

Bilaga 6

Ekologisk riskbedömning

Bilagan är på finska och sammandragen på svenska finns i slutet av bilagan

Laine Offshore Wind Oy

Laineen merituulivoimapuistohanke, Perämeri Osa A: Merituulivoimapuisto ja energiansiirto Suomen talousvyöhykkeellä ja aluevesillä

Ekologinen riskinarviointi –

sedimentin haitta-aineet, läjityskelpoisuus ja vaikutukset hankkeen toteutettavuuteen

7.5.2024

Copyright © AFRY Finland Oy

Kaikki oikeudet pidätetään. Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman AFRY Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

AFRY Finland Oy:n projektinumero on 101017094-044.

Kuvien pohjakartat: Maanmittauslaitoksen peruskartta-aineisto, avoin data 2023, ellei toisin mainita.

Tekijät:

Sanna Haapasilta (FM, geologia), johtava asiantuntija

Milja Vepsäläinen (MMT Ympäristömikrobiologia), osastopäällikkö

Laadunvarmistus:

Anna Väisänen (FM, akvaattiset tieteet, kalabiologia), johtava asiantuntija

Lotta Lehtinen (MMM, limnologia), johtava asiantuntija

Karoliina Jaatinen (MMM, limnologia), johtava asiantuntija

AFRY Finland Oy
Tampellan esplanadi 2
FI-33100 Tampere
Finland
Kotipaikka Vantaa, Finland
Y-tunnus 0625905-6
Tel. +358 10 3311

www.afry.fi

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Kohdetiedot	5
2.1	Sijainti, koko ja rajaukset.....	5
3	Tehdyt tutkimukset.....	10
3.1	Yleistä	10
3.2	Pohjan laatu	10
3.3	Haitta-ainetutkimukset	11
3.3.1	Näytteenotto ja tutkitut parametrit	11
3.3.2	Normalisoidut pitoisuudet ja pitoisuustasojen luokittelu	11
3.3.3	Merituulivoimapuiston alue ja sen sisälle sijoittuvien meriläjitäysalueiden lähialueiden tutkimukset	12
3.3.4	Merituulivoimapuiston ja kaapeli-/vetyputkireittien tutkimuskäytävien ulkopuolelle sijoittuvat meriläjitäysalueet	15
3.3.5	Kaapeli- ja vetyputkireittien tutkimuskäytävät	17
3.3.6	Yhteenveto haitta-ainetutkimuksista	19
3.4	Veden laatu- ja virtausmittaukset	19
3.5	Pohjaeläintutkimukset	21
4	Ruopattavan sedimentin normalisoidut pitoisuudet ja läjitäyskelpoisuus	22
4.1	Ruopattavan sedimentin normalisoitujen pitoisuuksien laskenta	22
4.2	Sedimentin läjitäyskelpoisuuden pitoisuustasot alueittain	22
4.3	Eroosioherkkyys ja sen vaikutus läjitäyskelpoisuuteen.....	23
5	Käsitteellinen malli	25
6	Kriittiset haitta-aineet	27
6.1	Kriittisten haitta-aineiden valinta	27
6.1.1	Arseeni	27
6.1.2	Nikkeli	28
6.1.3	Kupari	28
6.1.4	Öljyhiilivedyt	29
6.1.5	Dioksiinit ja furaanit (PCDD/F)	29
7	Ekologiset riskit – laskennat ja viitearvovertailut	30
7.1	Menetelmät ja lähtöparametrit	30
7.2	Veteen muodostuvat haitta-ainepitoisuudet	31
7.3	Vesiympäristön viitearvot ja vertailu	33
7.3.1	Ekologiset viitearvot	33
7.3.2	Sedimentin haitta-ainepitoisuuksien vertailu ekologisiin viitearvoihin	34
7.3.3	Veteen liukenevien haitta-ainepitoisuuksien vertailu ekologisiin viitearvoihin	34
7.3.4	Lyhytaikaiset ekologiset riskit.....	37

7.3.5	Pitkäaikaiset vaikutukset	37
7.4	Sedimentin huokosvesi	37
8	Kiintoaineksen kulkeutuminen vesirakentamisen aikana ja sen jälkeen	38
8.1	Kiintoaineksen pitoisuudet vedessä vesirakentamisen aikana ja veden samentuminen	38
8.2	Kiintoaineksen uudelleen sedimentoituminen	39
9	Haitta-aineiden kulkeutuminen vesirakentamisen aikana	40
9.1	Merituulivoimapuiston alue	40
9.2	Kaapeli- ja vetyputkireittien tutkimuskäytävät.....	40
9.3	Läjitysalueet	41
9.3.1	Läjitystapahtuma	41
9.3.2	Läjityksen jälkeen	42
10	Merituulivoimapuiston alue - yhteenveto	42
11	Kaapeli- ja putkireittien tutkimuskäytävät sekä meriläjitysalueet -yhteenveto.....	45
11.1	Kaapeli- ja vetyputkireittien tutkimuskäytävät.....	45
11.2	Läjitysalueet	46
11.2.1	Merituulivoimapuiston ruoppausmassojen läjitysalue	46
11.2.2	Kaapeli- ja vetyputkireittien tutkimuskäytävien lähellä sijaitsevat läjitysalueet.....	47
12	Johtopäätökset ja yhteenveto.....	47
13	Sammandrag	52

Liitteet

Liite 1.....	Analyytitulokset
Liite 2.....	Öljyhiilivetyjen fraktioinnit
Liite 3.....	Metallien osittaisuutot
Liite 4.....	Normalisoidut pitoisuudet (0-30) cm
Liite 5.....	Läjituskelpoisuus tutkimuspisteittäin
Liite 6.....	Laskennallinen irtotiheys
Liite 7.....	Lisätutkimussuunnitelma

Kartat ja piirustukset

Piirustus 1 YMP101017094-044-1 Tutkimuspisteiden sijaintikartta, merituulivoimapuisto ja läjitysalueet sekä kaapeli- ja putkireitit

Piirustus 2 YMP101017094-044-2 Tutkimuspistekartta ja sedimentin läjituskelpoisuus

1 Johdanto

Kokkolan ja Pietarsaaren edustan talousvyöhykkeelle suunnitellaan Laine Offshore Wind Oy:n toimesta Laineen merituulivoimapuistoa. Hankealueelta ruopattavat sedimentit on suunniteltu läjitettäväksi merelle. Suunnittelualueella on tehty sedimentti-, virtaus- ja pohjaeläintutkimuksia vuosina 2022 ja 2023 Luode Consulting Oy:n toimesta.

Alueen sedimentit luokitellaan tutkimusten perusteella läjityskelpoisuuden osalta pääosin luokkiin 1, 1A ja 1B. Suunnittelualueella todettiin kuitenkin myös tason 1C ja 2 haitta-ainepitoisuuksia erityisesti pintasedimentissä sekä varsinaisen merituulivoimapuiston alueella että meriläjitysaluetarkastelussa olevilla alueilla.

Tässä arvioissa tarkastellaan Laineen merituulivoimapuiston ja siihen liittyvien kaapeli- ja putkireittien sedimenttien haitta-aineista mahdollisesti aiheutuvia kulkeutumis- ja ekologisia riskejä tulevassa käytössä vesirakentamisen sekä meriläjityksen osalta. Tarkastelussa arvioidaan sekä sedimenttiin sitoutuneiden että veteen kulkeutuvien haitta-aineiden vaikutuksia vesiympäristön eliöstöön vertailemalla haitta-ainepitoisuuksia ekologisiin viitearvoihin. Haitta-aineiden liukenemista sedimentistä veteen on arvioitu laskennallisesti. Arvion lähtökohtana on, että hankealueen pehmeät sedimentit poistetaan. Mikäli teknisenä vaihtoehtona on ruoppaus, ruoppausmassat pyritään sijoittamaan meriläjitysalueille. Lisäksi tarkastellaan hankealueen suunniteltujen läjitysalueiden soveltuvuutta. Tarkastelussa arvioidaan myös ruopattavien sedimenttien läjityskelpoisuutta.

Työn tilaajana on Laine Offshore Wind Oy.

2 Kohdetiedot

2.1 Sijainti, koko ja rajaukset

OX2:en ja Ingka Investmentsin omistama Laine Offshore Wind Oy suunnittelee merituulivoimahanketta Pietarsaaren edustan merialueelle Suomen talousvyöhykkeelle. Hankealue sijaitsee noin 30 kilometriä Pietarsaaresta länteen 29 kilometrin päässä rannikosta. Merituulivoimapuiston alue on laajuudeltaan noin 450 km², ja sen syvyys vaihtelee 18–70 metrin välillä. Hankkeessa suunnitellaan lisäksi vedyntuotantoa merellä. Hankkeen YVA-menettely käsittää merituulivoimapuiston, vedyntuotannon merellä, alueen sisäinen merikaapeloinnin ja vetyputkiston, meriläjityksen, merikaapeli- ja vetyputkireitin mantereelle ja sähkönsiirron mantereella.

Merituulivoimalaan on suunnitteilla enintään 150 tuulivoimalaa. Merituulivoimapuiston sekä vaihtoehtoisen kaapeli- ja putkireittien sijainnit on esitetty kuvassa 1.

Hankealue käsittää merituulivoimapuiston, yhdeksän vaihtoehtoista meriläjitysaluetta (Laine-1...Laine-9) sekä viisi vaihtoehtoista kaapelireittiä (MVE1...MVE5) sekä kolme vetyputkireittiä (VVE1...VVE3). Merikaapelireittien osalta tarkastellaan lisäksi useampaa eri rantautumiskohtaa. Läjitysalueet Laine-4...Laine-9 ovat vaihtoehtoisia läjitysalueita tuulivoimapuiston ruoppauksille. Läjitysalueet Laine-1...Laine-3 ovat vaihtoehtoisia läjitysalueita kaapeli- ja putkireittien mahdollisille ruoppauksille. Vaihtoehtoista läjitysaluetta voidaan käyttää yhtä tai useampaa soveltuvuuden mukaan. Vaihtoehtoiset meriläjitysalueet on esitetty tarkemmin kuvissa (Kuva 2 ja Kuva 3).

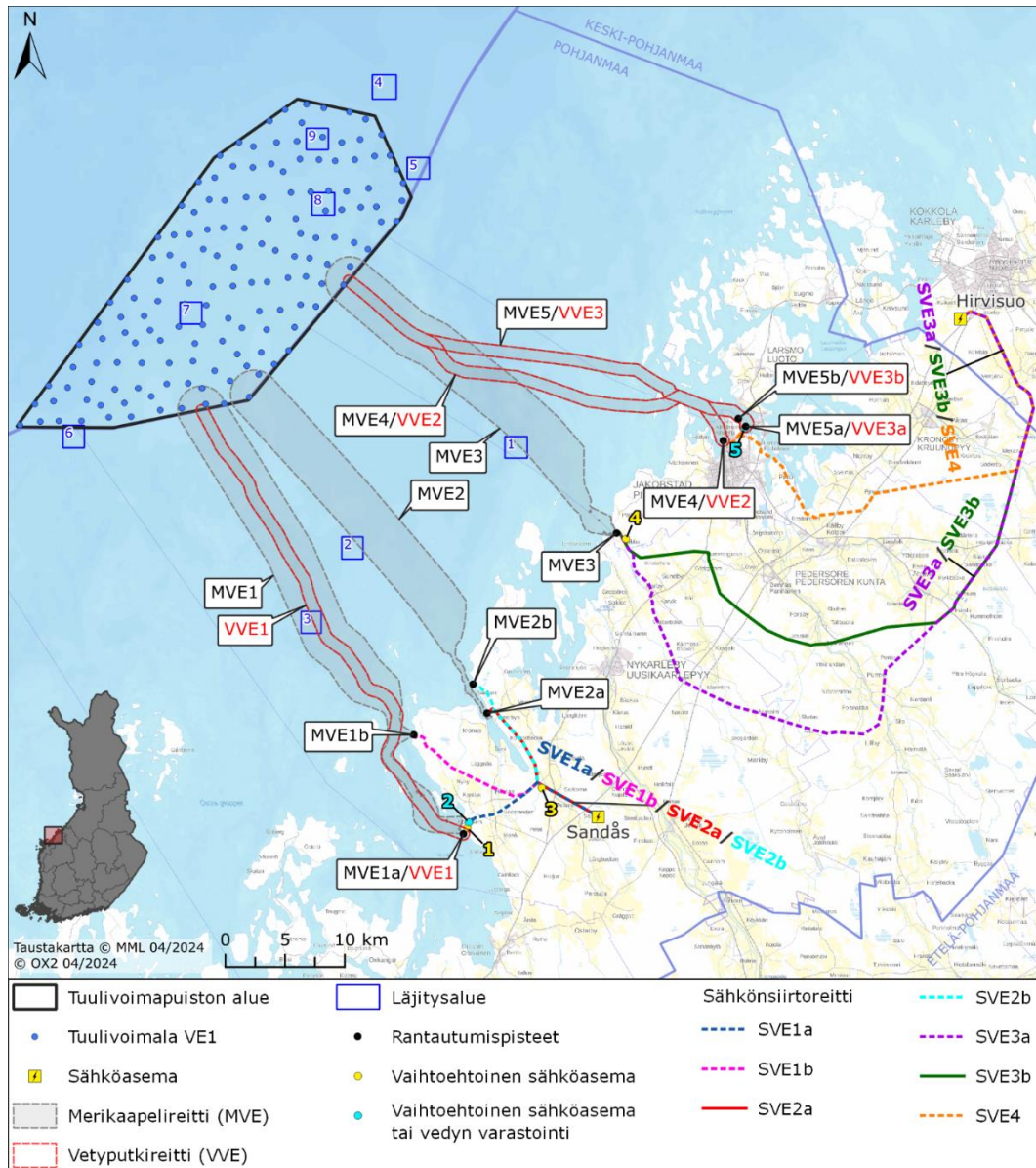
Tarkastelu rajataan hankkeen merelle sijoittuviin toimintoihin ja sen tilassa vesirakentamisen myötä tapahtuviin muutoksiin. Rannikko- ja merialueen ympäristön ja ihmistoiminnan aiheuttamasta historiallisesta kuormituksesta peräisin olevien haitta-aineiden merkitystä koko alueelle ei arvioida tässä tarkastelussa.

Riskinarviossa tarkastellaan laadullisesti sedimentissä todettujen haitta-aineiden mahdollisia kulkeutumis- ja altistumisreittejä vesirakentamisessa ja meriläjäityksessä sekä arvioidaan niiden vaikutuksia vesiympäristön eliöihin. Haitta-aineiden kulkeutumista sedimentistä veteen tarkastellaan myös laskennallisesti. Tarkastelussa kiintoaineen leviäminen vesirakentaminen yhteydessä perustuu sameuden ja kiintoaineksen leviämämalliin (Niras 2023). Mallissa oletuksena on tuulivoimapuiston alueen ruoppaus ja ruoppausmassojen läjitys läjitysalueille Laine-7...Laine-9 tuulivoimapuiston alueelle. Niraksen mallinnus ei ole huomionut läjitysalueita Laine 4, Laine 5 ja Laine 6. Läjitysalueiden tarkastelun osalta em. mallinnuksen ulkopuolelle sijoittuvien alueiden tarkastelu perustuu asiantuntija-arvioon.

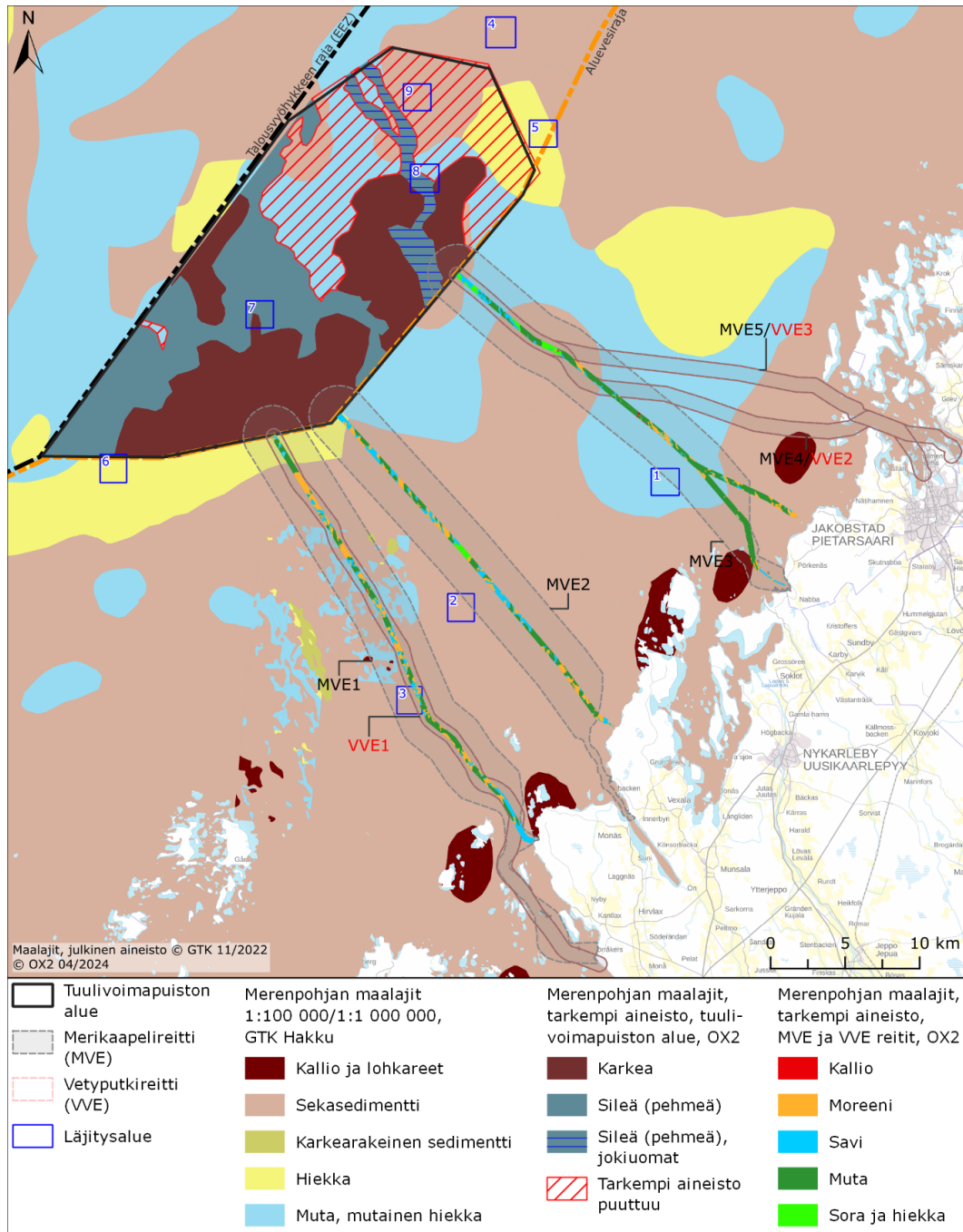
Kaapeli- ja putkireittien osalta kiintoaineen kulkeutumista on mallinnettu vesipainepuhallukselle sekä vesipainepuhalluksen ja ruoppauksen yhdistelmälle. Kaapeli- ja putkireiteiltä ruoppausmassat on oletettu läjitettävän läjitysalueille Laine-1...Laine-3. Menetelmät tarkentuvat hankkeen myöhemmissä vaiheissa. Tässä riskitarkastelussa lähtöoletuksena on vastaavat menetelmät vesirakentamisen osalta kuin kiintoaineen leviämämallissa eli ruoppaus ja/tai ruoppauksen ja vesipainepuhalluksen yhdistelmä sekä ruoppausmassojen meriläjitys. Mallinnukseen valitut menetelmät edustavat vesistövaikutusten kannalta enemmän vaikutuksia aiheuttavia menetelmiä maksimivaikutusperiaatetta noudattaen. Arviota voidaan soveltaa myös muihin työmenetelmiin, mikäli vaikutukset ovat samankaltaisia.

Sedimentin haitta-aineiden aiheuttamia vaikutuksia eliöstöön on arvioitu yleisellä tasolla mm. vertaamalla haitta-ainepitoisuuksia kirjallisuuden ekologisiin viitearvoihin. Tarkastelu koskee sedimentin haitta-aineiden aiheuttamia riskejä ja haittaa vesirakentamisessa (ruoppaus ja vesipainepuhallus) ja läjityksessä, ei koko merituulivoimapuiston rakentamiseen liittyvien töiden vaikutusta (mm. melu, häiriövaikutus) eliöihin ja niiden käyttäytymiseen. Näitä asioita on käsitelty muissa osissa YVA-selostusta. Läjitysalueilla sedimenttiä ei ole tarkoitus ruopata ennen läjitystoiminnan aloittamista, mutta tarkastelu tehdään kaikille alueille, joille sedimenttitulokset on normalisoitu.

Läjityksen osalta arvion lähtökohtana on, että läjityksen jälkeen läjitetyt massat peitetään 1 ja 1A tason massoilla.

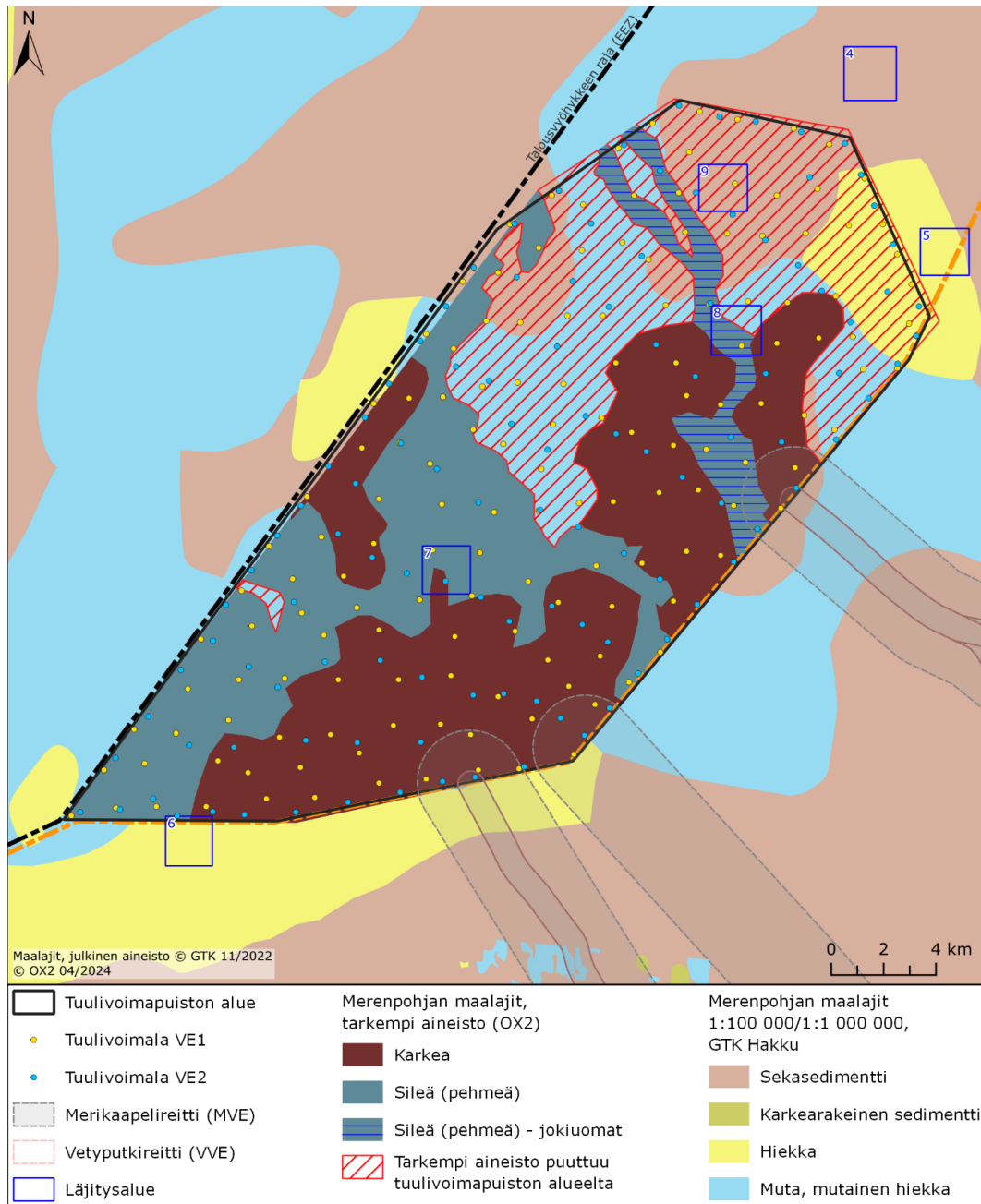


Kuva 1. Hankealueen sijainti: Merituulivoimapuiston hankealuearajaus (VE1, 150 voimalaa), vaihtoehtoisten merikaapeleiden tutkimuskäytävät, vetyputkireitit, läjitäsaluudet sekä sähkönsiirtoreitit mantereella. Kartalla esitetty merikaapelireitit ovat 4 kilometrin levyisiä tutkimuskäytäviä, joiden sisälle lopulliset suunnittelun myötä tarkentuneet merikaapelilinjaukset sijoittuvat. Rantautumiskohdissa käytävät ovat kapeampia. Mantereen sähkönsiirtoreittien vaihtoehtoiset linjaukset on esitetty kartalla havainnollisuuden vuoksi niiltä osin rinnakkain, kun linjaukset menevät samaa reittiä.



