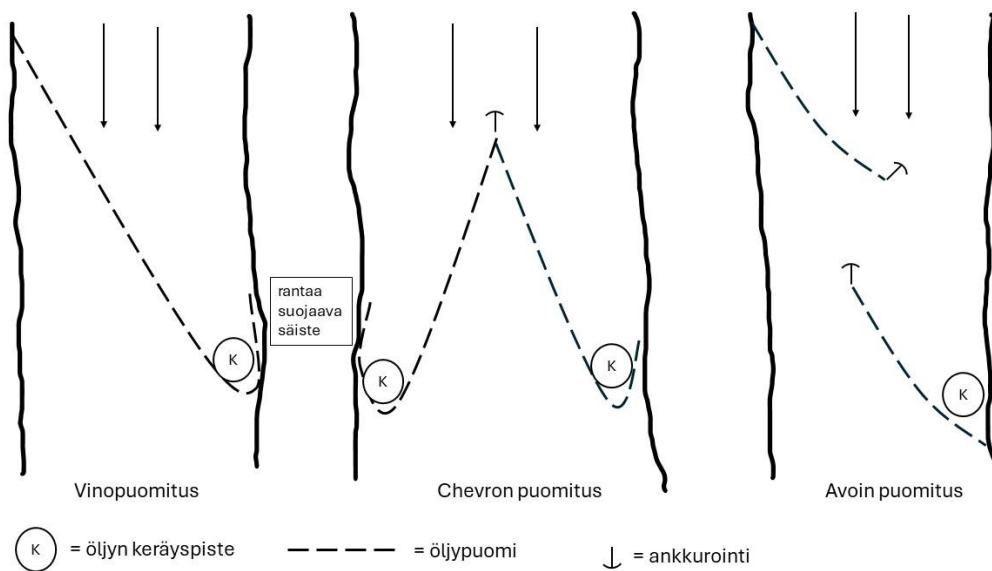
Turvallisen puomikulman ja puomitarpeen määrittämiseen eri virtausolosuhteisiin on laadittu taulukko. Taulukon 3 ensimmäisessä sarakkeessa on virtaus ja toisessa sarakkeessa tarvittava puomikulma, jotta öljypuomin kriittinen nopeus ei ylitä. Puomin tarvetta ei koskaan voi mitoitaa täysin vastaamaan kiinnityspisteiden etäisyyttä, vaan puomi elää hieman olosuhteiden, kuten tuulen ja virran mukana. Kiinnityspisteiden väliseen etäisyyteen on laskettu 1,2-kertainen toimintavara. Kolmannessa sarakkeessa on laskettu kulmaan asetetun puomin pituuden kerroin joen leveyden suhteen eri virtausnopeuksilla. Viimeisessä sarakkeessa on esimerkkilaskelma 100 metriä leveän joen öljypuomin vähimmäispituudesta eri virtausnopeuksilla.

Taulukko 3. Puomin kulma ja pituus eri virtausnopeuksilla (Fingas 2013,84).

Virtaus (m/s)	Kulma virtaan nähden	Tarvittavan puomimäärän kerroin	100 m leveään jokeen tarvittava puomimäärä (m)
0-0,5	90-75	1,2-1,25	125
0,6	60	1,4	140
0,7	45	1,7	170
0,9	35	2,1	210
1,9	15	4,6	460

7.4 Puomitustaktiikat

Onnistunut öljypuomitus on onnistuneen öljyvahingontorjunnan perusteita. Öljypuomituksen tekemisessä pitää ottaa huomioon ympäristön vaatimukset, kuten virran nopeus, uoman geometrinen profiili, mutkat, sekä mahdollinen jokiliikenne. Voidaan helposti ajatella, että tehokkain tapa olisi pysäyttää virran mukana kulkeutuva öljy joessa olevaan kapeikkoon. Todellisuudessa asia on yleensä päinvastoin. Öljypuomitukset kannattaa tehdä joen leveimpään kohtaan, jossa virtaus on pienin ja jossa mahdollisesti esiintyviä suvantopaikkoja voidaan käyttää öljyn keräämiseen. Kuvassa 10 on esitetty erilaisia puomitusmalleja joella käytettäväksi.



Kuva 10. Esimerkkejä joella tehtävistä puomituksista (Hansen 2001, 13-19).

Vasemmanpuoleinen vinopuomitus on ehdottomasti käyttökelpoisin puomitustyyppi useimpiin tapauksiin. Puomin kulmalla virran suhteen saadaan puomin öljynpidätyskykyä parannettua, kuten edellisessä luvussa käsitelimme. Vinopuomitus ohjaa kerättävän öljyn yhteen pisteeseen rannan tuntumaan, josta öljy voidaan kerätä skimmerillä varastosäiliöön.