Kuva 2. Merenpohjan kovat ja pehmeät alueet. Lisäksi kuvassa esitetty merituulivoimapuisto, energiansiirtoreittien tutkimuskäytävät sekä potentiaaliset meriläjitäsaluudet. Merenpohjan maalajit hankealueen eteläosissa on määritetty Arctian luotauksien perusteella COWI:n toimesta. Hankealueen pohjoisosassa on esitetty GTK:n datan perusteella. Energiansiirtoreitit on esitetty GTK:n tarkemman datan pohjalta. Pohjanlaatuaineistojen lähde: COWI 2023¹

¹ COWI 2023. Laine offshore wind farm. Conceptual geological model. Report. September 2023. Luottamuksellinen aineisto.



Kuva 3. Merenpohjan maalajit merituulivoimapuiston alueella sekä lisäksi esitetty merituulivoimaloiden sijainnit vaihtoehdoissa VE1 ja VE2 sekä ulkomerialueen potentiaaliset meriläjitäysalueet. Merenpohjan maalajit hankealueen eteläosissa on määritelty Arctican luotauksien perusteella COWI:n toimesta. Hankealueen pohjoisosassa on esitetty GTK:n datan perusteella. Pohjanlaatuaineistojen lähde: COWI 2023, GTK 2023.

3 Tehdyt tutkimukset

3.1 Yleistä

Tuulivoimapuiston, vaihtoehtoisten kaapeli- ja putkireittien sekä suunniteltujen sedimenttien läjitysalueiden pintasedimenttien sekä pohjaeläimistön laatua ja tilaa on tutkittu vuosina 2022 ja 2023 Luode Consulting Oy:n toimesta. Hankealueelta on otettu sedimenttinäytteitä yhteensä 73 tutkimuspisteestä. Tutkimusten yhteydessä on tehty myös vedenlaatu- ja virtausmittauksia. Tutkimuksista on laadittu kaksi raporttia (Lindfors ym. 2023²).

3.2 Pohjan laatu

Merituulivoimapuiston eteläosan ja eteläisimmän läjitysalueen (Laine-6) pohjan laatu on havaintojen perusteella pääsääntöisesti savea, pinnassa on paikoin liejua. Merituulivoimapuiston pohjoisosassa ja läjitysalueella Laine-9 sekä koillispuolella puiston ulkopuolella sijaitsevilla läjitysalueilla (Laine-4 ja Laine-5) sedimentin pinnassa on pääsääntöisesti liejukerros (0–10 cm) savikerroksen päällä. Lisätutkimuksissa todettiin liejun alla myös mutaa. Rikkivedyn hajua ei ole todettu. Raekokomääritysten perusteella pohjan laatu tuulivoimapuiston ja sen pohjoispuolella on lähinnä silttiä. Tuulivoimapuiston etelä- ja itäosissa paikoin on myös hiekka kuten läjitysalueen Lane-8 läheisyydessä. Läjitysalueelta Laine-7 ei ole tutkittu pohjan laatua, mutta sen arvioidaan olevan pehmeiden ja karkeiden maalajien rajalla (kuva 3).

Kaapeli- ja putkireittien tutkimuskäytävien alueilla pohjan laatu vaihteli ollen hiekkaa, silttiä, savea ja liejua näytteenottopaikasta riippuen. Lievää rikkivedyn hajua todettiin kahdessa rannikon läheisyydessä olevassa tutkimuspisteessä (LSED-21 VVE2/VVE3) ja LSED-27 MVE2a). Lievää rikkivedyn hajua todettiin myös pisteessä LSED-49 (Laine-3).

Sedimentin TOC-pitoisuus eli orgaanisen aineksen kokonaispitoisuus vaihteli välillä <0,1...18,3 %. TOC-pitoisuuden keskiarvo oli 1,67 %. Vain kuudessa rannan läheisyydestä otetussa näytteessä (pisteet L-SED59 ja L-SED60) TOC-pitoisuus ylitti 6 %. Kun eloperäisen aineksen määrä eli humuspitoisuus on <6 % luokitellaan aines kivennäismaalajeihin ja vastaavasti kun eloperäisen aineksen määrä on ≥6 % aines luokitellaan eloperäiseksi (esim. savinen lieju). Kun humuspitoisuus on 2–6 %, saa kivennäismaalaji etuliitteen liejuinen. TOC-pitoisuus on orgaanisen hiilen kokonaispitoisuus, joten se sisältää muutkin hiiltä sisältävät aineet kuin humushapot eli se pääsääntöisesti yliarvioi humuspitoisuutta. Sen perusteella voidaan kuitenkin todeta, että eloperäisen aineksen pitoisuus sedimentissä on pääosin alhainen.

Raekokomääritysten perusteella vallitsevana lajitteena on siltti, osin liejuinen siltti, jossa eloperäisen aineksen määrä on 2–6 %. Savipitoisuus vaihtelee välillä 0,1–43,6 %, keskiarvo ollessa noin 12 %. Vain kolmessa tutkimuspisteessä (LSED51, LSED52 ja LSED26) sedimentti luokitellaan saveksi eli savifraktion (<0,002 mm) määrä on ≥30 %. Vallitsevana lajitteena on hiekka mm. tutkimuspisteissä LSED27–LSED34 (MVE1 ja MVE2) sekä LSED39...LSED43 (MVE3) ja LSED46 (Laine-2).

Vesipitoisuus vaihteli välillä 19–86 %, keskiarvo oli 54 %. Osa pintanäytteistä on otettu Van Veen -näytteenottimella. Näissä näytteissä vesipitoisuudet ovat pääsääntöisesti korkeampia kuin muissa näytteissä, mikä voi johtua erilaisesta näytteenottotavasta ja -ottimesta.

² Lindfors, A., Meriläinen, T., Vatanen, S. 2023. OX2 Laine -alueen sedimentti- ja pohjaeläinnäytteenoton sekä virtaus- ja vedenlaatatarkkailun tulokset 2022. 27.1.2023. 66 sivua + liitteet.

3.3 Haitta-ainetutkimukset

3.3.1 Näytteenotto ja tutkitut parametrit

Vuonna 2022 näytteitä otettiin 57 tutkimuspisteestä, joita täydennettiin 16 tutkimuspisteellä vuonna 2023. Tutkimuspisteiden sijainnit on esitetty piirustusliitteessä 1. Sedimenttinäytteitä otettiin yhteensä 145. Näytteenottosyvyydet olivat 0–10 cm, 10–30 cm ja 30–60 cm. Pohjan laatu ja kovuus vaihteli ja paikoin syvempiä näytteitä ei saatu otettua. Näytteet otettiin pääasiassa kaksiputkisella Gemax-näytteenottomella. Osa näytteistä on otettu vain pinnasta Van Veen -näytteenottomella.

Laboratoriossa tutkittiin yleisimmät haitta-aineet kaikista näytteistä:

- Metallit ja puolimetallit
- Öljyhiilivedyt C₁₀–C₄₀
- PAH-yhdisteet
- PCB-yhdisteet
- orgaaniset tinayhdisteet
- dioksiinit ja furaanit (PCDD/F)

Lisäksi määritettiin kuiva-ainepitoisuus ja hehkutushäviö, TOC-pitoisuus sekä ravinnepitoisuudet, savipitoisuus ja raekokojakauma. Vuonna 2023 tutkittiin myös öljyhiilivetyjen koostumusta hiilivetyfraktioinnilla sekä metallien liukoisuuksia liitteessä 7 esitetyn tutkimussuunnitelman mukaisesti. Tutkimuksen analyysitulokset on esitetty taulukoituna liitteissä 1–3. Tarkemmat tiedot näytteenotosta ja tutkimusten toteutuksesta on esitetty tutkimusraporteissa (Lindfors ym. 2023³, Lindfors Ym. 2024⁴).

Sedimentin haitta-ainepitoisuuksia on verrattu sekä VNA 213/2007 mukaisiin kynnys- ja ohjearvoihin sekä ruoppaus- ja läjitysohjeen (Ympäristöministeriö 2015⁵)

3.3.2 Normalisoidut pitoisuudet ja pitoisuustasojen luokittelu

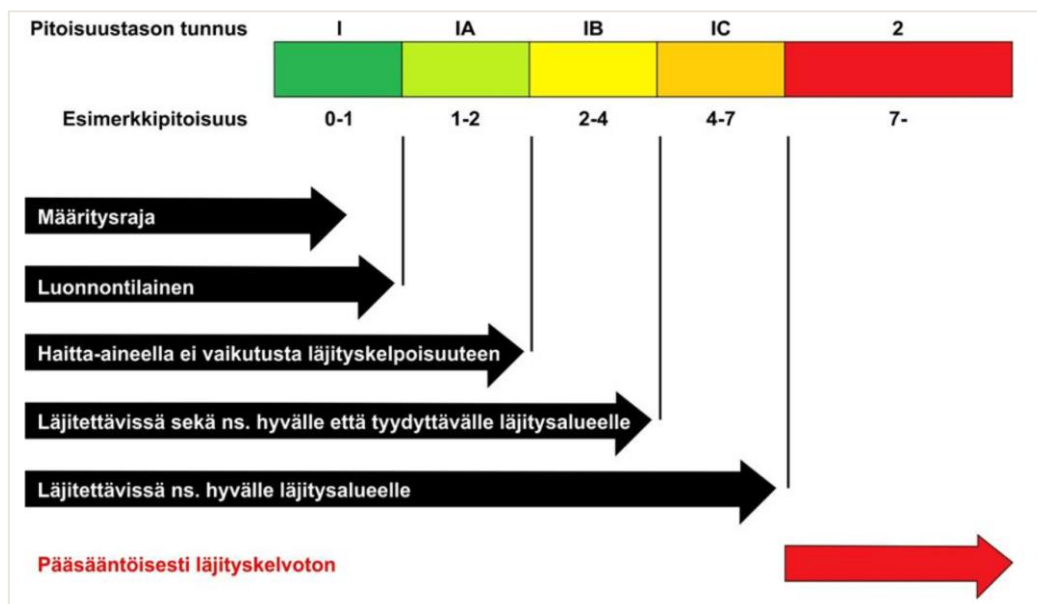
Tutkituille aineille on laskettu analyysituloksista normalisoidut pitoisuudet, jotka on esitetty tutkimusraporteissa. Haitta-aineet sitoutuvat erityisesti saveen ja orgaaniseen ainekseen. Normalisoinnissa analyysitulos muutetaan vastaamaan standardisedimenttiä (savipitoisuus ja orgaanisen aineen pitoisuus huomioiden), jolloin näytteet ovat vertailukelpoisia. Normalisointi on tehty Sedimentin ruoppaus- ja läjitysohjeen mukaisesti (Ympäristöministeriö 2015⁶). Sedimenttien normalisoidut pitoisuudet luokitellaan viiteen luokkaan kuvan 4 mukaisesti.

³ Lindfors, A., Meriläinen, T., Vatanen, S. 2023. OX2 Laine -alueen sedimentti- ja pohjaeläinnäytteenoton sekä virtaus- ja vedenlaatutarkailun tulokset 2022. 27.1.2023. 66 sivua + liitteet.

⁴ Lindfors, A., Meriläinen, T., Vatanen, S. 2024. OX2 Laine -alueen sedimentti- ja pohjaeläinnäytteenoton täydennyksen tulokset 2023. 30.1.2024. 58 sivua + liitteet.

⁵ Ympäristöministeriö 2015. Sedimenttien ruoppaus- ja läjitysohje. Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2015. 71 sivua + liitteet. (15.3.2023)
[https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/154833/OH_1_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y]

Ympäristöministeriön ohjeessa (Ympäristöministeriö 2015) sedimentti katsotaan haitattomaksi, jos pitoisuudet jäävät ruoppaus- ja läjitysohjeen tasolle 1. Tällaiset lietteet kelpaavat sellaisenaan esimerkiksi vesistöön läjitettäväksi ja ovat meriympäristölle haitattomia. Tasoa 2 vastaava sedimentti on voimakkaasti likaantunutta tai pilaantunutta ja vaatii läjitystoiminnassa erilliskäsittelyä. Tasojen 1 ja 2 välialue ns. harmaa alue on jaettu uusimmassa ohjeessa vielä ala-alueisiin (1A, 1B, 1C), joiden perusteella voidaan arvioida tarkemmin lietteen haitallisuutta ja mahdollista erilliskäsittelyn tarvetta. Jos pitoisuustaso <1A, vastaa sedimentti luonnontilaista, jos pitoisuustaso < 1B haitta-aineella ei ole vaikutusta läjituskelpoisuuteen, jos pitoisuustaso < 1C sedimentti on läjitettävissä sekä ns. hyvälle että tyydyttävälle läjitysalueelle jos pitoisuustaso > 2 on sedimentti pääsääntöisesti läjityskelvoton.



Kuva 4. Haitta-aineen pitoisuustason merkitys ruoppausmassan läjityskelpoisuuden arvioinnissa (Ympäristöministeriö 2015).

Pitoisuustasoissa on pyritty huomioimaan yleisesti saatavilla olevat ainekohtaiset määrittämissrajat siten, että taso 1 on vähintään kaksinkertainen määrittämissrajaan verrattuna. Esimerkiksi öljyhiilivedyllä saavutettavaksi määrittämissrajaksi on arvioitu 50 mg/kg ja taso 1 on asetettu pitoisuuteen 100 mg/kg. Mikäli haitta-aineen pitoisuus alittaa tämän saavutettavissa olevan määrittämissrajan, ei tulosta normalisoida.

Pitoisuustasojen määrittely perustuu pääsääntöisesti ekologisten riskien arviointiin. PCB-yhdisteiden, trifenyylitinan, dioksiinien ja furaanien pitoisuustason määrittelyssä on huomioitu yhdisteiden pysyvyys, kertyvyys ja toksisuus ja yleinen esiintyminen sekä päästörajoitukset. Pääsääntöisesti taso 1 edustaa luontaista pitoisuutta. Kaikkien haitta-aineiden osalta pitoisuustaso 1A on asetettu siten, ettei aineesta arvioida aiheutuvan haittaa vesiympäristössä.

Metallien ja puolimetallien pitoisuustaso 1B on asetettu siten, että lyhytkestoisesta altistumisesta ei arvioida aiheutuvan haittaa vesielistöille. Pitoisuustasolla 1C arvioidaan aiheutuvan akuuttia toksisuutta korkeintaan 5 % vesielistöistä (elohopea, lyijy ja kupari). Muilla metalleilla vastaavaa akuuttia toksisuutta saattaa ilmetä tason 2 ylittyessä. Pitoisuustason 1B ja 1C puuttuminen tietyiltä haitta-aineilta tarkoittaa, että pitoisuustasoon liittyvän haitallisten vaikutusten arvioidaan ilmenevän vasta tasolla 2.

Öljyhiilivedyjen esiintymisestä sedimentissä on vähän tietoa ja pitoisuustasot on asetettu hallinnollisin perustein eivätkä näin ollen perustu yhdisteiden haitallisuuteen vesiympäristössä. Myös tributyyliitin pitoisuustasot 1B, 1C ja 2 on asetettu hallinnollisin perustein huomioiden esiintyminen ja päästörajoitukset. PCB-yhdisteiden sekä PCDD/F-yhdisteiden pitoisuustasot 1A–2 on asetettu ensisijaisesti niiden poistamiseksi kierrosta huomioiden esiintyminen ja päästörajoitukset. (Ympäristöministeriö 2015)

3.3.3 Merituulivoimapuiston alue ja sen sisälle sijoittuvien meriläjitäsaluueiden lähialueiden tutkimukset

Merituulivoimapuiston sisälle sijoittuivat seuraavat tarkastellut potentiaaliset meriläjitäsaluuevaihtoehdot: Laine-7, Laine-8 ja Laine-9, joiden sedimentin laatua on kuvattu

seuraavassa. Sedimenttinäytteitä ei otettu tarkalleen meriläjitäysalueiden kohdalta, vaan tavoitteena oli kartoittaa merituulivoimapuiston alueen sedimenttiä kattavasti eri puolilta aluetta. Merituulivoimapuiston tutkimuspisteet LSED-9, LSED-77 ja LSED-78 sijaitsevat läjitäysalueen Laine-8 läheisyydessä ja tutkimuspisteet LSED16 ja LSED-72 läjitäysalueen Laine-9 läheisyydessä. Läjitäysalueen Laine-7 välittömässä läheisyydessä ei sijaitse tuulivoimapuiston tutkimuspisteitä. Tarkemmat, nimenomaan myöhemmin valittaville meriläjitäysalueilla sijoitettavat sedimentti- ja pohjaeläinnäytteenotot suunnitellaan tehtävän vasta hankkeen vesilupavaiheessa.

Merituulivoimapuiston suunnittelualueelle sijoitettiin seuraavat sedimentin tutkimuspisteet:

- LSED-1, LSED-5...LSED-9, LSED-16...LSED-18.
- Lisätutkimuspisteet LSED-69...LSED-78.

Seuraavissa kappaleissa on esitetyt yhteenveto tuloksista haitta-aineryhmittäin:

3.3.3.1 PAH-yhdisteet

Analysoitujen PAH-yhdisteiden pitoisuudet alittivat pääosin määritysrajat. Määritysrajat ylittäviä, alhaisia pitoisuuksia todettiin vaihtelevasti asenaftyleenin, fluoranteenin, kryseenin, bentso(a)pyreenin, bentso(ghi)peryleenin, bentso(a) antraseenin, bentso(b)fluoranteenin bentso(k)fluoranteenin ja pyreenin osalta. Kynnysarvon ylittäviä pitoisuuksia ei todettu. Normalisoidut pitoisuudet ovat tasolla 1 tai 1A.

3.3.3.2 PCB-yhdisteet

Vuoden 2022 analyysituloksissa ei todettu määritysrajat ylittäviä pitoisuuksia PCB-yhdisteitä. Vuoden 2023 tutkimuksissa määritysraja oli pienempi ja sedimentissä todettiin alhaisia pitoisuuksia yksittäisiä PCB-yhdisteitä. Kynnysarvon ylittäviä pitoisuuksia ei todettu. Kaikki normalisoidut pitoisuudet ovat tasolla 1.

3.3.3.3 Organotinayhdisteet

Vuoden 2022 tutkimuksissa ei todettu määritysrajat ylittäviä pitoisuuksia tributyyl- tai trifenyylitinaa. Vuonna 2023 todettiin neljässä näytteessä määritysrajan ylittävä pitoisuus tributyylitinaa, mutta trifenyylitinan pitoisuudet olivat alle määritysrajan. Kynnysarvon ylittäviä pitoisuuksia ei todettu. Kaikki normalisoidut pitoisuudet ovat tasolla 1.

3.3.3.4 Öljyhiilivedyt

Vuonna 2022 otetuissa näytteissä todettiin öljyhiilivetyjä lähes kaikissa merituulipuiston tutkimuspisteissä lukuun ottamatta pisteitä LSED-16 ja LSED-17 alueen pohjoisosassa. Pitoisuudet vaihtelivat pääosin välillä 110...680 mg/kg. Alueella todettiin useita kynnysarvon (300 mg/kg) ylittäviä öljyhiilivetyypitoisuuksia (C₁₀-C₄₀). Öljyhiilivedyt olivat pääosin keskiraskaita hiilivetyjä (C₂₁-C₂₁). Normalisoidut pitoisuudet ovat pääsääntöisesti tasolla 1, 1A ja 1B. Korkeimmat öljyhiilivetyypitoisuudet todettiin näytteissä LSED-8 0-10 cm (800 mg/kg) ja LSED-9 10-30 cm (900 mg/kg), normalisoidut pitoisuudet ovat tasolla 2.

Vuonna 2023 tehtiin lisäpisteitä öljyhiilivetyjen laajuuden ja koostumuksen tutkimiseksi. Lisätutkimuksissa ei kuitenkaan todettu määritysrajat ylittäviä öljyhiilivetyypitoisuuksia lukuun ottamatta yhtä näytettä (LSED-76 0-10 cm). Todettu pitoisuus oli 11 mg/kg eikä normalisoituna ylitä öljyhiilivetyjen pitoisuustasoa 1 (100 mg/kg).

Öljyhiilivetyjen koostumusta tutkittiin fraktioanalyysillä vuonna 2023. Pitoisuuksien alittaessa pääsääntöisesti määritysrajat vuonna 2023 ei vuonna 2022 todetuista öljyhiilivetyjen koostumuksesta saatu lisätietoa. On mahdollista, että vuonna 2022 todetut yhdisteet olisivat muita orgaanisia hiilivetyjä kuin öljyhiilivetyjä; esim. luonnollista alkuperää.

Analyytilaboratorio ei havainnut virheitä analyyseissä, mutta analyysivirheen mahdollisuutta ei voi sulkea pois, koska eri vuosien tulokset poikkeavat merkittävästi toisistaan. Näytteet analysoitiin eri laboratorioissa eri vuosina. Alueella ei voida kuitenkaan sulkea pois öljyhiilivetyjen esiintymistä.

Näytteessä LSED-76 30-53 cm todettiin eri analyysimenetelmillä toisistaan poikkeavat pitoisuudet. Öljyhiilivety määrityksessä (C₁₀-C₄₀) pitoisuudet eivät ylittäneet määrittäysrajaa (<20 mg/kg), mutta fraktioanalyysissä todettiin yhteensä 979 mg/kg aromaattisia C₁₆-C₄₀ hiilivetyjä. Tulosten oikeellisuudesta ei ole varmuutta.