Mikäli mahdollista, kannattaa puomituksessa huomioida kuvissa 10 ja 11 esitetty säiste. Säisteen käytössä puomi kiinnitetään rantaan noin 10-20 metriä puomin päästä ja puomin pää tuodaan ylävirtaan. Näin puomista syntyy umpiperä. Mikäli säistettä ei käytetä, muodostuu rannan ja puomin pään väliin vaikeasti hallittava kohta, josta öljy pääsee mahdollisesti karkaamaan. Säiste estää rannan kontaminoitumisen puomitukseen kerättävällä öljyllä. Matalilla rannoilla säisteen käyttö on vaikeampaa, koska puomi helposti kaatuu. Silloin kannattaa käyttää erityisesti matalille rannoille suunniteltua rannansuojapuomia, tai tilkitä puomin ja rannan yhtymäkohta imeytyspuomilla.

Kuvassa 10 keskellä on Chevron-puomitus. Tämä puomitusmalli on käyttökelpoinen silloin, kun vinopuomitusta ei pystytä käyttämään rannan muodon ja mahdollisten kiinnityspisteiden puuttumisen vuoksi. Chevron-puomituksessa puomi ankkuroidaan keskikohdalta, jotta öljy ohjautuu rantaan ja kriittinen nopeus ei ylity. Chevron-puomituksen heikkoutena on öljyn ajautuminen kahteen eri keräyspisteeseen ja mahdollinen ankkuroinnin pitävyys.

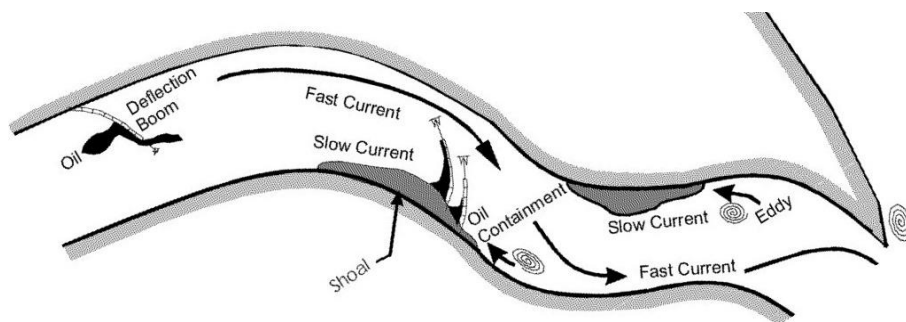
Kuvassa 10 oikealla on avoin puomitus. Avointa puomitusta on syytä käyttää silloin, kun joki on pidettävä avoimna liikenteelle. Avoin puomitus mahdollistaa öljyntorjunta-alusten helpomman liikkumisen torjunnan kohteena olevan joen eri kohtiin.

Kuvassa 11 on esimerkki vinopuomituksen käytöstä. Pitkällä puomitusmatkalla puomia on usein syytä tukea ankkuroinnilla tai rannalle vedetyillä puomiköysillä, jotta pussia ei pääse syntymään puomin keskivaiheilla, vaan öljy ohjautuu hallitusti puomituksen päähän. Kuvassa näkyvä säiste estää öljyn karkaamisen vinopuomituksen ja rannan välistä. Säiste suojaa myös rantaa kontaminoitumiselta. Vinopuomituksen päässä olevaan "taskuun" kerääntynyt öljylautta on paksuuntunut ja mahdollista kerätä talteen skimmerillä.



Kuva 11. Vinopuomitus (Russian Marine Rescue Service 2020).

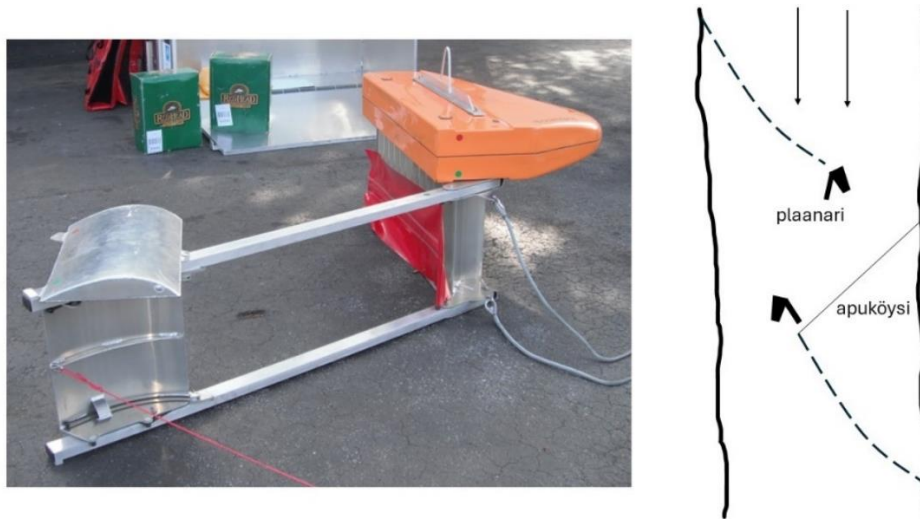
Mutkaisilla jokiosuuksilla virtausten huomioiminen ja suuntauspuomien käyttö korostuu. Mikäli öljylautan optimaalinen pysäytys- ja keräyspaikka löytyy mutkan jälkeen, kannattaa öljylautta pyrkiä suuntaamaan sisäkaarteeseen. Sisäkaarteessa virtaus on hitaampaa, joten öljyn pysäytys ja keräys on helpompaa. (Kuva 11) (Hansen 2001, 12.)