3.3.3.5 Metallit ja puolimetallit

Tuulivoimapuiston alueella ei todettu merkittävästi kohonneita pitoisuuksia metalleja lukuun ottamatta arseenia, jonka pitoisuudet ylittivät kynnysarvon (5 mg/kg) lähes kaikissa näytteissä. Arseenin alempi ohjearvo (50 mg/kg) ylittyi kahden tutkimuspisteen (LSED-10 ja LSED-70) pintanäytteessä. Metallien normalisoidut pitoisuudet ovat kuitenkin pääosin tasolla 1 ja 1A. Tutkimuspisteissä LSED-16, LSED-17, LSED-69 ja LSED-70 alueen pohjoisosassa arseenin ja nikkelin normalisoidut pitoisuudet ovat korkeimmillaan tasolla 2.

3.3.3.6 Osittaisuutot

Lisätutkimuspisteiden näytteille (LSED-69...L-SED78) tehtiin osittaisuutot. Vesiuton arvioidaan edustaa sedimentin huokosvettä. Määrittäytavasta (liite 7) johtuen pitoisuuksien arvioidaan olevan hieman korkeampia kuin todellisessa huokosvedessä mutta oikeasuuntaisia. Vesiuton pH vaihteli välillä 4,4...7,77, keskiarvo oli 6,2 ollen lievästi hapan.

EDTA- ja etikkahappouutot edustavat biosaatavan arseenin ja muiden metallien osuutta. Etikkahappouutolla saadaan esiin vaihtuvilla paikoilla olevien metalli-ionien osuus ja EDTA uuttaa näytteistä karbonaatteina ja orgaaniseen ainekseen sitoutuneen metallifraktion (Chaudhary et al., 2016). Happamissa olosuhteissa uuttuminen on tehokkaampaa kuin puskuroimattomassa vesiutossa.

Tulokset on esitetty taulukossa 1. Keskiarvopitoisuuden laskennassa määrittäysrajan alittavat pitoisuudet on laskettu määrittäysrajalla. Laskennassa ei ole huomioitu näytteiden LSED-69 10-18 cm ja LSED-77 10-28 cm tuloksia poikkeavasta määrittäytavasta johtuen.

Taulukko 1. Osittaisuuttojen minimi-, maksimi- keskiarvopitoisuudet arseenin, kuparin ja nikkelin osalta.

Metalli	Min. µg/l	Min. näyte	Max. µg/l	max. näyte	keskiarvo, µg/l
Vesiutto					
As	<1,00	LSED-77 0-10 cm	35,2	LSED-71 10-24 cm	7,72
Cu	6,2	LSED-77 0-10 cm	87,4	LSED-75 0-10 cm	23,11
Ni	8,42	LSED 72 10-24 cm	168	LSED-74 30-45 cm	34,37
EDTA-uutto					
As	76	LSED-78 Pinta	879	LSED-76 10-30 cm	344,4
Cu	1150	LSED-70 10-26 cm	2570	LSED-76 0-10 cm	1557

Ni	471	LSED-76 30-53 cm	2020	LSED-69 0-10 cm	1028,4
Etikkahappouutto					
As	29,6	LSED-78 Pinta	170	LSED-71 10-24 cm	77,6
Cu	729	LSED-75 10-30 cm	1790	LSED-76 0-10 cm	884,1
Ni	414	LSED-78 Pinta	1360	LSED-69 0-10 cm	751,2

3.3.3.7 Dioksiinit ja furaanit (PCDD/F)

Vuonna 2022 tutkimuksissa todettiin useissa pisteissä määrittämisrajat ylittäviä pitoisuuksia PCDD/F-yhdisteitä. Yhdessä tutkimuspisteessä tuulivoimapuiston eteläosassa (LSED-1) todettiin kynnysarvon ylittävä pitoisuus, joka normalisoituna on tasolla 1C. Kahdessa tutkimuspisteessä (LSED-7 ja LSED-9) normalisoidut pitoisuudet ovat tasolla 1B. Muissa tutkimuspisteissä normalisoidut pitoisuudet ovat tasolla 1 ja 1A.

Lisätutkimuksissa (LSED-69...LSED-78) ei todettu määrittämisrajat ylittäviä pitoisuuksia PCDD/F-yhdisteitä. Huomiona, että tutkimusraporteissa (Luode Oy) normalisointi on tehty myös niille näytteille, joissa kaikki yksittäiset pitoisuudet alittavat määrittämisrajat. Normalisointi on tehty dioksiinien ja furaanien WHO-TEQ-ylärajan (upper bound) pitoisuudelle, joka on laskettu määrittämisrajojen perusteella. Näin saatu normalisoitu summapitoisuus ylittää pääsääntöisesti 5 ng/kg, mitä pidetään saavutettavana määrittämisrajana. Nämä normalisoidut pitoisuudet ovat tasoilla 1A ja 1B, vaikka tutkimuksissa ei ole todettu laboratorioanalyysin määrittämisrajat ylittäviä pitoisuuksia yksittäisiä PCDD/F-yhdisteitä.

3.3.4 Merituulivoimapuiston ja kaapeli-/vetyputkireittien tutkimuskäytävien ulkopuolelle sijoittuvat meriläjäytysalueet

Merituulivoimapuiston ja kaapeli-/vetyputkireittien ulkopuolisille tarkasteltaville potentiaalisille meriläjäytysalueille sijoitettiin seuraavat tutkimuspisteet:

Merituulivoimapuiston läheisyydessä, mutta sen ulkopuolella sijaitsevat meriläjäytysalueet ja niiden alueilla tai lähellä sijaitsevat sedimenttinäytepisteet:

- Meriläjäytysalue: Laine-4, puiston koillispuoli: LSED-13, LSED-14, LSED-15 ja LSED-67
- Meriläjäytysalue: Laine-5, puiston koillispuoli: LSED-10, LSED-11, LSED-12 ja LSED-68
- Meriläjäytysalue: Laine-6, puiston eteläpuoli: LSED-2, LSED-3 ja LSED-4

Kaapeli- ja putkireittien tutkimuskäytävien ulkopuolella, mutta niiden läheisyydessä sijaitsevat potentiaaliset meriläjäytysalueet ja niiden alueilla tai lähellä sijaitsevat sedimenttinäytepisteet:

- Meriläjäytysalue: Laine-1, kaapelireitin MVE3 eteläpuolella: LSED-44 ja LSED-45
- Meriläjäytysalue: Laine-2, kaapelireitin MVE2 eteläpuolella: LSED-46 ja LSED-47
- Meriläjäytysalue: Laine-3, kaapelireitin MVE1 eteläpuolella: LSED-48 ja LSED-49

3.3.4.1 PAH-yhdisteet

Analysoitujen PAH-yhdisteiden pitoisuudet alittivat pääosin määrittämisrajat vuoden 2022 tutkimuksissa. Lisätutkimuksissa (2023) määrittämisraja oli hieman pienempi ja tutkimuksissa todettiin alhaisia määrittämisrajan ylittäviä pitoisuuksia. Kynnysarvon ylittäviä pitoisuuksia ei kuitenkaan todettu. Määrittämisrajan ylittävien tulosten osalta kaikki normalisoidut pitoisuudet kaikilla vaihtoehtoisilla läjäytysalueilla ovat tasolla 1 tai 1A.

3.3.4.2 PCB-yhdisteet

Vuoden 2022 analyysituloksissa ei todettu määritysrajat ylittäviä pitoisuuksia PCB-yhdisteitä. Vuoden 2023 määritysraja oli pienempi ja osassa näytteitä todettiin alhaisia, määritysrajat ylittäviä pitoisuuksia. Kynnysarvon ylittäviä pitoisuuksia ei todettu. Määritysrajan ylittävien tulosten osalta kaikki normalisoidut pitoisuudet olivat tasolla 1.

3.3.4.3 Organotinayhdisteet

Vuoden 2022 analyysituloksissa ei todettu määritysrajan ($<1 \mu\text{g/kg}$) ylittäviä pitoisuuksia tributyyli- tai trifenyylitinaa lukuun ottamatta yhtä näytettä (LSED-10), jossa todettiin trifenyylitinan pitoisuus $2 \mu\text{g/kg}$. Vuonna 2023 lisätutkimuspisteiden LSED-68 ja LSED-69 (merituulivoimapuiston sisäpuolella) pintasedimentissä todettiin määritysrajan ylittävät pitoisuudet tributyylitinaa (max. $3,92 \mu\text{g/kg}$), mutta trifenyylitinan pitoisuudet olivat alle määritysrajat. Kynnysarvon ylittäviä pitoisuuksia ei todettu. Määritysrajan ylittävien tulosten osalta kaikki normalisoidut pitoisuudet ovat tasolla 1.

3.3.4.4 Öljyhiilivedyt

Vuonna 2022 otetuissa näytteissä todettiin öljyhiilivetyjä lähes kaikissa tuulivoimapuiston läheisyydessä sijaitsevien suunniteltujen läjitysalueiden näytteissä. Pitoisuudet vaihtelivat pääosin välillä $130\text{--}900 \text{ mg/kg}$ ($\text{C}_{10}\text{--}\text{C}_{40}$) ja kynnysarvo (300 mg/kg) ylittyi useissa näytteissä. Korkein öljyhiilivetyypitoisuus 1300 mg/kg todettiin tutkimuspisteen LSED-10 pintasedimentissä. Öljyhiilivedyt olivat pääosin keskiraskaita hiilivetyjä ($\text{C}_{10}\text{--}\text{C}_{21}$). Normalisoidut pitoisuudet tutkimuspisteissä LSED-4 ja LSED-10 ovat korkeimmillaan tasolla 2, muissa pisteissä öljyhiilivetyjen normalisoidut pitoisuudet ovat korkeimmillaan tasolla 1B.

Vuonna 2023 tehtiin lisäpisteitä öljyhiilivetyjen laajuuden ja koostumuksen tutkimiseksi. Lisätutkimuksissa ei kuitenkaan todettu määritysrajat ylittäviä öljyhiilivetyypitoisuuksia lukuun ottamatta pieniä pitoisuuksia (11 mg/kg ja 29 mg/kg) raskaita hiilivetyjä. Todetut pitoisuudet eivät kuitenkaan ylitä normalisoinnin jälkeen öljyhiilivetyjen pitoisuustason 1 rajaa (100 mg/kg).

Öljyhiilivetyjen koostumusta tutkittiin fraktioanalyysillä. Pitoisuuksien alittaessa pääsääntöisesti määritysrajat ei vuonna 2022 todetuista öljyhiilivetyjen koostumuksesta saatu lisätietoa. Näytteessä LSED-68 0–10 cm todettiin öljyhiilivetyjen summapitoisuus 20 mg/kg . Fraktioanalyysissä todettiin raskaampia aromaattisia hiilivetyjä ($\text{C}_{16}\text{--}\text{C}_{38}$) 48 mg/kg ja alifaattisia hiilivetyjä ($\text{C}_{16}\text{--}\text{C}_{21}$) 22 mg/kg .

Kaapeli- ja putkireittien läheisyydessä sijaitsevilta läjitysalueilta Laine-1...Laine-3 otetuissa näytteissä ei todettu määritysrajat ylittäviä pitoisuuksia öljyhiilivetyjä lukuun ottamatta tutkimuspistettä LSED-49. Todetut öljyhiilivetyypitoisuudet ($\text{C}_{21}\text{--}\text{C}_{40}$) olivat alhaisia (18 mg/kg ja 21 mg/kg), alle saavutettavan määritysrajan, jonka ylittäessä normalisointi tulee tehdä.

3.3.4.5 Metallit

Tutkimuksissa ei todettu merkittävästi kohonneita pitoisuuksia metalleja lukuun ottamatta arseenia, jonka pitoisuudet ylittivät kynnysarvon (5 mg/kg) lähes kaikissa näytteissä. Tuulivoimapuiston koillispuolelle sijoittuvalla läjitysalueella (Laine-5) arseenin pitoisuudet ylittivät pintanäytteissä alemman ohjearvon (50 mg/kg). Tuulivoimapuiston luoteispuolen läjitysalueella (Laine-4) arseenin pitoisuudet ylittivät pintanäytteissä korkeimmillaan ylemmän ohjearvon (100 mg/kg). Lisäksi em. läjitysalueilla todettiin yksittäisiä lyijyn ja sinkin kynnysarvon ylittäviä pitoisuuksia.

Metallien normalisoidut pitoisuudet ovat pääosin tasolla 1 ja 1A. Tutkimuksissa tuulivoimapuiston pohjoispuolelle sijoittuvilla läjitysalueilla (Laine-4 ja Laine-5) arseenin ja

nikkelin normalisoidut pitoisuudet ovat korkeimmillaan tasolla 2 ja kuparin pitoisuudet tasolla 1B. Eteläisen läjitysalueen (Laine-6) normalisoidut metallipitoisuudet ovat tasolla 1 ja 1B.

3.3.4.6 Dioksiinit ja furaanit (PCDD/F)

Tuulivoimapuiston ympäristön läjitysalueilla PCDD/F-yhdisteitä todettiin useissa tutkimuspisteissä määrittämisrajat ylittäviä pitoisuuksia. Kynnysarvon ylittäviä pitoisuuksia ei kuitenkaan todettu. Eteläisellä läjitysalueella (Laine-6) normalisoidut pitoisuudet ovat korkeimmillaan tasolla 1C. Tuulivoimapuiston pohjoispuolelle sijoittuvilla läjitysalueilla PCDD/F-yhdisteiden pitoisuudet ovat tasolla 1, 1A ja 1B.

Kaapeli- ja putkireittien läjitysalueilla Laine-1 ja Laine-2 yksittäisiä PCDD/F-yhdisteitä ei todettu laboratorion määrittämisrajat ylittäviä pitoisuuksia. Normalisoidut pitoisuudet ovat pitoisuustasolla 1B (katso kappale 3.3.3). Läjitysalueella Laine-3 tutkimuspisteen LSED-49 pintakerroksen alapuolella todettiin määrittämisrajat ylittäviä pitoisuuksia PCDD/F-yhdisteistä. Normalisoidut pitoisuudet olivat tasolla 1B.

3.3.4.7 Osittaisuutot

Läjitysalueilla tehtiin kaksi näytepistettä (LSED-67 ja LSED-68) vuoden 2023 tutkimuksissa ja niistä otetuista näytteistä tehtiin osittaisuutot metalliyhdisteille. Tulokset on esitetty taulukossa 2. Keskiarvopitoisuuden laskennassa määrittämisrajan alittavat pitoisuudet on laskettu määrittämisrajalla.

Taulukko 2. Osittaisuuttojen minimi-, maksimi- keskiarvopitoisuudet arseenin, kuparin ja nikkelin osalta.

Metalli	Min. µg/l	Min. näyte	Max. µg/l	max. näyte	keskiarvo, µg/l
Vesiuutto					
As	5,37	LSED-68 10-30 cm	68,5	LSED-68 30-48 cm	27,16
Cu	12,8	LSED-67 10-30 cm	12,8	LSED-67 10-30 cm	12,8
Ni	9,14	LSED-67 30-60 cm	93,7	LSED-67 10-30 cm	43,4
EDTA-uutto					
As	528	LSED-68 10-30 cm	1 910	LSED-67 0-10 cm	867,17
Cu	1 180	LSED 68 0-10 cm	1 650	LSED-68 10-30 cm	1 426,67
Ni	820	LSED 68 0-10 cm	1 060	LSED-68 0-10 cm	934,83
Etikkahappouutto					
As	75,7	LSED-68 30-48 cm	289	LSED-67 0-10 cm	142,6
Cu	718	LSED-67 0-10 cm	915	LSED-68 0-10 cm	837,5
Ni	522	LSED-68 30-48	947	LSED-68 0-10 cm	741,17

3.3.5 Kaapeli- ja vetyputkireittien tutkimuskäytävät

Merituulipuistoon liittyville suunniteluille kaapeli- ja vetyputkireittien tutkimuskäytävälle sijoitettiin seuraavat tutkimuspisteet (piirustusliite 1):

- MVE1 ja VVE1: LSED-32...LSED-38 ja LSED-49...LSED-51
- MVE2: LSED-27...LSED-31 ja LSED-52 ja LSED-53
- MVE3: LSED-39...LSED-45 ja LSED-54 ja LSED-55
- MVE4/VVE2: LSED19 - LSED24 ja LSED57-60, LSED-66

- MVE5/VVE3: LSED19 - LSED26 ja LSED56, LSED58-60, LSED66

Kaapelireiteillä MVE1 ja MVE2 on molemmilla kaksi rantautumisvaihtoehtoa (a ja b). Kaapeli- ja putkireiteillä MVE4/VVE2 ja MVE5/VVE3 on yhteinen osuus rannikon läheisyydessä. Reitillä MVE5/VVE3 on kaksi vierekkäin sijoittuvaa rantautumisreittiä (a ja b).

3.3.5.1 PAH-yhdisteet

Analysoitujen PAH-yhdisteiden pitoisuudet alittivat pääosin määräysrajat. Kynnysarvon ylittäviä pitoisuuksia ei todettu.

Vetyputkireittien VVE2 ja VVE3 yhteisellä osuudella rannan läheisyydessä (LSED-19...LSED-22) sekä reitillä VVE3 (LSED-26) normalisoidut PAH-yhdisteiden pitoisuudet ovat korkeimmillaan tasolla 1A. Muilla kaapeli- ja putkireiteillä määräysrajan ylittävien tulosten osalta normalisoidut pitoisuudet ovat tasolla 1 lukuun ottamatta kahta yksittäistä tutkimuspistettä pitoisuustasolla 1A.

3.3.5.2 PCB-yhdisteet

Tutkittujen PCB-yhdisteiden pitoisuudet olivat pääsääntöisesti alle laboratorioanalyysin määräysrajojen lukuun ottamatta yhtä näytettä (LSED-58 30-44 cm), jossa normalisoidut pitoisuudet ovat tasolla 1 ja 1A. Kynnysarvon ylittäviä pitoisuuksia ei todettu.

3.3.5.3 Organotinayhdisteet

Vuoden 2022 tutkimuksissa ei todettu määräysrajat ylittäviä pitoisuuksia tributyyliinaa lukuun ottamatta reittien VVE2 ja VVE3 yhteistä osuutta rannan läheisyydessä (LSED-19...LSED-21 ja LSED-58...LSED-60 ja LSED-66) sekä reitillä VVE3 (LSED-25). Näissä pisteissä tributyyliinan normalisoidut pitoisuudet ovat korkeimmillaan tasolla 1A ja pisteessä LSED-25 tasolla 1B. Kynnysarvon ylittäviä pitoisuuksia ei todettu. Tutkimuksissa ei todettu määräysrajan ylittäviä pitoisuuksia trifenyylitinaa.

3.3.5.4 Öljyhiilivedyt

Tutkimuksissa ei todettu määräysrajat ylittäviä pitoisuuksia öljyhiilivetyjä lukuun ottamatta reittien VVE2 ja VVE3 yhteistä osuutta rannan läheisyydessä (LSED-19...LSED-21 ja LSED-58...LSED-60 ja LSED-66) sekä reitillä VVE3 (LSED-25). Määräysrajan ylittävät pitoisuudet vaihtelivat välillä 22 mg/kg...824 mg/kg (C₁₀-C₄₀). Normalisoidut pitoisuudet olivat tasolla 1 ja 1A. Todetut öljyhiilivedyt olivat pääosin raskaita hiilivetyjä (C₂₁-C₄₀).

3.3.5.5 Metallit

Metallien osalta ei todettu merkittävästi kohonneita pitoisuuksia lukuun ottamatta arseenia, jonka pitoisuudet ylittivät kynnysarvon (5 mg/kg) lähes kaikissa näytteissä. Lyijyä ja sinkkiä todettiin yksittäiset kynnysarvon ylittävät pitoisuudet tutkimuspisteessä LSED60 (VVE2/VVE3). Sinkkiä todettiin yksittäisessä näytteessä alemman ohjearvon ylittävä pitoisuus pisteessä LSED-36 (MVE1a). Metallien normalisoidut pitoisuudet ovat pääosin tasolla 1 ja 1A. Tutkimuspisteessä LSED-36 nikkelin normalisoitu pitoisuus on tasolla 2.

3.3.5.6 Dioksiinit ja furaanit (PCDD/F)

PCDD/F-yhdisteitä todettiin tutkimuspisteissä määräysrajat ylittäviä pitoisuuksia putkireittien VVE2 ja VVE3 yhteisellä osuudella rannan läheisyydessä tutkimuspietissä LSED-19...LSED-21 sekä LSED-58...LSED-60 ja LSED-66. Lisäksi tutkimuspisteissä LSED-28 (MVE2) todettiin määräysrajat ylittäviä pitoisuuksia PCDD/F-yhdisteistä. Kynnysarvon ylittävä pitoisuus todettiin tutkimuspisteissä LSED-60 ja LSED-66 (VVE2/VVE3) rannan läheisyydessä. Normalisoidut pitoisuudet ovat tasolla 1B. Näytteissä todettiin pääsääntöisesti vain yhdisteitä

1,2,3,4,6,7,8-heptaCDF ja OCDF, osassa näytteistä myös OCDD-yhdistettä. Em. yhdisteet olivat puunsuoja-aineen KY-5 pääkomponentteja.

Muilla kaapeli- ja putkireiteillä ei todettu yksittäisiä PCDD/F-yhdisteistä laboratorion määrittämisrajat ylittäviä pitoisuuksia. Normalisoidut pitoisuudet ovat tasolla 1B (katso kappale 3.3.3).

3.3.6 Yhteenveto haitta-ainetutkimuksista

Seuraavia yhdisteitä todettiin vähintään pitoisuustasolla 1B yksittäisissä näytteissä:

- arseeni ja nikkeli:
 - tuulivoimapuisto
 - läjitysalueet Laine-4 ja Laine-5
 - MVE1a (rantautumisalue, nikkeli)
- kupari
 - tuulivoimapuisto
 - läjitysalueet Laine-4 ja Laine-5
 - MVE5/VVE3 (rantautumisalue)
- öljyhiilivedyt
 - tuulivoimapuisto
 - läjitysalueet Laine-4, Laine-5 ja Laine-6
- organotinayhdisteet
 - MVE4/VVE2 (rantautumisalue)
- dioksiini ja furaanit
 - kaikilla alueilla normalisoidut pitoisuudet olivat vähintään tasolla 1B
 - kaapeli- ja putkireiteillä MVE1a / VVE1, MVE1b, MVE2b ja MVE3 sekä läjitysalueilla Laine-1 ja Laine-2 ei todettu laboratorion määrittämisrajat ylittäviä pitoisuuksia PCDD/F-yhdisteitä

3.4 Veden laatu- ja virtausmittaukset

Merituulivoimapuiston ulkopuolisten sekä kaapeli- ja putkireittien lähellä sijaitsevilla tarkasteltavilla läjityspaikoilla (Laine-1...Laine-6) tutkittiin veden laatua ja virtauksia syksyllä 2022 (Lindfors ym. 2023²). Veden happi- ja suolapitoisuudet sekä sameus ja lämpötila mitattiin jatkuvatoimisella laitteistolla kolmelta syvyydeltä 2, 3 ja 15 metriä pohjan yläpuolelta. Happipitoisuus mitattiin vain pohjan läheisyydestä. Virtausnopeuksia ja suuntia mitattiin pinnasta pohjaan kahden metrin kerrosjaolla.