Kuva 12. Mutkittelevat joet (Hansen 2001, 12).

Päistään avoimien- ja suuntauspuomien käytössä voidaan hyödyntää öljyntorjuntaan suunniteltua plaanaria. (Kuva 13.) Plaanari on suunniteltu niin, että virtaavassa vedessä se muodostaa sivulle vetävän voiman ja puomiin kiinnitettynä sillä saadaan vetoa haluttuun suuntaan. Kuvassa 12 oikealla on

hahmoteltu, miten plaanaria voidaan käyttää omana vetävänä yksikkönään tai apuköyden avulla. Plaanari vaatii toimiakseen tyypillisesti vähintään 0,5 m/s virtauksen (Hansen 2001, 12).



Kuva 13. Plaanari (CCA n.d.). Oikealla oma hahmotelma plaanarin käytöstä.

7.5 Öljypuomin ankkurointi

Ankkuroinnin tarkoituksena on jakaa virtauksesta puomiin kohdistuvaa rasiitusta tasaisemmin puomin matkalle. Ankkuroinnilla voidaan varmistaa myös öljypuomin suunniteltu toimivuus valitun torjuntapuomituksen mukaan niin, että öljy ohjautuu haluttuun suuntaan, eikä turhia pusseja pääse muodostumaan. Virtaavassa vedessä virta määrittää yleensä puomin asettumissuunnan, tuulen ja aallokon vaikutuksen ollessa vähäisempi. Virran takia ankkurointi tehdään useimmiten ylävirran puolelle. Virran suuntaisesti tehty puomitus, kuten rannan suojaus vaatii puomin molempien puolisen ankkuroinnin. Kapeissa uomissa ankkuroinnin sijaan kannattaa suosia rantaan vedettyjä apuköysiä, koska niiden hallinta ja säätö on helpompaa. (Hansen 2001, 71).

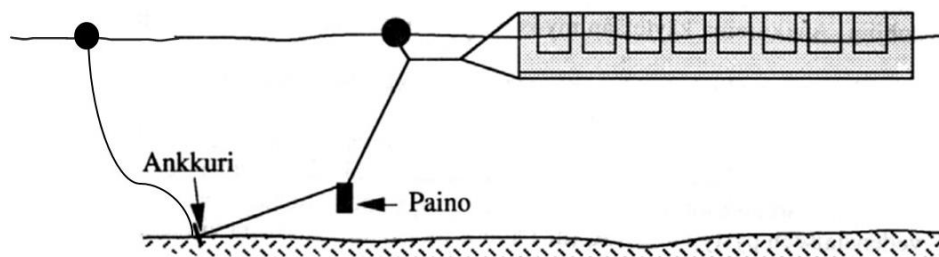
Ankkurityyppejä on lukuisia erilaisia. Kuokka- tai levyankkuri soveltuu parhaiten pehmeisiin pohja materiaaleihin ja merimiesankkuri kivikkoisiin pohjiin (Keränen 2018, 25). Ankkurin pitävyyteen vaikuttaa oleellisesti pohjan materiaali, valittu ankkurityyppi, ankkuriköyden pituus, oikea ankkurointitapa ja näiden lisäksi

ankkurin koko ja paino. Ankkurin koon vaikutusta pitokykyyn erilaisissa pohjamateriaaleissa on kuvattu taulukossa 4.

Taulukko 4. Ankkurin koon vaikutus pitokykyyn (ExxonMobil 2014, 5.29).

Ankkurin paino (kg)	Ankkurin pitovoima (N)		
	Muta	Hiekka	Savi
15	2000	2500	2900
25	3400	3900	4900
35	5900	6900	6900

Kuvassa 14 on havainnollistettu puomin ankkurointi. Puomi on yleensä syytä ankkuroida puomiin merkitystä ankkurointipisteistä. Puomin päästä ankkuroidessa kannattaa puomin vetopää jättää paikoilleen ja käyttää sitä ankkurointipisteenä.



Kuva 14. Puomin ankkurointi (Keränen 2018, 26).

Ankkuriköyden tulee olla pituudeltaan 3-5 kertaa veden syvyys. Riittävän pitkä ankkuriköysi takaa ankkurille optimaalisen kulman pureutua uoman pohjamateriaaliin ja varmistaa ankkurin pitävyyden. Loivassa kulmassa puomia pitävä köysi ei aiheuta puomiin alaspäin vetävää voimaa, joka saisi puomin vajoamaan veden pinnan alapuolelle. Alaspäin vetävää voimaa hallitaan myös kuvassa 14 näkyvällä puomipoijulla. Kuvassa oleva paino muuttaa ankkuriin kohdistuvaa vetokulmaa sekä pehmentää aallokon ja virran vaikutuksesta ankkuriin kohdistuvia iskuja. Kuvan paino on käytännössä korvattu useimmissa tapauksissa raskaalla ankkurikettingillä. Ankkurin perään on syytä asentaa peräköysi ja poiju. Peräköysi mahdollistaa ankkurin paikan muuttamisen laskun jälkeen ja helpottaa ankkurin ylös nostamista. (Hansen 2001, 71.)

8 Öljyn kerääminen

Öljyn keräämisen päätarkoitus on estää lisävahinkojen syntyminen ja mahdollistaa vahinkoalueen toipumisen alkaminen. Tähän päämäärään päästään mahdollisimman tehokkaalla öljyn poistamisella luonnosta erilaisia apuvälineitä käyttäen. Öljyn kerääminen voidaan jakaa karkeasti kahteen eri menetelmään. Keräysmenetelmät ovat öljyn kerääminen mekaanisilla välineillä ja öljyn imeyttäminen imeytysmateriaaleihin. Raskasta polttoöljyä voidaan kerätä rannoilta mekaanisesti lapiolla ja ämpärillä. Kevyiden öljyjakeiden keräämiseen tarvitaan erityisesti niiden keräämiseen suunniteltuja laitteita tai imeytysmateriaaleja. Öljyn kerääminen tulee aloittaa mahdollisimman nopeasti vuodon tapahduttua, koska öljy alkaa haihtumaan, dispersoitumaan sekä mahdollisesti uppoamaan, kuten luvussa 3 on esitetty.

Tarkoituksenmukaisimman keräystavan valintaan vaikuttavat sääolosuhteet, virtaus, vuodon määrä ja öljyn laatu. Yleensä eri keräystapoja yhdistellään parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi.

8.1 Mekaaniset keräimet

Mekaaniset keräimet eli skimmerit ovat erityisesti öljyn keräämiseen vedenpinnalta suunniteltuja laitteita. Skimmereitä vertailtaessa, ne voidaan jakaa erilaisiin luokkiin niiden rakenteen ja toimintaperiaatteen mukaan. Tyypillisimmät luokat ovat imu-, kaulus- ja oleofiiliset keräimet. Näitä skimmereitä saa aluksiin rakennettuina, työkoneiden lisälaitteina, tai omatoimisina yksiköinä. Joissakin skimmereissä on säilytystilaa kerätylle öljylle, ja jotkut näistä laitteista sisältävät myös muita varusteita, kuten erotuslaitteita kerätyn öljyn käsittelyä varten. Skimmerin tehokkuutta arvioidaan sen perusteella, kuinka paljon öljyä se kerää, sekä kuinka paljon vettä se poimii öljyn mukana. Valmistajien ilmoittamia lukuja voidaan käyttää eri laitteita vertailtaessa, mutta ei kuitenkaan toteutunutta keräysmäärää laskettaessa. (ExxonMobil 2014, 9.2; Fingas 2013, 97-98.)

8.2 Imu- ja kauluskeräimet

Imu- ja kauluskeräimet ovat saman tyyppisiä laitteita. Skimmeri asetetaan veden pinnalle ja se kelluu tyypillisesti kellukkeiden varassa. Kuvassa 15 vasemmalla on esitetty tyypillinen imukeräin ja oikealla kauluskeräin. Imukeräin kelluu veden pinnalla kellukkeen tai kelluvan materiaalin avulla. Keräimen suuaukko on lähellä pintaa, pyrkien imemään veden pinnalla kelluvan öljykalvon. Imukeräin on tyypillisesti yhdistetty alipaineputkella imuautoon tai imupumppuun. Kauluskeräimessä toimintaperiaatteena on hyvin lähellä veden pintaa, veden ja öljyn rajapinnassa oleva kaulus. Kauluksen tarkoituksena on päästää veden pinnalla oleva öljy valumaan painovoiman vaikutuksesta keräyssumppuun, pitäen kuitenkin vesi skimmerin ulkopuolella. Kauluskeräin kelluu tyypillisesti kolmen kellukkeen varassa ja keräyssyvyys on säädettävissä tai itsellään säätävä. Kauluskeräin voi olla imukeräimen tavoin liitettynä imuputkeen, tai siinä voi olla itsessään pumppu, joka työntää kerätyn öljyn erotus- tai varastointisäiliöön. (Fingas 2013. 106-107.)



Kuva 15. Imu- ja kauluskeräin (ITOPF 2014, 5).