Tutkimusten perusteella mittauspisteiden happipitoisuus oli hyvä (9–12 mg/l). Mittauspisteiden sameusarvot olivat pääsääntöisesti matalia (0,3...0,4 FNU). Kaapeli- ja putkireittien läheisyydessä (Laine-1...Laine-3 alueilla) elo/syyskuussa sameus oli hieman korkeampi (2 FNU). Silmillä havaittavan sameuden raja-arvo on noin 10 FNU. Syksyllä havaittiin myös ajanjakso, jossa kaikkien mittauspisteiden sameus nousi tasolle 3–6 FNU etenkin pohjan läheisyydessä, mutta oli havaittavissa myös ylempänä.

Tutkitut läjitysalueet luokitellaan virtausnopeuksien perusteella hyvään ja tyydyttävään läjityspaikkaan sekä läjitykseen soveltumattomiin alueisiin. Hyvä läjityspaikka on sellainen, jossa läjitetyn massan kulkeutumisriksi on alhainen:

- virtausnopeudet pohjaan läheisyydessä ovat pääosin alhaisia (<3 cm/s)
- keskimääräinen virtausnopeus <5 cm/s ja
- virtausnopeus >10 cm/s esiintyy vain harvakseltaan

Tyydyttävä läjityspaikalla kulkeutumisriski on kohtalainen:

- virtausnopeudet pohjaan läheisyydessä ovat pääosin alhaisia (<3 cm/s)

- keskimääräinen virtausnopeus <8 cm/s
- virtausnopeus >15 cm/s esiintyy vain harvakseltaan

Tyydyttävälle läjityspaikalle voidaan läjittää pitoisuustasojen 1, 1A ja 1B ruoppausmassoja, hyvälle läjityspaikalle myös pitoisuustason 1C massoja. Ruoppausmassojen, joiden haitta-aineiden läjityskelpoisuus on tasolla 1C, sijoittaminen tyydyttävälle läjityspaikalle edellyttää suunnitelmaa riskinhallintatoimenpiteistä, joilla näiden massojen kulkeutuminen läjityspaikan vaikutusalueelle minimoidaan.

Vuonna 2022 tehtyjen tutkimusten perusteella parhaiten läjitykseen soveltuvia alueita virtausten kannalta ovat mittauspaikat Laine-2, Laine-3 ja Laine-4 (taulukko 3). Em. mittauspaikoilla keskimääräinen virtausnopeus oli 5 cm/s ja suuria (>10 cm/s) esiintyi harvoin. Virtaustutkimusten perustella Laine-5 aluetta arvioidaan tyydyttäväksi läjityspaikaksi.

Taulukko 3. Mitatut virtausnopeudet läjityspaikoilla Laine-1...Laine-6 ja läjityspaikkojen alustavat soveltuvuudet (ote tutkimusraportista Lindfors ym. 2023²).

Mittausasema	Havaintojen lukumäärä	Maksimi virtausnopeus pohjalla	Keskimääräinen virtausnopeus pohjalla	Hyvä läjityspaikka, virtausnopeus >10 cm/s harvakseltaan		Tyydyttävä läjityspaikka, virtausnopeus >15 cm/s harvakseltaan	
				>10 cm/s havainnoista	%-osuus kaikista	>15 cm/s havainnoista	%-osuus kaikista
Laine 1	8643	34 cm/s	7 cm/s	1691	20 %	884	10 %
Laine 2	8634	22 cm/s	5 cm/s	757	9 %	101	1 %
Laine 3	8627	24 cm/s	5 cm/s	665	8 %	60	1 %
Laine 4	6237	27 cm/s	5 cm/s	458	7 %	117	2 %
Laine 5	6235	26 cm/s	5 cm/s	763	12 %	216	3 %
Laine 6	6236	33 cm/s	13 cm/s	3983	64 %	2685	43 %

Vuonna 2023 tutkittiin merituulivoimapuiston sisällä veden laatua ja virtauksia (taulukko 4) kolmessa pisteessä (Laine-7...Laine-9), jolla pyrittiin selvittämään, löytyisikö tuulivoimapuiston alueelta läjitykseen soveltuvia alueita (Lindfors ym. 2024³).

Taulukko 4. Mitatut virtausnopeudet läjityspaikoilla Laine-7...Laine-9 ja läjityspaikkojen alustavat soveltuvuudet (ote tutkimusraportista Lindfors ym. 2024³).

Mittausasema	Havaintojen lukumäärä	Maksimi virtausnopeus pohjalla	Keskimääräinen virtausnopeus pohjalla	Hyvä läjityspaikka, virtausnopeus >10 cm/s harvakseltaan		Tyydyttävä läjityspaikka, virtausnopeus >15 cm/s harvakseltaan	
				>10 cm/s havainnoista	%-osuus kaikista	>15 cm/s havainnoista	%-osuus kaikista
Laine-7	6624	19 cm/s	5 cm/s	335	5 %	30	0 %
Laine-8	6625	31 cm/s	6 cm/s	906	14 %	236	4 %
Laine-9	6624	23 cm/s	8 cm/s	1601	24 %	329	5 %

Tehtyjen tutkimusten perusteella mittauspaikka Laine-7 arvioidaan hyväksi läjitysalueeksi ja mittauspaikat Laine-8 ja Laine-9 tyydyttäväksi läjityspaikoiksi (taulukko 4).

3.5 Pohjaeläintutkimukset

Sedimenttinäytteenoton yhteydessä kartoitettiin pohjaeläimistöä samoilta pisteiltä, joilta otettiin sedimenttejä. Seuraavassa esitetyt "asemat" ovat siis sijainniltaan identtisiä edellä kuvattujen sedimenttinäytepisteiden ("LSED") kanssa.

Tässä kappaleessa on esitetty yhteenveto alueen lajistosta ja pohjan eliöiden tilasta. Tarkemmat tiedot on esitetty tutkimusraporteissa (Lindfors ym. 2023², Lindfors Ym. 2024³). Raportit ovat YVA-selostuksen liitteinä.

Tärkeimpiä lajistoon vaikuttavia tekijöitä ovat suolapitoisuus sekä hapen pitoisuus vedessä ja sedimentissä. Pohjanlahdella suolapitoisuus on selvästi pienempi kuin eteläisellä Itämerellä. Alueella menestyvät lajit, jotka sietävät matalia suolapitoisuuksia. Pohjan hapettomuutta ei todettu, mutta muutamassa rannan läheisyyden näytteessä todettiin merkkejä mahdollisesta ajoittaisesta hapettomuudesta, mm. lievää rikin hajua. Selvityksen lajisto edustaa vain pehmeiden pohjien elinympäristöjä.

Merituulivoimapuiston alueelle ja puiston läheisyyteen suunniteltujen läjitysalueiden pohjan eliöiden tila ovat pääosin erinomaisia, pohjoisosassa hyviä. Erinomaisiksi todetuilla näyteasemilla todettiin neljää lajia eli liejuputkimatoja, kilkkejä, valkokatkaa ja liejusimpukkaa. Hyvässä tilassa olevilla näyteasemilla todettiin kahta tai kolmea em. lajia. Liejusimpukkaa ei todettu enää pohjoisemmilla näyteasemilla. Vuonna 2023 valkokatkan todettiin runsastuneen vuoteen 2022 verrattuna, valkokatkaa todettiin vuonna 2023 myös alueen eteläosassa. Yhdellä näyteasemalla todettiin myös jäännemassaisia. Eteläosassa (Laine-6) todettiin myös värysmatoja.

Valkokatkaa esiintyy koko Itämeren alueella, lukuun ottamatta vähäsuolaisempia alueita kuten Perämeren ja itäisintä Suomenlahtea. Valkokatka on kylmän ja syvän veden laji, joka viihtyy hapekkaissa liejupohjissa. Valkokatka on yleinen laji Itämerellä, mutta luokitellaan herkäksi lajiksi. Kilkki on Itämeren suurin siiralaji ja niitä esiintyy koko lähes koko Itämeren alueella. Kilkki elää kaikenlaisilla pohjilla, matalissa ja syvissä vesissä, suosien kylmää vettä. Kilkki on Suomessa elinvoimainen laji. Liejusimpukkaa on Itämeren liejupohjien tyyppisimpukkaa. Liejusimpukkaa on Itämeren runsaslukuisin ja laajimmalle levinnyt simpukkalaji. Se viihtyy pehmeissä pohjissa ja on runsaimmillaan matalissa vesissä, mutta esiintyy jopa 100 metrin syvyydessä. Pystyy elämään vähähappisissa oloissa. Jäännemassainen elää koko Itämeren alueella syvissä ja hapekkaissa vesissä. Värysmatoja tavataan koko Itämeren alueella. Liejuputkimatoja esiintyy koko Itämeren alueella. Liejuputkimadot elävät pehmeillä pohjilla sekä matalissa että syvissä vesissä. Madot sietävät heikkoja happioita ja se on vieraslaji, mutta vakiintunut laji Suomen merialueilla.

Kaapeli- ja putkireitin MVE1/VVE1 pohjan ekologiset tilat olivat hyviä, lisäksi yksi asema oli erinomaisessa tilassa. Kaapelireitin alueella oli kolme asemaa, joissa valkokatkan biomassa ylitti 50 % koko pohjaeläinten biomassasta ja pohja luokitellaan uhanalaiseksi valkokatka-merivalkokatkapohjaksi. Asemilta todettiin yhteensä 34 erilaista taksonia mm. vaeltajakotiloita, harvasukasmatoja, raakkuäyriäisiä, hankajalkaisia, polttiaisia sekä surviaissääskiä, sukkulamatoja, värysmatoja, ja vesikirppuja.

Kaapelireitin MVE2 pohjan eliöiden tilat vaihtelivat välttävästään tyydyttävään ja hyvään tutkimusajankohdasta riippuen. Lajisto oli pääosin samanlaista kuin reitillä MVE1. Asemilla havaittiin vaihdellen 2...15 pohjaeläintaksonia, rannan läheisyydessä lajisto oli runsaampaa.

Kaapelireitin MVE3 alueella lajisto oli samankaltaista kuin reiteillä MVE1 ja MVE2, mutta lajirikkaudeltaan vähäisempää. Pohjan luokittelu vaihteli välttävistä erinomaiseen.

Kaapeli- ja vetyputkireittien MVE4/VVE2 ja MVE5/VVE3 pohjan eliöiden tilan luokittelu vaihteli huonosta hyvään. Rannan läheisyydessä eläimistö oli harvasukasmatovaltaisia. Putkireittien rantautumisalueella tavattiin suurimmat pohjaeläinmassat. Vetyputkireitillä todettiin tutkimuksen ainoa asemat (LSED-58 ja LSED-66), jossa havaittiin erittäin herkäsi luokiteltuja raakkuäyriäisiä. Raakkuäyriäistä esiintyy runsaslukuisena koko Itämeren alueella, ja ne elävät lähinnä pohjasedimenttiin kaivautuneena.

4 Ruopattavan sedimentin normalisoidut pitoisuudet ja läjityskelpoisuus

4.1 Ruopattavan sedimentin normalisoitujen pitoisuuksien laskenta

Tutkimuksissa pintakerroksesta näytteet on otettu erikseen syvyyksiltä 0–10 cm ja 10–30 cm. Sedimentin läjityskelpoisuutta arvioidaan kuitenkin em. näytteenottosyvyyksistä poiketen siten, että arvioitavan kerroksen paksuus on 30 cm (Ympäristöministeriö, 2015⁶). Kerrospaksuus on valittu vastaamaan ohuinta erikseen teknisesti ruopattavissa olevaa kerrosta. Ylimmän 30 cm kerroksen haitta-ainepitoisuus lasketaan kerroksittain mitattujen tulosten perusteella kaavalla:

$$C_{0-30} = 1/3 \times C_{0-10} + 2/3 \times C_{10-30}$$

Laskettuja pitoisuuksia verrataan läjityskelpoisuuden pitoisuustasoihin. Pintakerroksen (0–30 cm) haitta-ainepitoisuuksien mukaiset läjityskelpoisuuden pitoisuustasot on esitetty liitteessä 4.

4.2 Sedimentin läjityskelpoisuuden pitoisuustasot alueittain

Taulukossa 5 on esitetty yhteenvedona yhdisteiden korkeimmat pitoisuustasot hankealueittain huomioiden ohuin ruopattavissa oleva pintasedimentin kerrospaksuus (pintasedimentin läjityskelpoisuus määritetty 30 cm kerrospaksuudella). Lähes koko hankealueella PCDD/F-yhdisteiden normalisoidut pitoisuudet ovat tasolla 1B. Suunnitteluilla läjitysaluilla Laine-1 ja Laine-2 sekä kaapelireiteillä MVE1 ja MVE3 yksittäisiä PCDD/F-yhdisteitä ei ole todettu määräysrajat ylittäviä pitoisuuksia, mutta normalisointitavan takia pitoisuudet ovat pääsin tasolla 1B (kappale 3.3.3). Kaapelireitillä MVE2 todettiin yksittäisessä tutkimuspisteessä (LSED-28) PCDD/F-yhdisteitä pitoisuustasolla 1C. Läjitysaluella Laine-4 lyijyä todettiin yhdessä yksittäisessä näytteessä (LSED-67) tasolla 1B. Kaapelireitillä MVE1a nikkeliä todettiin vastaavasti vain yksittäisessä näytteessä (LSED-36) pitoisuustasolla 2.

Taulukko 5. Kohonneita pitoisuuksia osoittavat haitta-ainetasot ja niillä esiintyvät haitta-aineet meriläjitystasoilla 1B...2 hankealueittain. Läjityskelpoisuus on arvioitu 30 cm kerrospaksuudelle. Harmaalla merkityissä soluissa yksittäisiä PCDD/F-yhdisteitä ei ole todettu määräysrajat ylittävänä pitoisuuksina.

Alue	Tason 1B haitta-aineet	Tason 1C haitta-aineet	Tason 2 haitta-aineet
Merituulivoimapuisto	PCDD/F, As, Cu	-	Ni, C ₁₀ -C ₄₀
Läjitysalueet			
Laine-1	PCDD/F	-	-

Alue	Tason 1B haitta-aineet	Tason 1C haitta-aineet	Tason 2 haitta-aineet
Laine-2	PCDD/F	-	-
Laine-3	PCDD/F	-	-
Laine-4	PCDD/F, Pb, C ₁₀ -C ₄₀	Cu	As, Ni
Laine-5	As, Cu		Ni, C ₁₀ -C ₄₀
Laine-6	PCDD/F, C ₁₀ -C ₄₀	-	-
Kaapeli- ja putkireitit			
MVE1a/VVE1	PCDD/F	-	Ni
MVE1b	PCDD/F	-	-
MVE2a	-	PCDD/F	-
MVE2b	PCDD/F	-	-
MVE3	PCDD/F	-	-
MVE4/VVE2	PCDD/F	-	-
MVE5/VVE3a	PCDD/F	-	-
MVE5/VVE3b	PCDD/F	-	-

4.3 Eroosioherkkyys ja sen vaikutus läjityskelpoisuuteen

Kun sedimentin irtotiheys alittaa 1 300 kg/m³, eroosioherkkyden vuoksi sedimentti voidaan tapauskohtaisesti luokitella pitoisuustasoaan yhtä ylempään luokkaan. Eroosioherkäksi määritellyn ruoppausmassan läjityskelpoisuuden arvioinnissa tarkastellaan tapauskohtaisesti sen sisältämien, merkityksellisissä pitoisuuksissa (tason 1A ylittävät pitoisuudet) esiintyvien haitallisten aineiden tyyppiä, lukumäärää ja pitoisuustasoja.

Eroosioherkyyteen vaikuttaa mm. vesipitoisuus, orgaanisen aineksen osuus sekä reakoko ja raekokojakauma, suolapitoisuus ja pH. Vesipitoisuuden kasvaessa ja irtotiheyden pienentyessä eroosioherkkyys yleensä kasvaa. Hienoaines parantaa sedimentin koheesiota ja koossapysymistä savipitoisuuteen 30–50 %. Myös orgaaninen aines parantaa koossapysymistä ja sitoo haitallisia aineita. Orgaaninen aines alentaa kuitenkin tiheyttä, joten korkeat orgaanisen aineksen pitoisuudet voivat muuttaa sedimentin eroosioherkemmäksi. Saven saaminen liikkeelle vaatii suhteellisen suuria virtausnopeuksia, mutta se kulkeutuu pitkiäkin matkoja. Siltti lähtee helpommin liikkeelle, mutta laskeutuu nopeammin. Yleisesti pehmeille sedimenteille, joissa on orgaanista ainesta, eroosion kannalta kriittinen virtausnopeus on 10 cm/s.

Kohteessa määritettiin sedimenttinäytteiden irtotiheys laskennallisesti (Håkanson ym. 1983⁶). Lisäksi on laskettu irtotiheys ohuimmalle ruopattavalle kerrospaksuudelle (30 cm) vastaavasti kuten normalisoidut pitoisuudet (kappale 4.2). Laskennalliset irtotiheydet on esitetty liitteessä 6. Eroosioherkkiä sedimenttejä on erityisesti läjitysalueilla Laine-4 ja Laine-5, jotka sijoittuvat tuulivoimapuiston koillispuolelle. Tuulivoimapuiston alueella eroosioherkkiä sedimenttejä on keski- ja luoteisosassa, lähinnä ylimmässä pintakerroksessa (0–10 cm). Kaapelireittien osalta eroosioherkkiä sedimenttejä on kaapeli- ja vetyputkireiteillä MVE4/VVE2 ja MVE5/VVE3 rannikon läheisyydessä. Lisäksi kaapeli- ja putkireitillä MVE1 kahdessa näytepisteessä (L-SED36 ja L-SED50) irtotiheys alittaa 1 300 kg/m³ 30 cm

⁶ Håkanson, L. & M. Jansson, 1983. Principles of Lake Sedimentology. Springer-Verlag. 313 p

pintakerroksessa. Vastaavasti myös kaapelireittien eteläisellä läjitysalueella (Laine-3) todettiin yhdessä näytepisteessä (L-SED49) eroosioherkkää sedimenttiä 30 cm pintakerroksessa.

Merituulivoimapuiston alueella on todettu sedimenttitutkimuksissa arseenia, nikkeliä ja kuparia, PCDD/F-yhdisteitä sekä öljyhiilivetyä, joiden läjityskelpoisuuden pitoisuustasoa nostettiin, kun näytteen laskennallinen irtotiheys alitti 1300 kg/m³. Muita tutkittuja yhdisteitä esiintyi määrällisesti vähän eikä läjityskelpoisuuden pitoisuustasoa muutettu niiden osalta.

Läjitysalueilla Laine-4 ja Laine-5 todettiin laajalti eroosioherkkää sedimenttiä. Näillä alueilla sedimentin haitta-aineet luokitellaan pääsääntöisesti pitoisuustasoaan yhtä ylempään luokkaan lukuun ottamatta eräitä metalleja ja PAH-yhdisteitä, joita ei esiinny määrällisesti merkittäviä pitoisuuksia tai määriä. Läjitysalueilla sedimenttiä ei ole tarkoitus ruopata ennen läjityksen aloittamista, mutta tarkastelu tehdään kaikille alueille, joille sedimenttitulokset on normalisoitu. Läjitysalueilla ja merituulivoimapuiston alueella ruopattavan massan läjityskelpoisuus on kuitenkin korkeimmillaan tasolla 2 ilman irtotiheydenkin huomioimista.

Kaapeli- ja putkireiteillä MVE4/VVE2 ja MVE5/VVE3 rannikon läheisyydessä PCDD/F-yhdisteitä esiintyy laajalti pitoisuustasolla 1B. Esiintymisen ja yhdisteiden ominaisuuksien perusteella ruopattavan massan pitoisuustason arvioidaan nousevan tasolle 1C (näytepisteet LSED-20, LSED-21 ja LSED-58...LSED-60 ja LSED-66). Lisäksi tributyyliä ja öljyhiilivetyä esiintyy laajalti rannikon läheisyydessä pitoisuustasolla 1A, jolloin läjityskelpoisuus arvioidaan tasolle 1B.

Kaapeli- ja putkireiteillä MVE1/VVE1 ruopattavan sedimentin pitoisuustaso ei muutu, sillä haitta-aineiden PCDD/F-yhdisteistä ei ole todettu laboratorion määritysrajan ylittäviä pitoisuuksia vaikkakin yhdisteiden normalisoitu pitoisuus on tasolla 1B (kappale 3.3.3).

Läjitysalueella Laine-3 (LSED-48 ja LSED-49) haitta-aineiden normalisoidut pitoisuudet ovat pääsääntöisesti tasolla 1. Tutkimuspisteen LSED-49 yhdessä näytteessä on todettu määritysrajan ylittäviä PCDD/F-yhdisteiden pitoisuuksia ja normalisoitu pitoisuus on tasolla 1B. Koska läjitysalueella PCDD/F-yhdistettä esiintyy määrällisesti vain vähän eikä sen läheisyydessä kaapelireiteillä MVE1/VVE1 ole todettu määritysrajan ylittäviä pitoisuuksia, ei läjityskelpoisuuden pitoisuustasoa nosteta.

Taulukko 6. Kohonneita pitoisuuksia osoittavat haitta-ainetasot ja niillä esiintyvät haitta-aineet meriläjitystasolla 1B...2 hankealueittain. Läjityskelpoisuus on arvioitu 30 cm kerrospaksuudelle eroosioherkkyys huomioiden. Harmaalla merkityissä soluissa yksittäisiä PCDD/F-yhdisteitä ei ole todettu määritysrajan ylittävänä pitoisuuksina. Punaisella merkittyjen haitta-aineiden pitoisuustasoa on nostettu eroosioherkkyuden vuoksi.