Imu- ja kauluskimmerit ovat parhaimmillaan kevyitä öljyä kerätessä. Niiden etuina on keräimien yksinkertainen rakenne, edullinen hankintahinta ja keräystehokkuus tyynessä vedessä. Aallokossa tämän tyyppisten keräimien tehokkuus heikkenee selvästi, koska heilunta lisää veden määrää merkittävästi

kerätyssä öljyssä. Imu- ja kauluskeräimet ovat herkkiä myös roskille ja jäälle. Roskat tukkivat helposti öljyn reitin keräimeen ja pahimmassa tapauksessa kauluskeräimen öljypumpun. Kiintoaineiden haittaa vastaan on kehitetty erilaisia säleiköillä varustettuja keräimiä, joilla keräimen toimintaa voidaan parantaa roskaisessa ympäristössä. Korkea viskoosista öljyä, kuten raskasta poltto- tai raakaöljyä kerätessä tämän tyyppiset keräimet toimivat heikosti. Paakkuuntunut öljy ei pääse valumaan kauluskeräimen reunan yli tai kulkeutumaan imukeräimen ahtaita öljykanavia pitkin. (Fingas 2013, 107-108.)

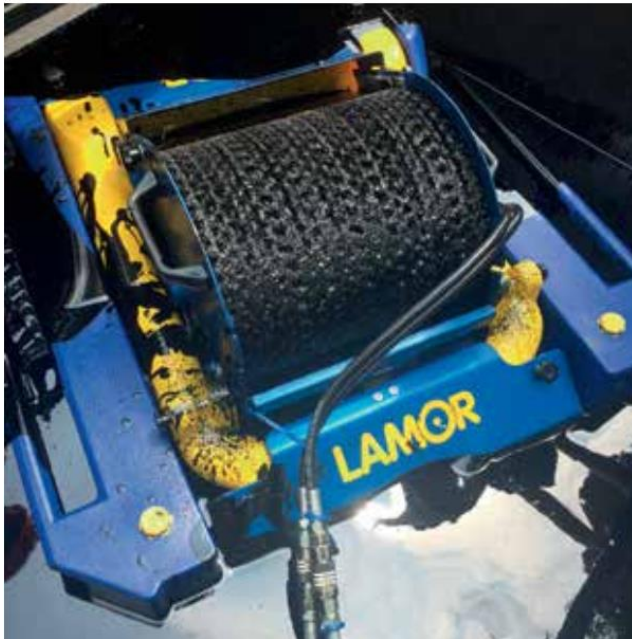
8.3 Oleofiiliset keräimet

Oleofiillisten keräimien toiminta perustuu vedenpinnalla kelluvan öljyn tarttumiseen keräimen liikkuvaan tartuntapintaan, sen liikkuesssa öljykalvon läpi (Halonen, 2023). Oleofiilinen tarkoittaa öljy sitovaa. Tämä oleofiilinen pinta voi olla levy, rumpu, hihna, harja tai köysi. Levyjen ja rumpujen pintamateriaali on tyypillisesti alumiinia, terästä, kangasta tai muovia, kuten polypropeenaa tai polyvinyylidikloridia. Harjat ja köydet ovat valmistettu tyypillisesti muovista. Öljy poistetaan tartuntapinnasta kamman tai kaavinlevyn avulla. Pinnasta irrotettu öljy valuu keruualtaaseen, josta se pumpataan säiliöön. Oleofiiliset skimmerit poimivat hyvin vähän vettä verrattuna kerättyyn öljymäärään, mikä tarkoittaa, että niillä on korkea öljy-vesi keruusuhde. Ne toimivat imu- ja kauluskeräimiä tehokkaammin ohuilla öljykalvoilla. Ne eivät ole yhtä alttiita jäälle sekä roskille, kuin muut keräintyyppit. Nämä skimmerit toimivat parhaiten kevyillä raakaöljyillä, vaikka niiden soveltuvuus eri öljytyypeille vaihtelee keräimen suunnittelun ja käytetyn oleofiilisen pinnan mukaan. (Fingas 2013, 99.)

8.3.1 Rumpukeräimet

Rumpukeräin on erittäin tyypillinen keräintyyppi. (Kuva 16.) Rumpuskimmerit voivat olla itsenäisesti vedessä kelluvia yksiköitä tai esimerkiksi hydrauliseen varteeseen kiinnitettyjä. Satamissa ja sisävesillä yleisin käytetty malli on vapaasti kelluva ja helposti siirrettävä keräin (Lamor 2019, 11). Rumpu on voitu

valmistaa teräksestä, muovista tai olla pinnoitettu öljyä imevällä kankaalla. Myös harjaskimmeri voidaan luokitella rumpukeräimeksi, jossa tyypillisesti muovista valmistetut harjakset muodostavat keräävän rummun. Eräissä keräinmalleissa rumpu voi olla vaihdettava, jolloin sen soveltuvuutta voidaan laajentaa eri öljytyypeille. Kangas- tai sileäpintainen rumpu toimii paremmin polttoaineiden ja kevyempien raakaöljyjen keräämiseen. Vaihdettava harjaksilla varustettu rumpu kerää tehokkaammin raskaat öljyjakeet ja paakkuuntuneen öljyn. (Fingas 2013, 99.)



Kuva 16. Rumpukeräin (Lamor 2019, 11).