Alue	Tason 1B haitta-aineet	Tason 1C haitta-aineet	Tason 2 haitta-aineet
Merituulivoimapuisto	As, Cu, PCDD/F	-	Ni, C ₁₀ -C ₄₀
Läjitysalueet			
Laine-1	PCDD/F	-	-
Laine-2	PCDD/F	-	-

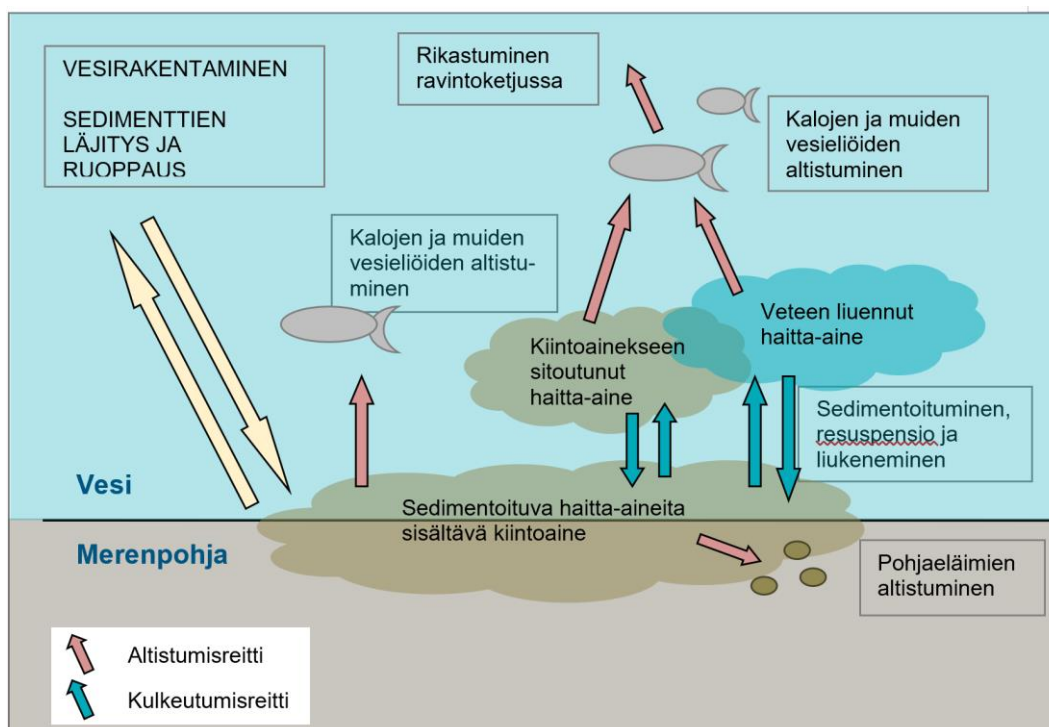
Alue	Tason 1B haitta-aineet	Tason 1C haitta-aineet	Tason 2 haitta-aineet
Laine-3	PCDD/F	-	-
Laine-4	Hg, Zn	Cu, Pb C ₁₀ -C ₄₀ , PCDD/F	As, Ni
Laine-5	PCDD/F, Hg, Cd	Cu	Ni, C ₁₀ -C ₄₀
Laine-6	PCDD/F, C ₁₀ -C ₄₀	-	-
Kaapeli- ja putkireitit			
MVE1a/VVE1	PCDD/F	-	Ni
MVE1b	PCDD/F	-	-
MVE2a	-	PCDD/F	-
MVE2b	PCDD/F	-	-
MVE3	PCDD/F	-	-
MVE4/VVE2 MVE5/VVE3	C ₁₀ -C ₄₀ , tributyyliini, Cu, Cd, Zn	PCDD/F	-

Merkittävin muutos on useiden haitta-aineiden tason nouseminen pitoisuustasolle 1B erityisesti merituulivoimapaiston ulkopuolisilla läjitysalueella Laine-4 ja Laine-5 sekä vetyputkireitin MVE4/VVE2 ja MVE5/VVE3 rannikon läheisyydellä (Taulukko 6). Lisäksi merituulivoimapaiston ja kaapeli- ja putkireittien tutkimuskäytävien MVE4/VVE2 ja MVE5/VVE3 alueilla PCDD/F-yhdisteiden läjityskelpoisuus nousi korkeimmillaan tasolle 1C. Läjityskelpoisuuden pitoisuustasot on esitetty pisteittäin tämän raportin liitteessä 5 ja piirustusliitteessä 2.

5 Käsitteellinen malli

Käsitteellisessä mallissa kuvataan haitta-aineita sisältävän sedimentin mahdollisesti aiheuttamien riskien muodostumista tulevassa käytössä merituulivoimapaistona ja sen rakentamisen aikana. Merituulivoimapaiston ja vedyntuotannon sekä merikaapeli- ja vetyputkien rakentaminen edellyttää vesirakentamista esim. ruoppausta ja täyttöö (meriperustukset ja mahdollinen kaapelin/putken suojaus). Lisäksi sedimenttejä on suunniteltu läjitettävän merelle. Riski voi muodostua, jos on lähde-, kulkeutumis- ja altistusreitti sekä altistujia. Jos yksikin näistä tekijöistä puuttuu, riskiä ei voi muodostua. Käsitteellisen mallin avulla voidaan rajata pois ne reitit tai riskit, jotka eivät ole mahdollisia tai todennäköisiä, ja valita oleelliset tarkempaan tarkasteluun.

Pääsääntöisesti haitta-aineiden pitoisuustaso 1 edustaa luontaista pitoisuutta. Kaikkien haitta-aineiden osalta pitoisuustaso 1A on asetettu siten, ettei aineesta arvioida aiheutuvan haittaa vesiympäristössä. Metallien ja puolimetallien pitoisuustaso 1B on asetettu siten, että lyhytkestoisesta altistumisesta ei arvioida aiheutuvan haittaa vesieliöstölle. Öljyhiilivetyjen ja organotinojen pitoisuustasot on asetettu hallinnollisin perustein. PCB-yhdisteiden sekä PCDD/F-yhdisteiden pitoisuustasot 1A–2 on asetettu ensisijaisesti niiden poistamiseksi kierrosta huomioiden esiintyminen ja päästörajoitukset. Näin ollen riskinarviotarkastelu rajataan tason 1C ja 2 haitta-aineisiin sekä niiden aiheuttamiin ekologisiin ja kulkeutumisriskeihin. Tätä alemmilla pitoisuustasoilla ei haitta-aineiden arvioida aiheuttavan merkittäviä vaikutuksia alueen ekologiaalle tai kulkeutuvan merkittävästi. Käsitteellinen malli on havainnollistettu kuvassa 5.



Kuva 5. Käsitteellinen malli sedimenttien vesirakentamiseen sekä ruoppauksen ja läjitykseen liittyvistä kulkeutumis- ja altistumisreiteistä.

Mahdollisena haitta-aineiden päästölähteenä ovat haitta-aineita sisältävät sedimentit, jotka tässä arvioissa on arvioitu ruopattavan ja meriläjitettävän, sekä lisäksi kaapeli- ja putkireiteillä ruoppaukselle on esitetty teknisessä suunnittelussa vaihtoehtona myös vesipaine puhallus. Kaapeleiden vesipaine puhallus on tehokas menetelmä alueilla, joilla on paksu kerros pehmeitä pintasedimenttejä, kuten silttiä ja hiekkaa. Tässä menetelmässä käytetään vesisuihkulla varustettua laitetta, kuten kauko-ohjattavaa alustaa, joka suihkuttaa vettä korkealla paineella nesteyttämällä sedimenttiä siten, että kaapeli uppoaa määriteltyyn syvyyteen. Tarkempi eri merenpohjan muokkausten menetelmien kuvaus on hankkeen YVA-selostuksen teknisessä kuvauksessa.

Haitta-aineiden arvioidaan olevan osin luonnollista alkuperää ja osin rannikolla harjoitetun toiminnan myötä sedimentteihin päätyneitä sekä joen kuljettamaa kiintoainekuormitusta, joka on sedimentoitunut merenpohjalle.

Mahdollisia kulkeutumisreittejä ovat seuraavat:

- Kulkeutuminen vesifaasissa kiintoainekseen sitoutuneena tai liuenneena vesirakentamisen ja läjitustoiminnan aikana
- Kulkeutuminen kertaalleen sedimentoituneesta läjitetystä aineksesta takaisin suspensioon tai liuenneeseen muotoon (esim. hapettomissa olosuhteissa tai merivirtojen vaikutuksesta)

Mahdollisia altistumisreittejä ovat seuraavat:

- Vesieläimien altistuminen haitta-aineille ruoppaus- ja läjitysalueella ja sen läheisyydessä
- Vesieläimien (ml. pohjaeläimet) suora altistuminen haitta-aineille sedimentoituneen aineksen kautta

- Vesieliöiden, lintujen, nisäkkäiden ja ihmisten altistuminen ravinnon kautta (rikastuminen ravintoketjussa)

6 Kriittiset haitta-aineet

6.1 Kriittisten haitta-aineiden valinta

Kriittisiksi haitta-aineiksi valitaan ne haitta-aineet, jotka esiintymisen, pitoisuuksien ja/tai ominaisuuksien vuoksi voivat aiheuttaa haittaa tai vaaraa meren eliöstölle. Kriittisiksi aineiksi valitaan yhdisteet, joita esiintyy tasolla 1C tai korkeammalla tasolla määrällisesti siten, että niistä voidaan arvioida aiheutuvan haittaa tai vaaraa pitkäkestoisessa altistumisessa. Tällaisia haitta-aineita hankealueella ovat:

- metallit: arseeni, nikkeli ja kupari
- öljyhiilivedyt (C_{10} - C_{40})
- dioksiinit ja furaanit (PCDD/F-yhdisteet)

Kriittiseksi yhdisteeksi ei valita lyijyä, jonka pitoisuustaso nousi tasolle 1C vain yhdessä näytteessä eroosioherkkyyden tarkastelussa.

Kriittisten yhdisteiden ominaisuuksia voidaan kuvata seuraavasti:

6.1.1 Arseeni

Arseeni on luonnossa yleinen ja tavallisimmin sulfidimineraalien kanssa esiintyvä puolimetalli. Maaperässä se esiintyy hapetusasteilla 0, +3 ja +5. Hapettavissa oloissa arseeni esiintyy hapetusluvulla +5 ja pelkistävässä sekä happamissa oloissa hapetusluvuilla +3 ja 0. As^{5+} -ioni muodostaa hapettavissa oloissa maavedessä liukoisia arsenaattianioneja. Arseenin myrkyllisyyteen vaikuttavat hapetusaste, esiintymismuoto ja pitoisuus. Kolmenarvoinen arseeni on selvästi haitallisempi kuin viidenarvoinen. Lisäksi liukoisessa muodossa oleva arseeni on haitallisempi kuin sitoutuneessa muodossa oleva.

Arseenin esiintymiseen merisedimenteissä vaikuttavat voimakkaasti hapetus-pelkistysolosuhteet. Lisäksi arseenin sitoutumiseen vaikuttavat pH, raudan ja mangaanin oksidien ja hydroksidien, saven sekä orgaanisen aineksen määrät. Arseenilla on voimakas taipumus sitoutua mm. saveen ja orgaaniseen ainekseen. Karkearakeisissa maalajeissa arseeni voi olla helposti liikkuvaa, ja se voi kulkeutua mm. maaperästä pohjaveteen. Arseeni on luonnossa yleinen, tavallisimmin sulfidimineraalien kanssa esiintyvä puolimetalli. Korkeita arseenipitoisuuksia voi esiintyä alueilla, jossa kallioperässä esiintyy runsaasti arseenia. Luontaisesti kohonneiden pitoisuuksien lisäksi paikallista arseenikuormitusta on aiheuttanut arseenin käyttö puunsuojaukseen CCA-kyllästyneenä.

Pohjanmerellä ja etenkin Perämerellä arseenipitoisuuksien on todettu olevan yleisesti koholla arvioidusta taustapitoisuudesta ja muita Itämeren sedimenttejä korkeampia. Eri tutkimuksissa Perämeren kertymäpohjien pintasedimenttien keskimääräiset arseenipitoisuudet ovat 109–239 mg/kg (ylempi ohjeavo on 100 mg/kg). Ruotsin rannikkoalueen sedimentissä on todettu Suomea korkeampia pitoisuuksia, joihin osasyynä on ollut metallurgian tehdas. (GTK 2004⁷). Arseenipitoisuuksien arvioidaan olevan peräisin ihmistoiminasta (teollisuus, hajakuormitus ja kaukokulkeuma) sekä luontaisesta kuormituksesta. Kallioperässä mm. Seinäjoen ympäristössä on korkeita pitoisuuksia arseenia.

⁷ **Geologian tutkimuskeskus (GTK) 2004.** Arseeni Suomen luonnossa, Ympäristövaikutukset ja riskit. Loukola-Ruskeeniemi, K. & Lahermo, P (toim.). 178 s. (18.3.2024)
https://tupa.gtk.fi/julkaisu/erikoisjulkaisu/ej_045.pdf

Arseeni voi olla lähtöisin myös vanhoista arseenipitoisista sedimenteistä, jotka esim. maankohoamisen ja virtausmuutosten vuoksi ovat joutuneet eroosion kohteeksi.

Suomen malmeissa ja niitä ympäröivissä malmiutuneissa vyöhykkeissä arseenipitoisuudet ovat monesti 10–1000-kertaisia ympäröivään kallioperään verrattuna. Esimerkiksi granitodeihin liittyvissä Au- ja Cu-esiintymissä voi arseenia olla runsaasti. Yleisin arseenimineraali Suomen kallioperässä ja malmiesiintymissä on arseenikiisu. Pohjanmaan rannikkoalueen kallioperä on kiilleliusketta ja migmatiittia sekä granitoideja. Etelä- ja Keskipohjanmaalla on lukuisia anomaalisia arseenialueita kuten Seinäjoen Au-Sb -esiintymä, jossa arseenin pitoisuus on >1000 mg/kg. Myös Seinäjoen maaperässä on todettu kohonneita pitoisuuksia arseenia. Arseenin kulkeutuminen mm. jokisedimenttien mukana mereen voi olla mahdollista.

Arseeni on erittäin myrkyllistä vesieliöille. Monista muista raskasmetalleista poiketen arseeni ei rikastu elimistöön. (Reinikainen, 2007⁸)

6.1.2 Nikkeli

Nikkeli esiintyy luonnossa useilla eri hapetusasteilla, joista tavallisin on +2. Suomen kallioperässä nikkeliä esiintyy luontaisesti nikkelisulfidimineraaleissa sekä sitoutuneena rautasulfidi- ja silikaattimineraaleihin. Nikkelin liukoisuuteen vaikuttavat orgaanisen aineksen ja alumiinipitoisten savimineraalien määrä. Nikkeli pidättyy orgaaniseen ainekseen ja hienoaineksen savi- ja oksidimineraaleihin. Nikkelin liukoisuus kasvaa happamissa olosuhteissa. Nikkeli on yleisesti niukkaliukoinen. Pelkistävissä olosuhteissa nikkeli voi saostua sulfideina ja emäksisissä olosuhteissa se voi kersaastua rautaoksidien kanssa. Osa nikkeliyhdisteistä on erittäin myrkyllistä vesieliöstölle. Nikkeliä voi päästä luontoon kaivos- ja metalliteollisuudesta sekä energiantuotannon tuhista ja kuonista sekä ilmalaskeumana kivihiilien poltosta.

Etelä- ja Keski-Pohjanmaan alueella on runsaasti potentiaalisia happamia sulfaattimaita. Happamien sulfaattimaiden aiheuttaman kuormituksen vuoksi Suomen merialueilla on todettu kohonneita metallipitoisuuksia mm. nikkeliä sedimentissä yli 25 kilometrin etäisyydellä jokisuista. Tutkimuksissa Vaasan saaristossa metallipitoisuudet ylittävät vakavaan haittaan eliöstölle viittaavat raja-arvot. Metallien on arvioitu kulkeutuvan merelle mahdollisesti keveisiin orgaanisiin hiukkasiin kiinnittyneinä. Metallipitoisuudet 12 km etäisyydelle asti jokisuista ylittivät myös sedimenttien ruoppaus- läjitysohjeen meriläjäytukseen kelpaamattoman aineksen raja-arvon. (Virtasalo ym. 2020⁹)

6.1.3 Kupari

Kupari esiintyy luonnossa hapetusluvuilla 0, +1 ja +2. Maaperässä sitä esiintyy sulfidi- ja silikaattimineraaleissa sekä rauta-, alumiini- ja mangaanioksidisaostumiin absorboituneena ja orgaaniseen ainekseen kiinnittyneenä. Maaperän happamuus ja kuparia sitovien aineksien vähyys lisäävät kulkeutuvuutta. Kupari sitoutuu yleisesti ottaen maaperään tiukasti ja on muihin raskasmetalleihin verrattuna kohtalaisen liikkumaton. Kupari on mobiilein hapettavissa ja happamassa ympäristössä pH:n ollessa alle 4 (Heikkinen 2000¹⁰).

⁸ Suomen ympäristökeskus 2007. Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittämisperusteet. Suomen ympäristö 23/2007. 90 sivua + liitteet.

⁹ Virtasalo, Joonas J; Österholm, Peter; Kotilainen, Aarno T; Åström, Mats E 2020. Enrichment of trace metals from acid sulphate soils in sediments of the Kvarken Archipelago, eastern Gulf of Bothnia, Baltic Sea. Biogeosciences.

¹⁰ Geologian tutkimuskeskus (GTK) 2000. Tutkimusraportti 150. Haitta-aineiden sitoutuminen ja kulkeutuminen maaperässä. Heikkinen, P. 74 s.

Ihmistoiminnan seurauksena maaperään joutunut kupari on usein liukoisemmassa muodossa kuin maaperässä luonnollisesti oleva kupari (Reinikainen, 2007¹¹). Sitä joutuu ympäristöön metalli- ja kaivosteollisuuden päästöistä, fossiilisten polttoaineiden ja jätteen poltosta sekä mm. hyönteismyrkyistä ja puutavaran kyllästysaineista. Teollisuuden sivutuotteista kuparia sisältävät mm tuhkat, rikinpoistotuotteet, kuonat ja betonimurskeet sisältävät kuparia sekä kaivosteollisuuden sivukivet ja rikastushiekat. (Heikkinen, 2000¹¹)

Kupari on erittäin myrkyllistä vesiliöille. Pieninä annoksina se on välttämätön hivenaine ihmisille, eläimille ja kasveille. (Reinikainen 2007⁹)

6.1.4 Öljyhiilivedyt

Poltto- ja voiteluaineena käytettävät mineraaliöljyt ovat vettä kevyempiä orgaanisia kemikaaleja. Öljyhiilivedyt voivat esiintyä maaperässä tai sedimentissä omana faasinaan, partikkeleihin sitoutuneena, huokos- tai orsiveteen liuenneena tai huokosilmaan haihtuneena. Eri öljy-yhdisteiden jakautuminen näihin faaseihin riippuu yhdisteen molekyyliarakenteesta (mm. molekyylikoko, kaksoissidosten määrä ja rengasrakenteiden osuus).

Öljyhiilivetyjen hajoamisnopeus ja haihtuvuus sekä vesiliukoisuus pienenevät molekyylikoon kasvaessa. Keskiraskaiden jakeiden (C₁₀–C₂₁) kevyet aromaattiset hiilivedyt liukenevat hyvin veteen ja kaikki kevyimmät hiilivedyt ovat herkästi haihtuvia. Keskiraskaiden jakeiden luontainen hajoaminen on suurta. Raskas polttoöljy on lähes liukenematonta veteen. Raskaiden öljyjakeiden (C₂₂–C₄₀) luontainen hajoaminen on vähäistä. Öljyhiilivedyt sitoutuvat orgaaniseen ainekseen ja sedimentin hienoainekseen, mikä hidastaa hajoamista. Öljyhiilivetyjen kulkeutuminen on hidasta ja raskaat hiilivedyt luokitellaan kulkeutumattomiksi. Yleisesti diesel- ja polttoöljyn on todettu olevan haitallisia tai myrkyllisiä vesieliöstölle ja voivat aiheuttaa pitkäaikaisia haittavaikutuksia. Osa dieselöljyn komponenteista on vesiliöihin kertyviä, pääsääntöisesti ne luokitellaan hieman kertyviksi. Raskaimmat hiilivedyt painuvat vesistöissä pohjaan ja sedimentoituvat. Lisäksi ne absorboituvat vedessä oleviin hiukkasiin.

6.1.5 Dioksiinit ja furaanit (PCDD/F)

Polyklooratut dibentsodioksiinit ja -furaanit ovat orgaanisia klooriyhdisteitä. Ne kuuluvat ns. POP-yhdisteisiin (persistent organic pollutants). Dioksiineilla ja furaaneilla voi olla lukuisia isomeerejä. Dioksiineja ja furaaneja ei ole valmistettu teollisiin tarkoituksiin, vaan niitä syntyy orgaanisten aineiden ja kloorin reagoiessa poltto- ja teollisuusprosesseissa. Lisäksi niitä esiintyy epäpuhtauksina muissa kemikaaleissa. Suomessa PCDD/F-yhdisteitä on päässyt ympäristöön erityisesti vanhoilla saha-alueilla, koska yhdisteitä esiintyi puutavaran käsittelyssä yleisesti käytetyssä Ky-5-kloorifenolivalmisteesta.

Dioksiinit ja furaanit ovat PCB-yhdisteiden tapaan ympäristössä pysyviä yhdisteitä. Yhdisteet kiinnittyvät tiukasti hienoainekseen ja orgaaniseen ainekseen ja ne luokitellaan kulkeutumattomiksi. Dioksiinit ja furaanit ovat hyvin niukkaliukoisia. Ne voivat kertyä vesiliöihin ja rikastua ravintoketjussa. Dioksiinit ja furaanit ovat erittäin myrkyllisiä vesiliöille.

Dioksiiniden ja furaanien kokonaismyrkyllisyys ja pitoisuudet ilmoitetaan tavallisesti ns. toksisuusekvivalentteina ryhmän myrkyllisimpään yhdisteeseen TCDD:hen suhteutettuna käyttämällä WHO:n esittämiä kertoimia. Voimassa olevat TEF-arvot on ehdottanut Maailman

¹¹ **Suomen ympäristökeskus 2007.** Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittämisperusteet. Suomen ympäristö 23/2007. 90 sivua + liitteet.

Terveysjärjestön WHO:n asiantuntijaryhmä vuonna 2005¹². Ky-5:ssä TCDD-pitoisuus on hyvin vähäinen ja sen toksisuusekvivalentti muodostuu enimmäkseen 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF:stä ja 1,2,3,6,7,8-HxCDD:sta, jotka eivät ole yhtä myrkyllisiä ja pysyviä kuin TCDD.

Vesieliöiden mahdollinen altistus dioksiineille ja furaaneille tapahtuu yleensä kiintoaineksen kautta. Nisäkkäät ja linnut voivat altistua yhdisteille ravinnon kautta.

Rannikon sedimenteissä esiintyy pääsääntöisesti 1,2,3,4,6,7,8-heptaCDF- ja OCDF-yhdisteitä sekä osin myös OCDD-yhdistettä, mikä viittaa puunsuoja-aineeseen KY-5. Yhdisteiden WHO-TEF-arvot ovat 0,01 ja 0,003, jotka kertovat niiden toksisuudesta verrattuna myrkyllisimpänä pidettyyn dioksiiniyhdisteeseen TCDD:hen, jonka TEF-arvo on 1,0. Riskinarviossa on käytetty dioksiinien ja furaanien summapitoisuuden ylärajaa, joka on painotettu yhdisteiden TEF-arvoilla (WHO-TEQ upper bound). Merituulipuiston ja suunniteltujen läjitysalueiden sedimentissä esiintyy myös muita PCDD/F-yhdisteitä.

7 Ekologiset riskit – laskennat ja viitearvovertailut

7.1 Menetelmät ja lähtöparametrit

Ekologisia riskejä tarkastellaan vertaamalla eliöstön käytettävissä olevia haitta-ainepitoisuuksia saatavilla oleviin ekologiin viitearvoihin. Vesirakentaminen ja sedimenttien läjityksen aiheuttamaa resuspensatiota ja sedimentistä vesimassaan liukenevia haitta-ainepitoisuuksia sekä huokosveden pitoisuuksia arvioidaan laskennallisesti. Laskennallisia pitoisuuksia verrataan ekologiin viitearvoihin.

Sedimentistä vesimassaan liukenevien haitta-ainepitoisuuksien laskennassa sedimentistä veteen aiheutuvan kiintoaineen määrä on merkittävä tekijä. Vesirakentaminen (ruoppaus ja vesipainepuhallus) nostaa veden kiintoainepitoisuuksia ruoppauskohteessa ja sen lähistöllä. On yleisesti arvioitu, että mekaanisissa ruoppauksissa veden kiintoainepitoisuus ruoppauskohteen lähellä on pääosin alle 100 mg/l ja lähes kaikissa tapauksissa alle 300 mg/l (Rossi 2007¹³). Helsingin edustalla tehdyissä kauharuoppauksissa suurimmat yksittäiset kiintoainepitoisuudet ovat olleet noin 200 mg/l. Läjitysalueilla läjityksen aikana kiintoainepitoisuus on enimmillään noin 100 mg/l. Vuosaaren alueella tehtyjen ruoppausten ja meriläjityksen aikana sameus oli töiden aikana enimmillään luokkaa 100 NTU, eli kiintoainepitoisuus oli noin 100 mg/l. Suurimmat kiintoainepitoisuudet ruoppauksen ja läjityksen aikana ovat pohjan läheisyydessä.

Hankealueelle on laadittu vesirakentamisen yhteydessä veteen suspendoituvan kiintoaineksen leviämämalli (Niras¹). Mallit on laadittu kahdelle eri kokoiselle tuulivoimapuistolle (150 kpl 15 MW ja 113 kpl 20 MW). Kaapelireittien osalta malli on laadittu kahdelle eri menetelmälle siten, että kaapelireitit joko vesipainepuhalletaan koko matkalta tai vesipainepuhallus toteutetaan, kun vesisyvyys on yli 15 m ja matalammassa vedessä ruopataan. Malli on tehty ns. worst case -periaatteella, mallissa mm. kaikkien osa-alueiden ruoppauksen ja läjityksen arvioitu tapahtuvan yhden avovesikauden aikana, mikä on erittäin

¹² **The 2005 World Health Organization Reevaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-Like Compounds.** Toxicological Sciences 2006:93:223-241. van den Berg M ym.

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Toksisuusekvivalenttikerroin>

¹³ **Rossi, E. 2007.** Riskinarvio Pohjankurunväylän lievästi kontaminoituneen sedimenttien ruoppauksesta ja läjittämisestä. Merenkululaitos, 30.7.2007. 26 s.

epätodennäköistä johtuen hankkeen koosta, avovesikauden lyhydestä ja kalustoresurssien rajallisuudesta.

Leviämämallissa merkittävimmät vaikutukset todetaan pohjan läheisyydessä. Pinta-alallisesti laajimmin esiintyvät kiintoainespitoisuudet ovat tasolla 10 mg/l...50 mg/l. Pohjan läheisyydessä todetaan lyhytaikaisesti noin 10 mg/l kiintoainepitoisuuksia lähes koko tuulivoimapuiston alueella (noin 425 km² alueella) lyhytaikaisesti ruoppauksen jälkeen. Kiintoainespitoisuus 100 mg/l ylittyy lyhytaikaisesti <10 km² alueella (2 % pinta-alasta) riippuen tuulivoimaloiden määrästä ja suuruudesta lähinnä voimaloiden välisillä yhdyskaapelireiteillä ja läjitysalueilla. Pidempiaikaista (2 d) voimakasta samentumista (100 mg/l) on havaittavissa pohjan läheisyydessä hyvin pienellä (0,5 km²) alueella, lähinnä läjitysalueilla. Realistisena maksimipitoisuutena työn aikana ja lyhytaikaisesti sen jälkeen voidaan pitää kiintoainespitoisuutta 100 mg/l. Tuulivoimapuiston alueella pohjan läheisyydessä (5 m pohjan yläpuolella) voidaan todeta mallin mukaan lyhytaikaisesti (6 h) korkeita kiintoainespitoisuuksia (500 mg/l) noin 3 km² alueella (hankealue noin 450 km²). Kaapeli- ja vetyputkireittien alueella merkittävimmät vaikutukset todetaan pohjoisen kaapeli- ja putkireitin MVE4/VVE2 ja MVE5/VVE3 ja kaapelireitin MVE1/VVE1 rannan läheisyydessä sekä läjitysalueiden ympäristössä. Ruoppauksen ja vesipainepuhalluksen yhdistelmällä vaikutukset ovat laaja-alaisempia ja pitkäkestoisempia kuin yksistään vesipainepuhalluksella. Tarkemmat tiedot on esitetty em. Niraksen raportissa sekä mallinnuksen tuloksia on käsitelty lisäksi hankkeen YVA-selostuksessa laajemmin.

Tässä arvioinnissa käytetään kiintoainespitoisuuksia 30 mg/kg, 100 mg/kg ja 200 mg/kg kuvaamaan kuormitusta. Vesirakentamisen yleisiä ja laaja-alaisia vaikutuksia sekä luonnollista resuspensaatiota pohjan läheisyydessä kuvataan kiintoainepitoisuudella 30 mg/kg. Realistista maksimia kuvataan kiintoainepitoisuudella 100 mg/kg ja ns. worst case -tapahtumaa kuvataan kiintoainepitoisuudella 200 mg/l.

7.2 Veteen muodostuvat haitta-ainepitoisuudet

Ruoppauksen ja ruoppausmassojen läjityksen yhteydessä esiintyviä haitta-aineiden aiheuttamia vaikutuksia arvioitiin määrittämällä haitta-aineiden laskennallisia vesimassaan liukenevia teoreettisia maksimi- ja keskiarvopitoisuuksia. Laskennassa hyödynnettiin Rossin (2007¹⁴) käyttämää mallia, jolla saadaan laskettua veteen liukenevien orgaanisten haitta-aineiden pitoisuuksia:

$$C_{diss} = \frac{10^3 q^i TSS_{wc}}{1 + K_d TSS_{wc}}$$

- C_{diss} = veteen liunneen haitta-aineen pitoisuus (µg/l)
- K_d = kiintoaine/vesi -jakautumiskerroin (l/kg)
- q^i = läjitettävän sedimentin haitta-ainepitoisuus (µg/g)
- TSS_{wc} = kiintoainespitoisuus (kg/l)

Haitta-aineiden liunneiden pitoisuuksien laskennassa on käytetty ruopattavan ja läjitettävän sedimentin lähtöpitoisuuksina (q^i) suurinta normalisoimatonta pitoisuutta, 95 %-fraktiilipitoisuutta sekä keskiarvoa. Tällöin saadaan tulokseksi mm. haitta-aineen suurin teoreettinen laskennallinen liunnut pitoisuus. Kiintoainespitoisuutena (TSS_{wc}) on käytetty arvoa 0,0001 kg/l (kiintoainespitoisuus 100 mg/l) ja herkkyytarkastelussa käytetään arvoa 0,0002 kg/l (200 mg/l) (kappale 7.1). Lisäksi on käytetty kiintoainespitoisuutta 30 mg/l arvioimaan keskimääräisiä vaikutuksia vesirakentamisen yhteydessä sekä luonnollista resuspensaatiota esim. myrskyjen yhteydessä.

Jakautumiskertoimina (K_d) on käytetty kirjallisuuteen pohjautuvia arvoja metallien osalta (Ympäristöministeriö 2014)¹⁴. Lisäksi määritettiin kohdekohtainen K_d -arvo metalleille merituulivoimapuiston sedimenteistä määritettyjen vesiliukoisten pitoisuuksien keskiarvon perusteella kaavalla:

$$K_d = C_s / C_w$$

- C_s = pitoisuus sedimentissä (mg/kg)
- C_w = pitoisuus huokosvedessä (mg/l)

Orgaanisten yhdisteiden osalta K_d -arvot määritettiin laskennallisesti käyttäen seuraavaa kaavaa:

$$K_d = K_{oc} * f_{oc}$$

- K_d = kiintoaine/vesi -jakautumiskerroin (l/kg)
- K_{oc} = orgaaninen hiili/vesi -jakautumiskerroin
- f_{oc} = orgaanisen hiilen määrä sedimentissä

K_{oc} -arvot perustuvat kirjallisuuteen (Ympäristöministeriö 2014¹⁵, Liite 6, taulukko 3) ja f_{oc} -arvot 1C tason sedimenttinäytteistä määritettyihin TOC-pitoisuuksien keskiarvoon. Öljyhiilivetyjen laskentaparametrien osalta on käytetty hiilivetyfraktioiden ominaisuuksien keskiarvoa.

Taulukossa 7 on esitetty laskennassa käytetyt parametrit haitta-ainekohtaisesti ja parametrien avulla lasketut haitta-aineiden teoreettiset veteen liukenevat maksimipitoisuudet.

Taulukko 7. Haitta-aineiden liuenneiden pitoisuuksien laskennassa käytetyt parametrit.

Haitta-aine	K_d	K_{oc}	f_{oc}	TSS_{wc}	TSS_{wc}	TSS_{wc}
Yksikkö	l/kg			kg/l	kg/l	kg/l
As	6 100	-	-	0,0001	0,0002	0,00003
Cu	1 460	-	-	0,0001	0,0002	0,00003
Ni	1 186	-	-	0,0001	0,0002	0,00003
C ₁₀ -C ₄₀	14 072	902 054	0,0156	0,0001	0,0002	0,00003
PCDD/F	6 355	407 380	0,0156	0,0001	0,0002	0,00003

Taulukko 8. Sedimenteissä haitta-aineiden 1C tason sedimenttien maksimipitoisuudet ja lasketut liuenneet pitoisuudet.

Haitta-aine	q_i (max)	C_{diss}	C_{diss}	C_{diss}
Kiintoainepitoisuus		30 mg/l	100 mg/l	200 mg/l
Yksikkö	mg/kg	µg/l	µg/l	µg/l
As	162	0,0026	0,0063	0,0091
Cu	66,9	0,0015	0,0046	0,0082

¹⁴ Ympäristöministeriö 2014. Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta. Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2014. 235 sivua + liitteet. (15.3.2024)
https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/136564/OH_6_2014.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Ni	43,9	0,0012	0,0036	0,0065
C ₁₀ -C ₄₀	1 300	0,017	0,032	0,040
PCDD/F	0,000080 ¹			

¹) Summapitoisuus ylärajalla (upper bond)

Taulukko 9. Sedimenteissä haitta-aineiden 1C tason sedimenttien 95%-fraktiiliin pitoisuudet ja lasketut liuenneet pitoisuudet.

Haitta-aine	q _i (95%)	C _{diss}	C _{diss}	C _{diss}
Kiintoainepitoisuus		30 mg/l	100 mg/l	200 mg/l
Yksikkö	mg/kg	µg/l	µg/l	µg/l
As	104	0,00012	0,0029	0,0042
Cu	53	0,00012	0,0036	0,0063
Ni	40	0,0001	0,0032	0,0058
C ₁₀ -C ₄₀	807	0,01	0,019	0,024
PCDD/F	0,000015 ²			

¹) Summapitoisuus ylärajalla (upper bond)

Taulukko 10. Sedimenteissä haitta-aineiden 1C-tason sedimenttien keskiarvopitoisuudet ja lasketut liuenneet pitoisuudet.

Haitta-aine	q _i (ka)	C _{diss}	C _{diss}	C _{diss}
Kiintoainepitoisuus		30 mg/l	100 mg/l	200 mg/l
Yksikkö	mg/kg	µg/l	µg/l	µg/l
As	15,9	0,0004	0,001	0,0014
Cu	16,2	0,0005	0,0014	0,0025
Ni	16,8	0,0005	0,0015	0,0027
C ₁₀ -C ₄₀	102	0,002	0,004	0,005
PCDD/F	0,0000047 ¹			

¹) Summapitoisuus ylärajalla (upper bond)

7.3 Vesiympäristön viitearvot ja vertailu

7.3.1 Ekologiset viitearvot

Yhdisteille on määritetty vesiympäristön ekologia viitearvoja, jotka ovat arvioita eliöille haitattomista tai haitallisista pitoisuuksista. Ekologiset viitearvot on määritetty tilastollisesti, kun tutkimusaineistoa on ollut riittävästi saatavilla. Lisäksi eri eliöryhmille on ekologia vertailuarvoja lyhyt- ja pitkäaikaisille vaikutuksille. Viite- ja vertailuarvoina käytettiin kirjallisuudesta ja tietokannoista poimittuja viitearvoja. Käytettyjä lähteitä olivat ECHA:n tietokannat¹⁵ ja US-EPA (National Recommended Water Quality Criteria - Aquatic Life Criteria Table¹⁶). Muita tietolähteitä olivat kemikaalien ympäristötietorekisteri 17, Ecotox-tietokanta (EPA) 18 ja Environmental Properties of Chemicals, Finnish Environment Institute

¹⁵ **ECHA European Chemicals Agency**, Euroopan kemikaalivirasto. ECHA CHEM, Echa chemicals database. [https://echa.europa.eu/fi/information-on-chemicals?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwOwBhBnEiwAgwzrUqdimq1IKZu_3wqqWzXh8R4htBtJrrBJWzIGVhsAJ9zf_rGH6ISaRhoC1m4QAvD_BwE]

¹⁶ **EPA United States Environmental Protection Agency**. National Recommended Water Quality Criteria - Aquatic Life Criteria Table. [https://www.epa.gov/wqc/national-recommended-water-quality-criteria-aquatic-life-criteria-table]

¹⁷ **Suomen ympäristökeskus**. Kemikaalien ympäristötietorekisteri.

[https://www.ymparisto.fi/scripts/Kemrek/Kemrek.asp?Method=MAKECHEMSEARCHFORM]

¹⁸ **EPA United States Environmental Protection Agency**. ECOTOX Knowledgebase.

Environment Guide 71, 2000 ¹⁹. Pintaveden vertailuarvot on esitetty julkaisussa Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2014 (Ympäristöministeriö 201415).

Seuraavissa kappaleiden taulukossa esitettyjen ekologisten viite- ja vertailuarvojen lyhennysten selityksiä:

- PNEC (predicted no effect concentration) = pitoisuus, joka ei tietyllä todennäköisyydellä aiheuta vaikutuksia
- EC₅₀ = pitoisuus, jolla puolet testieliöistä kokee vaikutuksia (myös EL₅₀)
- EC₁₀ = pitoisuus, jolla 10 % testieliöistä kokee vaikutuksia
- LOEC (lowest observed effect concentration) = alin pitoisuus, jolla todettu olevan vaikutuksia
- NOEC (no observed effect concentration) = suurin pitoisuus, jolla ei ole todettu olevan vaikutuksia
- LC₅₀ (lethal concentration) = pitoisuus, jossa puolet testieliöistä kuolee (myös LL₅₀)

7.3.2 Sedimentin haitta-ainepitoisuuksien vertailu ekologisiin viitearvoihin

Paikallaan olevien sedimenttien haitta-ainepitoisuuksille ei ole määritetty kansallisia viitearvoja kuten maaperälle. Sedimentin haitta-ainepitoisuuksien viitearvoina sovelletaan pääsääntöisesti ruopattun sedimentin läjityskelpoisuuden normalisoituja pitoisuustasoja (kappale 3.3.2). Tässä on esitetty haitta-aineiden ekotoksisuuden perusteella määritetyt sedimentin viite- ja vertailuarvot (ECHA), joita on annettu kriittisistä yhdisteistä arseenille, kuparille ja nikkelille (taulukko 11). Todettujen metallipitoisuuksien ja viitearvojen vertailulla pyritään kuvaamaan sedimentin kiintoaineksestä mahdollisesti aiheutuvaa riskiä

Taulukko 11. Sedimentin haitta-ainepitoisuuksien (keskiarvo ja 95 % fraktiili) vertailu sedimentin ekologisiin viitearvoihin (ECHA). Taulukosta on värjätty punaisella viitearvot, jotka ylittävät sedimentissä.

Haitta- aine	Pitoisuus (95%)	Pitoisuus (ka)	PNEC	EC ₁₀	LC ₁₀	EC ₅₀	NOEC	LOEC
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
As	65	19,0	35,7	80	116	20	39-462	39-724
Cu	42	20,0	676	-	-	-	18,3-580,9	-
Ni	10	19,5	-	160-3307	-	-	-	-

Arseenin osalta ylittyy 95 %-fraktiilipitoisuus ylittää sedimentin PNEC-arvon sekä erityisesti pitkäaikaisia vaikutuksia kuvaavien NOEC ja LOEC alhaisimmat vertailuarvot. Sedimentin korkeimmista arseenipitoisuuksista voi aiheutua haittaa pohjan eliöstölle. Sedimentin kuparipitoisuuksista voi aiheutua herkimille eliöille vähäisiä vaikutuksia alhaisimpien NOEC-arvojen ylittyessä. Sedimentin nikkelin pitoisuuksista ei arvioida aiheutuvan merkittävää haittaa.

7.3.3 Veteen liukenevien haitta-ainepitoisuuksien vertailu ekologisiin viitearvoihin

Vesirakentamisen (ruoppauksen ja vesipainepuhalluksen sekä läjityksen) yhteydessä esiintyviä haitta-aineiden aiheuttamia ekologisia vaikutuksia arvioitiin vertaamalla kriittisten

¹⁹Finnish Environmental Guide & EDITA. Environment Guide 71. Environmental properties of chemicals, volume 1. Nikunen E., Leinonen R., kemiläinen B. and Kultamaa R. 2000. 1166 sivua.

metallien laskennallisia vesimassaan liukenevia teoreettisia pitoisuuksia vesiympäristön PNEC-arvoihin sekä EPA:n akuutteihin ja kroonisiin viitearvoihin (taulukko 13). Em. viitearvoja ei ole määritetty öljyhiilivedyille tai PCDD/F-yhdisteille. Vesimassaan liukenevia teoreettisia pitoisuuksia verrataan myös ekologisiin vertailuarvoihin (EC10, EC50, LC50, NOEC ja LOEC). Vesimassaan liukenevat pitoisuudet on esitetty kiintoainepitoisuuksille 30 mg/l, 100 mg/l, 200 mg/l ja (kappale 7.2). Vertailussa on käytetty metallien ja organisten yhdisteiden osalta kokonaispitoisuuksia eli resuspenoituneen sedimentin haitta-aineiden arvioidaan varovaisuusperiaatteen mukaisesti olevan kokonaan biosaatavassa/liukoisessa muodossa. Haitta-aineen veteen liukenevan osuus on kuitenkin merkittävästi pienempi kuin kokonaispitoisuus, mikä on nähtävissä metallien vesiuuttojen tutkimuksissa. Vesirakentamisen yhteydessä vesimassaan muodostuvia pitoisuuksia eri kiintoainepitoisuuksilla sekä ekologisia viitearvoja on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 12. Sedimenteistä veteen muodostuvien laskennallisten haitta-ainepitoisuuksien vertailu PNEC-arvoihin sekä EPA:n akuutteihin ja kroonisiin viitearvoihin. Taulukosta on värjätty punaisella viitearvot, jotka ylittävät laskennallisen liukoisuuden perusteella.

Haitta-aine	Pitoisuus (max)	Pitoisuus (95%)	Pitoisuus (ka)	Pintaveden vertailuarvo	PNEC ECHA	Acute EPA	Cronic EPA
Yksikkö	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Kiintoaine 100 mg/l (ruoppaus ja läjitys, realistinen maksimi)							
As	0,0063	0,0029	0,001	0,024	0,0047	0,069	0,036
Cu	0,0046	0,0036	0,0014	0,0078	0,0051	0,0048	0,0031
Ni	0,0036	0,0032	0,0015	0,020	0,0086	0,0740	0,0082
Kiintoaine 200 mg/l (ruoppauksen aikaiset suurimmat kiintoainepitoisuudet)							
As	0,0091	0,0042	0,0014	0,024	0,0047	0,069	0,036
Cu	0,0082	0,0063	0,0025	0,0078	0,0051	0,0048	0,0031
Ni	0,0065	0,0058	0,0027	0,020	0,0086	0,0740	0,0082
Kiintoaine 30 mg/l (laaja-alaiset vaikutukset vesirakentamisessa ja arvioitu luonnollinen resuspensio)							
As	0,0026	0,00012	0,0004	0,024	0,0047	0,069	0,036
Cu	0,0015	0,00012	0,0005	0,0078	0,0051	0,0048	0,0031
Ni	0,0012	0,00010	0,0005	0,020	0,0086	0,0740	0,0082

Eri eliöryhmille löytyviä ekologisia viitearvoja on esitetty taulukoissa 14 ja 15, joissa viitearvoja on verrattu metallien laskennallisiin pitoisuuksiin vesifaasissa eri kiintoainepitoisuuksilla.

Taulukko 13. Sedimenteistä veteen muodostuvien laskennallisten haitta-ainepitoisuuksien vertailu ekologisiin viitearvoihin (selkärangattomat, äyriäiset). Taulukosta on värjätty punaisella viitearvot, jotka ylittävät laskennallisen liukoisuuden perusteella.

Haitta-aine	Pitoisuus (max)	Pitoisuus (95%)	Pitoisuus (ka)	EC ₅₀ Selkärangattomat	NOEC Selkärangattomat	EC ₅₀ Äyriäiset	LC ₅₀ Äyriäiset	LOEC Äyriäiset	NOEC Äyriäiset
Yksikkö	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Kiintoaine 100 mg/l (ruoppaus ja läjitys, realistinen maksimi)									
As	0,0063	0,0029	0,001		0,02-1,636	1,4	2,85-7,4	0,52	
Cu	0,0046	0,0036	0,0014	0,001-1,213	0,0083-0,0191	0,007-0,045	0,026-0,06	0,004-0,022	0,0002-0,023
Ni	0,0036	0,0032	0,0015		0,040-0,713	0,095-7,5	0,13-1,12	0,03	
Kiintoaines 200 mg/l (ruoppauksen aikaiset suurimmat kiintoainepitoisuudet)									
As	0,0091	0,0042	0,0014		0,02-1,636	1,4	2,85-7,4	0,52	

Cu	0,0082	0,0063	0,0025	0,001-1,213	0,0083-0,0191	0,007-0,045	0,026-0,06	0,004-0,022	0,0002-0,023
Ni	0,0065	0,0058	0,0027		0,040-0,713	0,095-7,5	0,13-1,12	0,03	
Kiintoaines 30 mg/l (laaja-alaiset vaikutukset vesirakentamisessa ja arvioitu luonnollinen resuspensio)									
As	0,0026	0,00012	0,0004		0,02-1,636	1,4	2,85-7,4	0,52	
Cu	0,0015	0,00012	0,0005	0,001-1,213	0,0083-0,0191	0,007-0,045	0,026-0,06	0,004-0,022	0,0002-0,023
Ni	0,0012	0,00010	0,0005		0,040-0,713	0,095-7,5	0,13-1,12	0,03	

Taulukko 14. Sedimenteistä veteen muodostuvien laskennallisten haitta-ainepitoisuuksien vertailu ekologiin viitearvoihin (levät ja kalat). Taulukosta on värjätty punaisella viitearvot, jotka ylittävät laskennallisen luokituksen perusteella.