8.3.2 Levykeräimet

Levyskimmeri on rumpukeräimen tyyppinen öljynkeräyslaite. Levyskimmerissä rinnakkain asennetut levyt muodostavat eräänlaisen öljykalvossa pyörivän rummun. (Kuva 17.) Levyt on yleensä valmistettu joko polyvinyylidikloridista tai teräksestä. Levyskimmerit toimivat parhaiten kevyillä raakaöljyillä, mutta huonommin raskaiden öljyjen tai polttoaineiden kanssa. Ne soveltuvat hyvin tyyniin vesistöihin, mutta sietävät roskia hieman paremmin kuin rumpukeräimet.

Nämä skimmerit ovat yleensä pienikokoisia ja niitä voidaan käyttää yhden tai kahden henkilön toimesta. (Fingas 2013, 99.)



Kuva 17. Levykeräin (Fingas 2013, 100).

8.3.3 Köysikeräimet

Köysikeräimet ovat keräintyyppi, jossa pitkät yleensä polypropeenista valmistetut köydet muodostavat silmukan. (Kuva 18.) Köysiä liikutetaan öljykalvossa ja pintaan tarttunut öljy harjataan köydestä keruualtaaseen ja pumpataan varastosäiliöön. Kuvan 18 mukaisesti köysiskimmerit voivat olla suunniteltu toimimaan horisontaalisesti tai vertikaalisesti. Vertikaaliset keräimet ovat tavallisesti liitettynä hydrauliseen varteen. Horisontaaliset keräimet käyttävät yleensä rantaan tai pohjaan ankkuroitua rullalaitetta, jonka kautta köysi kulkee. Horisontaalisen köysikeräimen rakenteen ansiosta, niitä voidaan käyttää myös pienissä öljyntorjunta-aluksissa. Köysikeräimet ovat parhaimmillaan keskiraskaita öljyjä kerätessä ja toimivat kohtalaisen hyvin roskaisessa ja jäisessä ympäristössä. (Fingas 2013, 102.)



Kuva 18. Köysikeräin (ITOPF 2014, 4).

8.3.4 Hihnakeräimet

Hihnakeräimet ovat rakenteeltaan suurikokoisia ja tyypillisesti rakennettu osaksi öljyntorjunta-alusta. Useimmat hihnakeräimet toimivat liikkumalla öljykalvon läpi ja nostamalla öljyä ylöspäin veden pinnalta keräyskaukaloon. Hihnaan tarttunut öljy irrotetaan hihnasta kaapimen avulla. Hihnan liike veden läpi ohjaa kuitenkin öljyä kauemmas skimmeristä. Tästä syystä öljykalvoa on liikutettava kohti skimmeriä esimerkiksi vesisuihkun avulla, tai liikuttamalla keräävää alusta. Yhtenä ratkaisuna on myös suunniteltu säleikkömäisiä hihnoja, joissa vesi virtaa hihnan läpi, öljymäisen aineen tarttuessa hihnaan. Eräissä keräinmalleissa hihnan materiaali on vaihdettavissa, jolloin eri öljylaatujen keräystehokkuus paranee. Hihnakeräimet soveltuvat hihnämateriaalin mukaan kevyistä öljy-laaduista raskaisiin öljy-laatuihin, aina niin kutsuttuihin tervapalloihin asti. (Fingas 2013, 99.)



Kuva 19. Hihnakeräin (Elastec n.d.).

8.4 Imeytyspuomit

Imeytyspuomeja käytetään tyypillisesti maltillisten öljyvotojen torjunnassa ja torjunnan loppuvaiheessa, jolloin öljykalvo on ohut. Imeytyspuomeja voidaan käyttää tilkitsemään rajaustuomien aukkoja ja lisävarmistuksena mahdollisille rajaustuomien vuotoille. (Fingas, 2013. 111.) Imeytyspuomien ja vastaavien välineiden, kuten imeytysmattojen ja -tyynyjen käyttö on yksinkertaista sekä nopeaa. Imeytysmateriaalit imevät varsinkin polttoainetta nopeasti itseensä. Tästä syystä imeytyspuomien käyttöä kannattaa harkita suurissakin öljyvahingoissa, jos torjuntatyöhön mahdollisesti käytettävissä oleva aika on hyvin rajallinen. Tällaisia syitä voisi olla virtaamaan äkillinen lisääntyminen tulevien rankkasateiden takia tai sään tuleva kylmeneminen ja vesistön jäätyminen. Haittapuolena imeytyspuomien käytölle suuressa vuodossa voidaan pitää niiden suhteellisen korkeaa hintaa verrattuna pieniin skimmereihin, sekä suurta syntyvää jätteen määrää. Imeytyspuomit ovat valmistettu vettä hylkivistä sekä öljyä imevistä materiaaleista. (ExxonMobil 2014, 10.2.)

Öljyn imeytykseen tarkoitetuissa Imeytyspuomien valmistuksessa käytetään pääosin kahta eri materiaalia, polypropeenä ja kivivillaa. Polypropeeni on muovikuitua, joka nykyisin on usein kierrätysmateriaalista valmistettua.