Haitta-aine	Pitoisuus (max)	Pitoisuus (95%)	Pitoisuus (ka)	EC ₅₀ Levät	NOEC Levät	LC ₅₀ Kalat	NOEC Kalat
Yksikkö	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Kiintoaine 100 mg/l (ruoppaus ja läjitys, realistinen maksimi)							
As	0,0063	0,0029	0,001	0,03-38		10,3-12,6	2,13-18,05
Cu	0,0046	0,0036	0,0014	0,0102-0,957	0,03	2,8-9150	0,0095-0,066
Ni	0,0036	0,0032	0,0015	0,0039-1,430	0,0035-5,4768	15,3	0,035-431
Kiintoaine 200 mg/l (ruoppauksen aikaiset suurimmat kiintoainepitoisuudet)							
As	0,0091	0,0042	0,0014	0,03-38		10,3-12,6	2,13-18,05
Cu	0,0082	0,0063	0,0025	0,0102-0,957	0,03	2,8-9150	0,0095-0,066
Ni	0,0065	0,0058	0,0027	0,0039-1,430	0,0035-5,4768	15,3	0,035-431
Kiintoaine 30 mg/l (laaja-alaiset vaikutukset vesirakentamisessa ja arvioitu luonnollinen resuspensio)							
As	0,0026	0,00012	0,0004	0,03-38		10,3-12,6	2,13-18,05
Cu	0,0015	0,00012	0,0005	0,0102-0,957	0,03	2,8-9150	0,0095-0,066
Ni	0,0012	0,00010	0,0005	0,0039-1,430	0,0035-5,4768	15,3	0,035-431

Vesifaasiin muodostuvien laskennallisten orgaanisten haitta-ainepitoisuuksien vertailu eri eliöryhmille esitettiin ekologiin viitearvoihin on taulukoissa 16 ja 17. Öljyhiilivetyjen vertailuarvot osalta on polttoainehiilivedyille (marine diesel).

Taulukko 15. Sedimenteistä veteen muodostuvien laskennallisten öljyhiilivetyjen pitoisuuksien vertailu ekologiin viitearvoihin. Taulukosta on värjätty punaisella viitearvot, jotka ylittävät laskennallisen luokituksen perusteella.

Haitta-aine	Pitoisuus (max)	Pitoisuus (95%)	Pitoisuus (ka)	EL ₅₀ Selkärangattomat	EL ₅₀ Levät	NOEL Äyriäiset	LL ₅₀ Kalat	EL ₅₀ Isovesikirppu	NOEL Isovesikirppu
Yksikkö	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Kiintoaine 100 mg/l (ruoppaus ja läjitys, realistinen maksimi)									
C ₁₀ -C ₄₀	0,032	0,019	0,004	68-1000	10-22	0,2 - 46	21-1000	68	0,2-46
Kiintoaine 200 mg/l (ruoppauksen aikaiset suurimmat kiintoainepitoisuudet)									
C ₁₀ -C ₄₀	0,040	0,024	0,005	68-1000	10-22	0,2 - 46	21-1000	68	0,2-46
Kiintoaine 30 mg/l (laaja-alaiset vaikutukset vesirakentamisessa ja arvioitu luonnollinen resuspensio)									
C ₁₀ -C ₄₀	0,017	0,01	0,002	68-1000	10-22	0,2 - 46	21-1000	68	0,2-46

Taulukko 16. Sedimenteistä veteen muodostuvien laskennallisten haitta-ainepitoisuuksien vertailu ekologiin viitearvoihin (levät ja kalat). Taulukosta on värjätty punaisella viitearvot, jotka ylittävät laskennallisen luokituksen perusteella.

Haitta-aine	Pitoisuus (max)	Pitoisuus (95%)	Pitoisuus (ka)	EC ₅₀ Äyriäiset	LC ₅₀ Äyriäiset	LC ₅₀ Kalat	EC ₅₀ Kalat	LOEC Kalat	NOEC Kalat
-------------	-----------------	-----------------	----------------	----------------------------	----------------------------	------------------------	------------------------	------------	------------

Yksikkö	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Kiintoaine 100 mg/l (ruoppaus ja läjitys, realistinen maksimi)									
PCDD/F	0,0000012	0,0000006	0,0000003	116,4	162,5	0,001-783,9	0,001-0,268	0.000001	0.0000001
Kiintoaines 200 mg/l (ruoppauksen aikaiset suurimmat kiintoainepitoisuudet)									
PCDD/F	0,0000017	0,0000009	0,0000004	116,4	162,5	0,001-783,9	0,001-0,268	0.000001	0.0000001
Kiintoaines 30 mg/l (laaja-alaiset vaikutukset vesirakentamisessa ja arvioitu luonnollinen resuspensio)									
PCDD/F	0,0000005	0,0000003	0,0000001	116,4	162,5	0,001-783,9	0,001-0,268	0.000001	0.0000001

7.3.4 Lyhytaikaiset ekologiset riskit

Vesiympäristön lyhytaikaisia vaikutuksia on arvioitu vertaamalla veteen liuenneita haitta-ainepitoisuuksia erityisesti EC₅₀ ja LC₅₀-arvoihin sekä PNEC ja EPA:n Acute-arvoihin. Kuparille ja nikkeliä altistumisesta aiheutuvia lyhytaikaisia vaikutuksia voidaan arvioida esiintyvän levillä ja selkärangattomilla (taulukot 13, 14 ja 15). Kuparin osalta vaikutuksia voi herkimpiin lajeihin voi esiintyä jo alhaisillakin kiintoainepitoisuuksilla, joita on mallinnettu esiintyvän laajalla alueella vesirakentamisen yhteydessä. Nikkelin aiheuttamia vaikutuksia arvioidaan aiheutuvan vain korkeimmilla kiintoainepitoisuuksilla, jolloin mahdollisia vaikutuksia esiintyisi vain pienellä alueella.

Öljyhiilivetyjen ja PCDD/F-yhdisteiden ei arvioida aiheuttavan merkittäviä lyhytkestoisia vaikutuksia vesieliöihin.

7.3.5 Pitkäaikaiset vaikutukset

Vesiympäristön pitkäaikaisia vaikutuksia on arvioitu vertaamalla veteen liuenneita haitta-ainepitoisuuksia erityisesti NOEC- ja LOEC-arvoihin sekä EPA:n Chronic -arvoihin. Kun kiintoainepitoisuus on vähintään 100 mg/l, pitkäaikaisia vaikutuksia voidaan arvioida aiheutuvan lähinnä kuparista (taulukko 13). Kuparin osalta voi esiintyä vaikutuksia herkimpien selkärankaisten lajien osalta myös alhaisilla kiintoainepitoisuuksilla. Pääsääntöisesti kuparin pitoisuudet ovat kuitenkin alhaisia, joten vaikutusten ei arvioida olevan laaja-alaisia.

Nikkelin Chronic-viitearvo ei ylittynyt tarkastelussa, mutta veteen mahdollisesti liuenneista pitoisuuksista voi herkimmillä levillä esiintyä vaikutuksia alueilla, joissa esiintyy korkeita nikkelipitoisuuksia. Nikkelin pitkäaikaiset vaikutukset arvioidaan vähäiseksi, sillä korkeita kiintoainepitoisuuksia esiintyy vain lyhytaikaisesti pienellä alueella.

Sedimentin PCDD/F-yhdisteillä voi olla pitkäaikaisia vaikutuksia kaloille (taulukko 17).

Sedimentissä todettujen öljyhiilivetyjen ei arvioida aiheuttavan merkittäviä pitkäkestoisia vaikutuksia vesieliöihin (taulukko 16).

7.4 Sedimentin huokosvesi

Läjitetyn sedimentin vaikutuksia pohjan eliöihin voidaan arvioida sedimentin huokosveden pitoisuuksien perusteella. Sedimentin huokosveden pitoisuus (C_w) voidaan laskea kunkin haitta-aineen osalta sen K_d-arvon perusteella kaavalla $C_w = C_s / K_d$, missä C_s on normalisoimaton pitoisuus sedimentissä. Taulukkoon 18 on laskettu sedimentin huokosvedessä esiintyvien haitta-aineiden pitoisuudet. Metallien osalta on käytetty tuulivoimapuiston vesiuton pitoisuuksia edustamaan metallien huokosveden pitoisuuksia.

Pintasedimentin huokosvesi on yhteydessä meriveteen, jolloin sedimentin pintaosan huokosvedessä pitoisuudet ovat laimenemisen takia laskennallista maksimipitoisuutta alhaisempia. Syvemmillä sedimentissä huokosveden pitoisuudet voivat olla korkeampia ja

pysyvät stabiileina, mutta eivät aiheuta riskiä, koska syvemmällä sedimentissä ei ole hapettomuuden takia haitta-aineille altistuvaa eliöstöä. Syvistä sedimenteistä eivät haitta-aineet myöskään kulkeudu sedimentin pintaosaan ja siitä meriveteen.

Taulukko 17. Laskennalliset huokosveden pitoisuudet läjitettyssä sedimentissä.

Haitta-aine	C _w (95%)	C _w (ka)
	µg/l	µg/l
As	37	12
Cu	28	22
Ni	95	37
C ₁₀ -C ₂₁	57	14
PCDD/F	0,00000236	

Sedimentin huokosveden laskennalliset metallien pitoisuudet pääsääntöisesti ylittävät ekologiset viitearvot, eritoten PNEC-arvon osalta. Ekologiset viitearvot on esitetty taulukossa 13.

Todellisuudessa ruopattavissa massoissa korkeat pitoisuudet esiintyvät vain pienellä alalla ruopattavaa sedimenttiä ja ohuissa kerroksissa, eivätkä ne edusta ruoppausmassojen keskimääräistä pitoisuutta. Ruoppauksen ja läjityksen yhteydessä sedimentin haitta-aineiden pitoisuudet sekoittuvat ja tasoittuvat. Lisäksi läjitysalueelle tuodaan lievemmin pilaantuneita (1-, 1A- ja 1B-massat) sekä useiden haitta-aineiden suhteen pilaantumattomia massoja. Näin ollen huokosveden pitoisuuksien laskentaan sisältyy suurta epävarmuutta ja laskennalliset tulokset ovat korkeintaan suuntaa antavia ja tässä tapauksessa yliarvioivat muodostuvaa maksimipitoisuutta. Läjitysalueella pohjaeläinten elpyminen alkaa, kun läjitystoiminta päättyy ja pintaan tuodaan pilaantumaton sedimenttikerros.

8 Kiintoaineiden kulkeutuminen vesirakentamisen aikana ja sen jälkeen

8.1 Kiintoaineiden pitoisuudet vedessä vesirakentamisen aikana ja veden samentuminen

Hankealueen veden tyypilliset sameusarvot vaihtelivat pääosin välillä 0,1–2,5 FNU. Kaikilla mittauspaikoilla esiintyi myös lyhyitä jaksoja, jolloin sameusarvot vaihtelivat välillä 3–10 FNU. Nämä liittyvät lähinnä kesäkaudella laskeutuvaan levämassaan tai voimakkaiden tuulien aiheuttamaan sekoittumiseen. Silmin havaittavan sameuden arvona pidetään noin 10 FNU. Kiintoaine vedessä on yleisesti silmin havaittavaa, kun pitoisuus on ≥ 10 mg/l.

Vesirakentamisen (ruoppaus ja läjitys sekä vesipainepuhallus) yhteydessä vesi samentuu kiintoainepitoisuuden kasvaessa sedimentin kulkeutuessa vesikerrokseen. Yleisesti samentumat laimenevat nopeasti ja vaikutukset jäävät hetkellisiksi ja paikallisiksi. Vesi samentuu tyypillisesti voimakkaaimmin pohjan läheisyydessä läjitysalueen välittömässä läheisyydessä ja vaikutusalue on suppea. Veden samentumisesta ei aiheudu pysyvää haittaa vesieliöille tai kalastolle. Hankealueella on mallinnettu (kappale 7.1) vesirakentamisen aikaista veden kiintoainepitoisuutta ja kiintoaineiden leviämistä.

Tuulivoimapuiston alueella sedimentin kulkeutuminen on havaittavissa lyhytaikaisesti muutaman kilometrin etäisyydelle hankealueen ulkopuolelle. Mallinnuksessa läjitysalueiden on oletettu sijaitsevan tuulivoimapuiston alueella (Laine-7...Laine-9), eivätkä

merituulivoimapuiston ulkopuolella avomerellä sijaitsevat potentiaaliset läjitysalueet ole sisältyneet YVA-selostusvaiheen mallinnuksiin.

Korkeimmat kiintoainepitoisuudet todetaan pohjan läheisyydessä ja veden pintakerroksessa. Pohjan läheisyydessä silmin havaittavaa samentumista (noin 10 mg/l kiintoainetta) todetaan lähes koko puiston alueella (noin 425 km²) lyhytaikaisesti (6 h) ruoppauksen jälkeen. Vastaava lyhytaikaista samentumista todetaan pintakerroksessa alle 300 km² alueella. Pitkäaikaista samentumista (7 d) todetaan hyvin pienellä alueella (noin 0,5 km²), pääsääntöisesti vain läjitysalueilla. Voimakkaampaa samentumista (kiintoainepitoisuus 100 mg/l) esiintyy lyhytaikaisesti (6 h) noin 6,6...8,3 km² alueella riippuen tuulivoimaloiden määrästä ja suuruudesta lähinnä voimaloiden välisillä yhdyskaapelireiteillä ja läjitysalueilla. Kahden vuorokauden mittaista voimakasta samentumista (100 mg/l) on havaittavissa pohjan läheisyydessä vain noin 0,5 km² alueella, lähinnä läjitysalueilla. Pohjan yläpuolisissa kerroksissa vedessä ei ole todettavissa voimakasta pitkäaikaista kiintoaineksesta johtuvaa samentumista.

Rannikolle johtavien kaapeli- ja putkireittien osalta veden kiintoainepitoisuuksia on mallinnettu kahdelle eri menetelmälle siten, että kaapelireittien pehmeä sedimentti joko vesipainepuhalletaan (jetting) tai vesipainepuhalluksen kanssa käytetään ruoppausta alle 15 metrin vesisyvyydessä. Mallissa ruopatut massat sijoitetaan kaapelireittien läheisyydessä sijaitseville läjitysalueille (Laine-1...Laine-3). Vesipainepuhalluksessa korkeita kiintoainepitoisuuksia (100 mg/l) esiintyy vain pienellä alueella lyhytaikaisesti (<24 h). Ruoppaus ja läjitys pidentää ajallisesti kohonnutta kiintoainepitoisuutta vedessä erityisesti rannikon läheisyydessä kaapeli- ja putkireiteillä MVE1/VVE1 sekä MVE4/VVE2 ja MVE5/VVE3 sekä läjitysalueiden ympäristössä. Kaapeli- ja putkireittejä tarkastellaan tarkemmin kappaleessa 9.2.

8.2 Kiintoaineen uudelleen sedimentoituminen

Virtaustutkimusten perusteella läjitykseen soveltuvilla alueilla (Laine-2...Laine-5 ja Laine-7...Laine-9) keskimääräinen virtausnopeus pohjan läheisyydessä on pääosin noin 5 cm/s, korkeimmillaan 8 cm/s (Laine-9). Tavanomaisen myrskyn (>20 cm/s) yhteydessä pohjavirtaus voi ylittää 10–15 cm/s tason, mikä voi aiheuttaa pintasedimentin paikallisia siirtymiä läjitysalueen sisällä. Läjitykseen soveltuvilla alueilla noin 5–25 % mittauksista ylitti >10 cm/s. Suuria pohjavirtausnopeuksia (>15 cm/s), jotka voivat irrottaa sedimenttiä, esiintyy ainoastaan 0...5 % mittauksista lyhytaikaisesti. Virtausmittaukset tehtiin syksyllä, jolloin esiintyy yleisesti myös voimakkaimmat myrskyt. Todetut maksimivirtausnopeudet syysmyrskyn aikaan vaihtelivat välillä 19...31 cm/s mittauspaikasta riippuen. Läjitettyjen ruoppausmassojen arvioidaan pysyvän paikoillaan erityisesti hyvillä läjitysalueilla. Näin ollen myös kiintoaineeseen sitoutuneet haitta-aineet pysyvät läjitysalueella.

Vesirakentamisen aiheuttamaa uudelleen sedimentoitumista tuulivoimapuiston alueella on mallinnettu kiintoaineen leviämämallinnuksen yhteydessä. Tuulivoimapuiston alueella sedimentaation määrä on pääsääntöisesti <1 mm lukuun ottamatta tuulivoimaloiden välisiä kaapelireittejä ja läjitysalueita. Läjitysalueilla sedimentoituminen on läjityksestä johtuen suurinta (>40 mm). Tuulivoimalaitoksen yhdyskaapelireittien alueella sedimentoituminen on pääosin noin 1...5 mm. Mallinnuksen mukaan kertaalleen laskeutunut sedimentti ei enää uudelleen kulkeudu merkittävässä määrin.

Veden virtauksien muutosta tuulivoimapuiston käytön aikana on mallinnettu kiintoaineen leviämämallin yhteydessä. Huomattavia muutoksia ei mallin perusteella ole todettavissa. Veden pintakerroksessa virtauksen on arvioitu pienentyvän enimmillään noin 0,015 m/s

(15 %). Syvemmissä kerroksissa (-20...-30 m) virtausnopeuden on arvioitu suurentuvan kesimäärin noin 0,005 m/s. Virtausnopeuksien muutoksissa on vuodenaikaista vaihtelua. Tuulivoimapuistosta johtuvilla virtausmuutoksilla ei arvioida olevan merkittävää vaikutusta sedimentin kulkeutumiseen.

9 Haitta-aineiden kulkeutuminen vesirakentamisen aikana

9.1 Merituulivoimapuiston alue

Ruoppauksen yhteydessä kiintoainespitoisuus vedessä kasvaa ja samalla haitta-ainepitoista sedimenttiä kulkeutuu veteen. Kiintoaineesta myös liukenee haitta-aineita veteen. Ruoppauksen yhteydessä veteen liukenevia teoreettisia haitta-ainepitoisuuksia on esitetty kappaleessa 7.2.

Ruoppaustapahtuma on suhteellisen nopea ja veden kiintoainepitoisuus pienenee nopeasti sen sedimentoitua pohjalle. Korkeita kiintoainespitoisuuksia (100 mg/l) todettiin esiintyvän vain lyhytaikaisesti (6 h) ruoppauksen jälkeen. Ruoppauksen jälkeen kiintoainepitoisuus on pääsääntöisesti välillä 10...50 mg/l, mutta vain lyhytaikaisesti (6 h). Pidempiaikaista kiintoaineksesta johtuvaa samentumista on todettavissa hyvin pienellä alueella. Tuulivoimapuiston pohjoisosassa on todettu eroosioherkkää sedimenttiä, jonka arvioidaan ruoppauksen aikana suspendoituvan muuta sedimenttiä helpommin. Pääosa haitta-aineista jää kiintoaineeseen ja vajoaa pohjaan kiintoaineen mukana, eikä siten ole vedessä vapaana biologisesti saatavassa muodossa. Mallinnuksen perusteella myöskään merkittävää sedimentin uudelleen kulkeutumista sedimentoitumisen jälkeen ei tapahdu.

Vesirakentamisen yhteydessä ruopattavasta sedimentistä veteen suspendoituneesta kiintoaineesta liuenneet haitta-aineet sekoittuvat ja pitoisuudet laimenevat merivedessä nopeasti haitattomalle tasolle. Veteen liuenneiden haitta-aineiden vaikutukset ovat siksi yleisesti lyhytaikaisia ja paikallisia eivätkä merkittävässä määrin ulotu ruoppausalueen ulkopuolelle. Ruoppauksen arvioitiin mallinnuksen perusteella vaikuttavan muutamia kilometrejä hankealueen ulkopuolelle kiintoaineksen lyhytaikaisena kulkeutumisena.

Vesirakentamisen yhteydessä sedimentin kiintoaineesta veteen voi liueta meriveteen kuparia ja nikkeliä haittaa aiheuttavia pitoisuuksia erityisesti, kun veden kiintoainepitoisuudet ovat korkeita (≥ 100 mg/l). Korkeita kiintoainepitoisuuksia esiintyy kuitenkin lyhytaikaisesti ja hyvin pienialaisesti. Lisäksi kuparia todettiin esiintyvän korkeimmillaan pitoisuustasolla 1B. Arseenin osalta PNEC-arvo ylittyi korkeilla kiintoainespitoisuuksilla (≥ 100 mg/l), mutta eliöstölle haitallisia pitoisuuksia ei veteen arvioida muodostuvan. PCDD/F-yhdisteitä esiintyy korkeimmillaan pitoisuustasolla 1B eikä veteen arvioida liukenevan merkittävää pitkäaikaista haittaa aiheuttavia pitoisuuksia vähäiseksi huomioiden pitoisuuksien laimeneminen ja tapahtuman lyhytaikaisuus. PCDD/F-yhdisteiden osalta kiintoainekseen sitoutuneen haitta-aineen vaikutukset sedimentin syömisen kautta arvioidaankin merkittävämmäksi kuin veteen liukenevan haitta-aineen kautta.

9.2 Kaapeli- ja vetyputkireittien tutkimuskäytävät

Kaapeli- ja putkireittien tutkimuskäytävillä vesipainepuhalluksessa korkeita kiintoainespitoisuuksia (100 mg/l) esiintyy vain pienellä alueella lyhytaikaisesti (<24 h). Vesipainepuhallukseen verrattuna ruoppaus ja siihen liittyvä ruoppausmassojen läjitys pidentää ajallisesti veden kohonnutta kiintoainepitoisuutta erityisesti rannikon läheisyydessä kaapeli- ja putkireiteillä MVE1/VVE1 ja VVE2/VVE3 sekä läjitysalueiden ympäristössä. Syvemmissä vedessä vesipainepuhalluksen aikana kiintoainepitoisuudet veden ylemmissä

kerroksissa ovat merkittävästi pienempiä kuin ruoppauksen ja läjityksen aikana. Ruoppaus- ja läjitystoiminnan aikana silmin havaittavaa kiintoainepitoisuutta (10 mg/l) arvioidaan esiintyvän yli 14 vuorokauden ajan rannikon läheisyydessä ja läjitysalueilla, myös korkeampia (100 mg/l) kiintoainepitoisuuksia on havaittavissa pienialaisesti 7 vuorokauden ajan. Näin ollen ruoppauksessa ja läjityksessä kiintoaineeseen sitoutunut haitta-ainetta esiintyy vedessä pidempiaikaisesti ja laaja-alaisemmin kuin vesipainepuhalluksessa.

Putkireitillä VVE2/VVE3 rannikon läheisyydessä todettiin merkittävässä määrin eroosioherkkää sedimenttiä, jonka osaltaan arvioidaan lisäävän ruoppauksen ja läjityksen aikana veden kiintoainepitoisuuksia sekä putkireitillä sekä läjitysalueella. Eroosioherkkä aines kulkeutuu herkemmin veteen ja veden mukana. Myös vesikerroksen paksuus vaikuttaa veden kiintoainepitoisuuteen ja veden haitta-ainepitoisuuksiin. Kaapelireittien ruoppauksen arvioidaan lisäävän haitta-aineiden kulkeutumista veteen sekä liukenemisen kautta että itse kiintoainekseen sitoutuneena. Näin ollen ruoppaus- ja läjitystoiminnan aikana vaikutukset eliöstöön kasvavat verrattuna vesipainepuhallukseen. Veteen suspendoituneen haitta-ainepitoisen sedimentin arvioidaan mallinnuksen perusteella myös sedimentoituvan laajemmalle alueella erityisesti pohjoisimmilla kaapelireiteillä. Kaapeli- ja putkireitillä MVE4/VVE2 ja MVE5/VVE3 todettiin laaja-alaisesti haitta-aineita pitoisuustasolla 1B (PCDD/F). Sedimentin eroosioherkkyys huomioiden massojen läjityskelpoisuudet olivat korkeimmillaan pitoisuustasolla 1C (PCDD/F) ja 1B (mm. tributyyliä ja öljyhiilivedyt). Muilla kaapeli- ja putkireiteillä haitta-ainepitoisuudet olivat pääsääntöisesti tasolla 1 tai 1A yksittäisiä tutkimuspisteistä lukuun ottamatta.