Polypropeenikuidulla on erittäin suuri imukyky ja se kykenee imemään jopa yli 20 kertaa oman painonsa verran öljyä. Muovin päätymistä luontoon pidetään epäekologisena, mutta toisaalta polypropeeni on inerttiä, eikä itsessään reagoi luonnossa muiden aineiden kanssa. Kivivillaa pidetään luonnollisempana ja ekologisempana materiaalina imeytyspuomeissa. Nämä imeytyspuomit ovat valmistettu pitkänmallisista kivivilla kuiduista. Puomia koossa pitävä sukka on kuitenkin useimmiten polypropeenistä. Kivivillasta valmistettu imeytyspuomi kykenee imemään 5-10 kertaa oman painonsa verran öljyä. Kivivillasta ja polypropeenista valmistetut imeytyspuomit ja -tyyny saattavat olla käsiteltyjä erilaisilla kemikaaleilla niiden öljyä imevien ja vettä hylkivien ominaisuuksien parantamiseksi. (ExxonMobil 2014 10.5.)

9 Loppupohdinta

Tämä opinnäytetyö on ollut kirjoittajalleen oppimisen prosessi. Mielestäni opinnäytetyölle asettamani tavoitteet ovat täyttyneet. Öljyntorjunta on laaja-alainen kokonaisuus, josta löytyy paljon varsinkin englanninkielistä lähdemateriaalia. Olen joutunut tähän opinnäytetyöhän tekemään jatkuvaa rajausta, jotta kaikki oleellinen asia olisi helposti ja riittävän käytännönläheisesti saavutettavissa. Olen joutunut tarkoituksellisesti rajaamaan jääolosuhteissa tehtävät torjuntatoimet opinnäytetyön ulkopuolelle. Ulkopuolelle olen jättänyt myös englanninkielisessä kirjallisuudessa öljyvahingontorjunnan toimenpiteinä esitetyt öljyn polttaminen ja dispersanttien käyttö. Dispersantit ovat öljyä pilkkovia kemikaaleja, joiden tarkoituksena on saattaa öljy muotoon, jossa öljyn biohajoaminen olisi nopeampaa. Suomalaisessa kirjallisuudessa ja tutkimuksessa dispersanttien ja polttamisen käyttö on mainittuina lähinnä sivulauseessa. Dispersanttien käyttö jakaa asiantuntijoiden mielipiteitä ja useimmissa kirjallisuuslähteissä mainitaan näiden kemikaalien mahdollinen lisäkuormitus luonnolle, myös puutteellinen tutkimustieto on usein mainittuna. Suomessa dispersanttien käyttö on ollut lain mukaan sallittu vain erityisluvalla.

Öljyn haitallisuuden takia öljyteollisuuteen liittyviä yrityksiä on veloitettu varautumaan öljyvahinkojen varalle. Öljyntorjuntaan liittyvä kirjallisuus ja ohjemateriaali on osittain tuotettu näiden yritysten ja osittain riippumattomien tutkijoiden toimesta. Omien havaintojeni mukaan yritysten tuottamassa materiaalissa esimerkiksi öljyn haihtumiselle annettavat ajat ovat optimistisempia, kuin tutkijoiden materiaaleissa. Myös dispersanttien käyttö nähdään positiivisemmassa valossa.

Öljyn kemia, biohajoaminen, öljyä hajottavat bakteerit, bakteerien lisääminen vahinkoalueelle, öljyn pilkkominen kemikaaleilla ja luonnon palautuminen olisivat jo yksittäisinä mielenkiintoisia opinnäytetyön aiheita, joihin voisi perehtyä syvällisesti ja yksityiskohtaisesti. Toivon opinnäytetyöni antaneen lukijalleen uutta tietoa ja näkemystä jokialueella tehtävästä öljyntorjunnasta sekä mahdollisesti mielenkiintoa perehtyä syvällisemmin johonkin aihealueeseen.

Lähteet

Altarriba, E. 2017. Öljyn leviämisen estimointi arviointitaulukoiden avulla osana operatiivista torjuntatyötä Saimaalla. Opinnäytetyö (AMK) Kotka: Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Viitattu 22.2.2024. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-043-2>.

Antikainen, J. ; Elina, A. ; Rannanpää, S. & Talvitie, J. 2019. Saaristo- ja vesistöaluepolitiikat Euroopassa -selvitys. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2019:1. Viitattu 16.2.2024. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-453-996-8>.

CCA, n.d. Clean Caribbean & Americas (CCA) and Oil Spill Response, Limited (OSRL). Viitattu 2.3.2023.

http://www.cleancaribbean.org/esg/cart_detail.cfm?x=32.

Chow, V.T. 1959. Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill Book Company. Viitattu 17.2.2024.

<https://heidarpour.iut.ac.ir/sites/heidarpour.iut.ac.ir/files/u32/open-chow.pdf>.

Earle, S. & Panchuk, K. 2019. Physical Geology - 2nd Edition. Victoria, BCcampus. Viitattu 18.2.2024. <https://opentextbc.ca/physicalgeology2ed/>.

Elastec, n.d. Öljyntorjuntaväline valmistajan internetsivu. Viitattu 2.4.2024. <https://www.elastec.com/products/oil-spill-skimmers/filterbelt-oil-skimmer/>.

ExxonMobil, 2014. Oil Spill Response Field Manual. ExxonMobil Research and Engineering Company. Viitattu 26.2.2024. https://corporate.exxonmobil.com/-/media/global/files/risk-management-and-safety/oil-spill-response-field-manual_2014.pdf.

Fingas, M. 2013. The Basics of Oil Spill Cleanup. Third edition. Taylor & Francis Group. CRC Press.

Fingas, M. 2015. Handbook of oil spill science and technology. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Halonen, J. 2023. Hallittu keräystyö öljyvahingossa. Xamk READ Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotyön verkkolehti. 1/2023. Viitattu 31.3.2024. <https://read.xamk.fi/2023/logistiikka-ja-merenkulku/hallittu-keraystyo-oljyvahingossa/>.

Hansen, K. 2001. Oil Spill Response in Fast Currents - A Field Guide. U.S. Coast Guard Research and Development Center. Viitattu 28.2.2024. <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA400660.pdf>.

Hrissanthou, V. 2022. Research on Hydraulics and River Dynamics. Viitattu 18.2.2024. [https://www.mdpi.com/journal/water/special issues/Hydraulics River](https://www.mdpi.com/journal/water/special%20issues/Hydraulics%20River).

IOGP, 2015. Report Number 518. Aerial observation of oil spills at sea. Viitattu 12.3.2024. <https://www.ipieca.org/resources/aerial-observation-of-oil-spills-at-sea>.

ITOPF, 2014. Tip 5. Use of skimmers in oil pollution response. Viitattu 31.3.2024. https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/TIPS_TAPS_new/TIP_5_Use_of_Skimmers_in_Oil_Pollution_Response.pdf.

ITOPF, 2016. Tip 3. Use of Booms in Oil Pollution Response. Viitattu 26.2.2024. https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/TIPS_TAPS_new/TIP_3_Use_of_Booms_in_Oil_Pollution_Response.pdf.

Kalervo, J. 2015. PM. Puomin vetolujuus ja hinausvoimat. Suomen ympäristökeskus. Viitattu 26.2.2024. <http://wwwi.ymparisto.fi/boris/Puomin-vetolujuus-ja-hinausvoimat-2014korjattu.pdf>.

Keränen, O. & Kalervo, J. 2018. Öljyvuomiopas. Öljyntorjuntarajoituspuomien määrittely sisävesi- ja rannikkoalueilla. Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2018. Viitattu 19.2.2024 <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161241>.

Kukhmar, K. 2020. Toxic Spill Kills 95% Of Marine Life In Russian Region Close To Alaska. Forbes.com. Viitattu 26.2.2024. <https://www.forbes.com/sites/nishandegnarain/2020/10/16/toxic-spill-kills-95-of-marine-life-in-russian-region-close-to-alaska/>.

Laki öljysuojarahastosta 30.12.2004/1406

Lamor, 2019. Lamor ProductReel. Painettu markkinointimateriaali.

Lewis, A. 2007. Current status of the BAOAC. A report to the Netherlands North Sea Agency Directie Noordzee by Alun Lewis Oil Spill Consultant. Viitattu 22.2.2024. <https://www.bonnagreement.org/site/assets/files/3952/current-status-report-final-19jan07.pdf>.

Lukkari, K. 2012. Itämerellä tapahtuvien öljyvahinkojen ekologiset seuraukset. Suomen kansallinen toimintasuunnitelma. Ympäristöhallinnon ohjeita 6. Viitattu 13.3.2024.

https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/41548/OH6_2012_Ita_merella_tapahtuvien_oljyvahinkojen_ekologiset_seuraukset.pdf?sequence=2&isAllowed=y.

Malk, V. & Halonen, J. 2017. Öljyjen ja biopolttoaineiden käyttäytyminen ympäristössä ja torjunta vahinkotilanteissa. ÄLYKÖ loppuseminaari. Viitattu 13.3.2024. https://www.xamk.fi/wp-content/uploads/2017/01/ALYKO_biopolttoaineet_Malk-ja-Halonen.pdf.

Pelastuslaki 29.4.2011/379

Russian Marine Rescue Service, 2020. A Catastrophic Oil Spill Turns a Russian River Red. Popular Mechanics. Viitattu 1.3.2024.

<https://www.popularmechanics.com/science/environment/a32769626/bloody-russian-river-oil-spill/>.

Vesi.fi, 2021. Ohjekortti virtaaman mittaus. Viitattu 18.2.2024.

<https://www.vesi.fi/wp-content/uploads/2021/11/ohjekortti-virtaaman-mittaus.pdf>.