9.3 Läjitysalueet

9.3.1 Läjitystapahtuma

Läjitysalueilla lähtökohtaisesti hyväksytään vaikutukset pohjaeliöstöön ja sen poistuminen läjitystapahtumassa. Läjitysalueen sedimenttiin sitoutunut haitta-aine voi altistaa pintasedimentin pohjaeläimiä, kun ne tonkivat tai syövät sedimenttiainesta. Läjitys muuttaa joka tapauksessa meren pohjan olosuhteita pohjaeliöille haitallisiksi, kun läjitysmassat peittävät pohjaa uusilla täyttökerroilla niin, että alkuperäinen lajisto joko häviää kokonaan tai vähenee läjitystoiminnan ajaksi. Ainoastaan sedimentin pintaosan (noin 0–10 cm) hapellisessa kerroksessa voi esiintyä pohjaeläimiä, jos ja kun läjitysalue ei ole jatkuvassa käytössä.

Tässä yhteydessä käsitellään läjitystapahtumassa veteen muodostuvia haitta-ainepitoisuuksia ja niiden vaikutusta veden eliöstöön. Läjitystapahtuma on suhteellisen nopea ja veden kiintoainepitoisuus pienenee nopeasti sedimentoitumisen ansiosta. Läjitystapahtumassa pääosa haitta-aineista jää kiintoaineeseen ja vajoaa pohjaan kiintoaineen mukana, eikä siten ole vedessä vapaana biologisesti saatavassa muodossa. Sedimentissä esiintyvien haitta-aineiden K_d -arvot ovat korkeat, mikä osoittaa niiden voimakasta taipumusta sitoutua kiintoaineeseen sekä massan sisältämään orgaaniseen aineeseen. Kiintoaineesta liuenneet haitta-aineet sekoittuvat ja pitoisuudet laimenevat merivedessä nopeasti haitattomalle tasolle. Veteen liuenneiden haitta-aineiden vaikutukset ovat siksi lyhytaikaisia ja paikallisia eivätkä merkittävässä määrin ulotu läjitysalueiden ulkopuolelle.

Ruoppauksen ja läjitystoiminnan aikaisia veteen liukenevia haitta-ainepitoisuuksia on esitetty kappaleessa 7.2 ja 7.3.3. Mallinnuksen perusteella korkeita kiintoainepitoisuuksia (100 mg/l) esiintyy hankealueen läjitysalueilla vain lyhytaikaisesti (max. 6 h). Kiintoaineesta veteen liukenevat haitta-ainepitoisuudet (nikkeli ja PCDD/F) voivat aiheuttaa herkimmissä eliöissä (levät ja kalat) hetkellisiä vaikutuksia. Vaikutus arvioidaan kuitenkin hyvin vähäiseksi huomioiden pitoisuuksien laimeneminen ja tapahtuman lyhytaikaisuus. Mallinnuksen

perusteella myöskään merkittävää sedimentin uudelleen kulkeutumista sedimentoitumisen jälkeen ei tapahdu. Haitta-aineiden vaikutukset kaloille läjitystapahtumassa arvioidaan vähäiseksi, koska kalaston arvioidaan poistuvan läjityksen ajaksi.

9.3.2 Läjityksen jälkeen

Läjitysalueen sedimenttiin sitoutunut haitta-aine voi altistaa pintasedimentin pohjaeläimiä, kun ne tonkivat tai syövät sedimenttiainesta. Läjitysalueella eri pitoisuustasojen sedimentit sekoittuvat keskenään. Sedimentin keskimääräisillä pitoisuuksilla ei arvioida olevan merkittäviä vaikutuksia hankealueen läjitysalueiden pohjaeläimistöön (taulukko 12). Tätä tukevat myös pohjaeläintutkimukset, erityisesti tuulivoimapuiston ja sen ympäristön suunniteltujen läjitysalueiden hyvä tai erinomainen pohjaeliöiden tila. Alueella esiintyy laajalla alueella myös valkokatkaa, joka luokitellaan herkäksi lajiksi. Tuulivoimapuiston ja sen ympäristön alueella sedimentissä on todettu haitta-aineita korkeimmillaan pitoisuustasolla 2.

Huokosveden haitta-ainepitoisuus (kappale 7.4) kuvastaa suurinta mahdollista laskennallista läjitetyn sedimentin huokosvedessä esiintyvää haitta-ainepitoisuutta. Huokosvesi on sedimentin sisältämien maahiukkasten välisissä huokosissa esiintyvää vettä. Todellisuudessa liuenneet pitoisuudet jäävät laskennallisia maksimipitoisuuksia merkittävästi alhaisemmiksi, koska samalle meriläjitysalueelle läjitetään samanaikaisesti merkittäviä määriä myös sedimenttejä, joiden haitta-ainepitoisuudet ovat alhaisempia, eikä korkeampien pitoisuustasojen sedimenteissäkään esiinny yhdisteitä kauttaaltaan maksimipitoisuutena. Lisäksi huokosvedessä esiintyvät haitta-ainepitoisuudet laimenevat sedimentin pintaosan hapellisessa vyöhykkeessä, jolla on yhteys meriveteen. Syvemmälle sedimenttiin uusien läjitysten alle varastoituvat haitta-aineet ovat pysyvästi kulkeutumattomia. Arvioinnin lähtöoletuksena on, että haitta-ainepitoisten sedimenttien päälle läjitetään läjitystoiminnan lopuksi alueen käytöstä poistamisen jälkeen kerros, jonka haitta-ainepitoisuudet ovat korkeintaan pitoisuustasolla 1A. Tämän jälkeen sedimentin eliöstö pystyy vähitellen elpymään.

Haitta-aineiden kulkeutuminen on mahdollista läjitysalueen pintasedimentin liikkumisen mukana ennen alueen peittämistä. Läjityspaikkojen sijainnit tulee lähtökohtaisesti valita siten, että läjitetyt sedimentit eivät ole alttiita eroosiolle. Eroosioherkät sedimentit sekoittuvat läjityksen yhteydessä vähemmän herkästi erodoituviin tiiviimpiin sedimentteihin Mallinnuksen perusteella merkittävää sedimentin uudelleen kulkeutumista sedimentoitumisen jälkeen ei kuitenkaan tapahdu. Läjitysalueilla vallitsevien virtausnopeuksien tulee jo lähtökohtaisesti olla pieniä, jotta sedimentin kulkeutuminen ja resuspendoituminen olisi mahdollisimman vähäistä. Läjityksen jälkeen haitta-ainepitoisten sedimenttien päälle läjitetään pilaantumaton kerros, jolloin haitta-aineita ei enää syvemmältä pääse kulkeutumaan kiintoaineksen mukana. Meriläjitettävien sedimenttien sisältämien haitta-aineiden kulkeutumisriski läjityksen jälkeen arvioidaan pieneksi. Riskit rajoittuvat pääasiassa läjitystoiminnan yhteyteen ja ovat näin ollen lyhytaikaisia ja paikallisia.

Läjitystapahtuman jälkeen läjitysalueet eivät ole luonnontilaisia alueita vaan ruopattujen ja haitta-aineita sisältävien massojen sijoitusalueita, joissa on jo lähtökohtaisesti taustatasosta kohonneita haitta-ainepitoisuuksia.

10 Merituulivoimapuiston alue - yhteenveto

Merituulivoimapuiston alueelle on suunniteltu rakennettavan enintään 150 voimalaa. Kiintoaineen leviämämallissa arvio tehty kahdelle erikokoiselle hankkeelle, joissa voimaloiden määrä ja koko vaihtelevat (150 kpl 15 MW ja 113 kpl 20 MW). Merituulivoimapuiston alueella tuulivoimaloiden/vetylaitosten perustusten ja kaapeleiden/vetyputkien yhdysreittien alueet

on suunniteltu ruopattavaksi ja ruopatut sedimentit läjitettäväksi joko puiston alueelle tai sen lähiympäristöön suunnitellulle potentiaaliselle läjitysalueelle.

Merituulivoimapuiston pohjoisosassa on todettu öljyhiilivetyjä ja nikkeliä korkeimmillaan pitoisuustasolla 2. Vuonna 2022 tutkimuksissa lähes kaikissa tutkituissa näytteissä todettiin öljyhiilivetyjä, mutta lisätutkimuksissa vuonna 2023 samoilla alueilla ei öljyhiilivetyjä todettu tai pitoisuudet olivat niin pieniä, ettei normalisointia tehty. Lisätutkimuksissa ei saatu lisätietoa myöskään öljyhiilivetyjen koostumuksesta em. syyn vuoksi. On mahdollista, että alueella ei esiinny merkittäviä pitoisuuksia öljyhiilivetyjä vaan esim. luontaisia hiilivetyjä. Nyt tehtyjen tutkimusten valossa öljyhiilivetyjen esiintymistä ei voida kuitenkaan poissulkea.

Vastaavasti myös PCDD/F-yhdisteitä todettiin vuoden 2022 tutkimuksissa, mutta lisätutkimuksissa yhdisteistä ei todettu määrittäysrajan ylittäviä pitoisuuksia. Tässä tarkastelussa öljyhiilivetyjä ja PCDD/F-yhdisteitä on kuitenkin arvioitu esiintyvän alueella. PCDD/F-yhdisteitä esiintyy kuitenkin vain korkeimmillaan pitoisuustasolla 1B. Myös kuparia esiintyy korkeimmillaan tasolla 1B. Nikkeliä todettiin tasolla 2 vain aivan hankealueen pohjoisosassa suunniteltujen läjitysalueiden Laine-4 ja Laine-5 läheisyydessä, joissa todettu nikkeliä vastaavalla pitoisuustasolla.

Puiston eteläosassa haitta-aineiden läjityskelpoisuus on tasolla 1A ja 1B ohuin ruopattava kerrospaksuus huomioiden. Nikkelin ja kuparin, öljyhiilivetyjen ja PCDD/F-yhdisteiden pitoisuudet ovat korkeimmillaan tasolla 1B. Yksittäisessä näytteessä PCDD/F-yhdisteen pitoisuus korkeimmillaan 1C.

Hankealueen pohjasedimentissä vallitseva lajite on siltti, jonka orgaanisen aineksen pitoisuus on melko alhainen, pääosin alle kaksi prosenttia. Savipitoisuus vaihtelee 5...29 % välillä. Suspendoituessaan esim. ruoppauksen tai myrskyn aiheuttamien virtausten vuoksi siltti laskeutuu hieman nopeammin kuin savi. Kiintoaineen leviämämallin perusteella ruoppauksen merkittävimmät vaikutuksia on nähtävissä lähinnä hankealueella, vähäisiä vaikutuksia on havaittavissa hankealueen ulkopuolella veden kiintoainepitoisuuden nousuna lyhytaikaisesti. Korkeimmat kiintoainepitoisuudet todetaan pohjan läheisyydessä ja veden pintakerroksessa.

Kiintoaineen leviämämallinnuksen, joka on laadittu ns. worst case -periaatteella, perusteella pohjan läheisyydessä 10 mg/l kiintoainepitoisuuksia todetaan noin 425 km² alueella eli lähes koko puiston alueella lyhytaikaisesti (6 h) ruoppauksen jälkeen. Meriveden pintakerroksessa vastaavaa lyhytaikaista kiintoaineksesta johtuvaa samentumista todetaan hieman vajaalla 300 km² alueella. Pidempiaikaista veden kiintoainepitoisuuden nousua todetaan hyvin pienellä alueella pääsääntöisesti vain hankealueella sijaitsevilla läjitysalueilla (Laine-1...Laine-3). Korkeita kiintoainepitoisuuksia (≥ 100 mg/l) esiintyy vain muutamien neliökilometrien alueella lyhytaikaisesti. Pohjan yläpuolisissa kerroksissa vedessä ei ole todettavissa voimakkaampaa pidempiaikaista kiintoaineksesta johtuvaa samentumista.

Pohjan eliöstön tila hankealueella on vähintään hyvä, paikoin erinomainen. Tuulivoimapuiston alueella esiintyy mm. valkokatkaa, joka luokitellaan erittäin herkäksi lajiksi mm. elinympäristön saastumiselle. Vuonna 2022 valkokatkaa esiintyi vain alueen pohjoisosan tutkimuspisteillä, mutta vuonna 2023 valkokatkaa todettiin myös alueen eteläosassa. Tutkimusten perusteella sedimentissä todetut haitta-aineet eivät näin olleen ole vaikuttaneet valkokatkan esiintymiseen alueella. Kriittisistä aineista kuparin veteen liukenevien pitoisuuksien arvioitiin voivan aiheuttaa vaikutuksia aivan herkimmille selkärangaisilla. Myös sedimentin kiintoaineksesta itsestään voi aiheutua pitkäaikaisia vaikutuksia sedimentin NOEC-arvon ylittyessä, mutta ruoppaustapahtuman lyhytaikaisuuden vuoksi merkittäviä vaikutuksia ei arvioida syntyvän. Kuparia esiintyy korkeimmillaan pitoisuustasolla 1B eikä todetuista pitoisuuksista arvioida aiheutuvan merkittävää haittaa valkokatkalle tai muille selkärangaisille ruoppaustoiminnan aikana.

Merituulivoimapuiston pohjoisosassa mahdollisesti esiintyvistä öljyhiilivedyistä ei arvioida aiheutuvan haittaa alueen eliöille ekologisten vertailuarvojen alittuessa selvästi. Öljyhiilivetyjen esiintymisestä saatiin tutkimuksissa ristiriitaista tietoa eikä pohjasedimentissä esiintyvien hiilivetyjen koostumuksesta ole varmuutta ovatko ne luonnollisia hiilivetyjä vai esim. polttoaineperäisiä hiilivetyjä.

Merituulivoimapuiston luoteisosassa todettiin nikkeliä pitoisuustasolla 2 kuten puiston ulkopuolelle sen koillispuolelle suunniteltujen läjitysalueiden sedimentistä. Ekologisen viitearvovertailun perusteella tutkimuksissa todetuista nikkelin korkeista pitoisuuksista voi ruopateassa liueta veteen pitoisuuksia, joista lyhyt- ja pitkäaikaisia vaikutuksia aiheutuu herkimmille leville vesirakentamisen yhteydessä korkeilla kiintoainepitoisuuksilla (≥ 100 mg/l). Ruoppauksen aikana korkeita kiintoainepitoisuuksia esiintyy mallinnuksen perusteella kuitenkin merituulivoimapuiston laajuuteen verrattuna pienellä alueella (1–2 %) lyhytaikaisesti. Pidempiaikaista voimakkaampaa samentumista on havaittavissa pohjan läheisyydessä vain noin 0,5 km² alueella, lähinnä läjitysalueilla. Läjitysalueita on tarkasteltu erikseen kappaleessa 11.2. Pohjan yläpuolisissa kerroksissa vedessä ei ole todettavissa voimakkaampaa pidempiaikaista kiintoaineksesta johtuvaa samentumista. Paikallisesta lyhytaikaisesta altistumisesta nikkelille ei arvioida olevan huomattavaa haittaa leville.

Arseenin pitoisuus on pääsääntöisesti tasolla 1A, mutta alueen pohjoisosassa sedimentin eroosioherkkyyden vuoksi läjityskelpoisuus on arvioitu pitoisuustasolle 1B. Arseenin normalisoimaton pitoisuus on lähes kaikissa sedimenttinäytteissä koholla johtuen Perämeren ja Pohjanmereen sedimentin kohonneesta arseenin taustapitoisuudesta, jonka arvioidaan olevan peräisin mm. ihmistoiminnan vaikutuksesta sekä luonnollista alkuperää. Ekologisen viitearvovertailun perusteella arseenin korkeimmista pitoisuuksista voi liueta veteen pitoisuuksia, joista on vaikutuksia eliöille (PNEC-arvon ylitys) vesirakentamisen yhteydessä korkeimmilla kiintoainepitoisuuksilla (≥ 100 mg/l). Eliökohtaisia vaikutuksia ei kuitenkaan ekologisten vertailuarvojen alittuessa todettu. Myös sedimentin kiintoaineksesta voi aiheutua pitkäaikaisia vaikutuksia sedimentin NOEC ja LOEC-arvojen ylittyessä, mutta ruoppaustapahtuman lyhytaikaisuuden vuoksi ei merkittäviä vaikutuksia arvioida aiheutuvan. Voidaan myös arvioida eliöstön sopeutuneen arseenin kohonneeseen taustapitoisuuteen pitkän ajan kuluessa.

PCDD/F-yhdisteitä esiintyy hankealueella korkeimmillaan pitoisuustasolla 1B lukuun ottamatta yhtä yksittäistä näytettä. Öljyhiilivetyjen tavoin PCDD/F-yhdisteiden esiintymisestä saatiin tutkimuksissa ristiriitaista tietoa. Ekologisen viitearvovertailun perusteella veteen mahdollisesti liukenevista PCDD/F-yhdisteistä ei arvioida aiheutuvan lyhytaikaisia vaikutuksia eliöille. Pitkäaikaiset vaikutukset kaloille voivat olla mahdollisia. Ruoppaustoiminta on kuitenkin lyhytaikainen tapahtuma ja kiintoainepitoisuuden nousu vedessä on lyhytaikaista. Kalaston arvioidaan pääsääntöisesti poistuvan alueelta ruoppauksen ajaksi, jolloin veteen liukenevien haitta-aineiden suorat vaikutukset jäävät vähäisiksi. Kalojen osalta PCDD/F-yhdisteiden rikastuminen ravintoketjussa (eliöiden sedimentin/kiintoaineksen syönnin kautta) arvioidaan merkittävimäksi altistumisreitiksi pitkän ajan kuluessa kuin altistuminen ruoppaustapahtumassa veteen kulkeutuville haitta-aineille.

Tarkastelun perusteella sedimentissä esiintyvistä haitta-aineista ei arvioida aiheutuvan merkittävää pitkäaikaista haittaa alueen eliöstölle ruoppaustoiminnan aikana.

11 Kaapeli- ja putkireittien tutkimuskäytävät sekä meriläjitysalueet -yhteenvedo

11.1 Kaapeli- ja vetyputkireittien tutkimuskäytävät

Hankkeen kaapelireittivaihtoehtoja on viisi (MVE1-MVE5), joista reiteillä MVE1, MVE2 ja MVE5 on kaksi rantautumisvaihtoehtoa (a ja b). Myös vetyputkireittivaihtoehtoja on kolme (VVE1-VVE3), joista pohjoisilla putkireiteillä VVE2 ja VVE3 on osin yhteinen osuus rannikon läheisyydessä. Putkireitit VVE1, VVE2 ja VVE3 on yhtenevä kaapelireittien MVE1, MVE4 ja MVE5 kanssa.

Reiteillä MVE1b/VVE1, MVE2a ja MVE3 haitta-ainepitoisuudet ovat korkeintaan läjityskelpoisuuden pitoisuustasolla 1. Yksittäisiä PCDD/F-yhdisteiden pitoisuuksia ei todettu laboratoriomenetelmän määrittämisrajan ylittäviä pitoisuuksia. Myös normalisoimattomat pitoisuudet ovat alhaisia lukuun ottamatta arseenia, joka on lähes kaikissa sedimentinäytteissä koholla johtuen Perämeren ja Pohjanmereen sedimentin kohonneista arseenin taustapitoisuudesta (kappale 6.1).

Kaapelireiteillä MVE1a, MVE2a ja MVE3 ei tutkimusten perusteella arvioida aiheutuvan haitta-aineista johtuvia merkittäviä ekologisia vaikutuksia eliöstölle vesirakentamisen (ruoppaus- tai vesipainepuhalluksen) yhteydessä. Mahdolliset ruoppausmassat soveltuvat sijoittaviksi sekä hyvälle että tyydyttävälle läjityspaikalle. Kiintoaineen leviämismallinnuksen perusteella pienimmät ruoppauksen aiheuttamat vaikutukset ranta-alueella ovat havaittavissa kaapelireiteillä MVE2a ja MVE3, mihin vaikuttanee suurelta osin sedimentin vallitseva raekoko, joka on hiekka. Hiekka laskeutuu nopeammin ja kulkeutuminen on vähäisempää kuin hienoaineksella. Kaapeli- ja putkireitillä MVE1/VVE1 korkeita kiintoainepitoisuuksia (100 mg/l) esiintyy muuta laajemmalla alueella. Näin ollen pienimmät vaikutukset itse veden sameudesta alueen eliöstöön arvioidaan olevan kaapelireittien MVE2a ja MVE3 vesirakentamisella.

Rantautumisreitillä MVE1a/VVE1 todettiin yhdessä näytteessä (LSED-37 pinta) nikkeliä pitoisuustasolla 2. Muita haitta-ainepitoisuuksia olivat pääosin pitoisuustasolla 1 ja metalleja yksittäisissä pisteissä korkeintaan tasolla 1B. Mikäli rantautumisvaihtoehtoksi valitaan MVE1a, tulee tehdä lisätutkimuksia tutkimuspisteen LSED-37 alueella nikkelipitoisuuksien tarkentamiseksi. Alueella voi esiintyä laajemmin nikkeliä tai kyseessä voi olla myös hippuefekti.

Rantautumisvaihtoehtossa MVE2b yhdessä näytteessä (LSED-28 0-28 cm) on todettu PCDD/F-yhdisteistä määrittämisrajan ylittäviä pitoisuuksia. Normalisoidut pitoisuudet ovat tasolla 1C. Pitoisuustason 1C massa on sijoittavissa vain hyvälle läjityspaikalle. Kaapelireitin vesirakentamisella ei arvioida olevan kuitenkaan pitkäaikaisia ekologisia vaikutuksia, sillä haitta-aineita arvioidaan esiintyvän hyvin pienialaisesti, ja ne ovat hyvin niukkaliukoisia.

Pohjoisen kaapeli- ja putkireittien MVE4/VVE2 ja MVE5/VVE3 rannikon läheisyydessä esiintyy laaja-alaisesti sekä tutkittuja haitta-aineita että eroosioherkkää sedimenttiä. Rannikon läheisyydessä on korkeimmillaan pitoisuustason 1C (PCDD/F) sedimenttejä huomioiden sedimentin eroosioherkkyys. Vastaavasti mm. tributyyliä ja öljyhiilivetyä esiintyy pitoisuustasolla 1B. Valitsevana lajitteena on siltti, jossa savipitoisuus vaihtelee noin 8–20 % välillä. Kahdessa pisteessä (LSED-59 ja LSED-60) sedimentti luokitellaan silttiseksi liejuksi TOC-pitoisuuden perusteella. Kiintoaineksen leviämismallinnuksen perusteella rannan läheisyydessä vaikutukset ovat laaja-alaisempia ja osin pitkäkestoisempia kuin muilla kaapelireiteillä, mihin vaikuttanee merkittävästi osin muista reiteistä poikkeava sedimentin laatu. Kauempana rannikosta (LSED-56 ja LSED-57) ei merkittäviä haitta-ainepitoisuuksia todettu. Kaapeli- ja putkireittien MVE4/VVE2 ja MVE5/VVE3 vesirakentamisella

kokonaisvaikutusten arvioidaan olevan voimakkaampia ja pitkäkestoisempia vesiympäristön eliöstöön kuin muilla reiteillä niin veden sameuden kuin kalaston osalta.

Vesipainepuhalluksen vaikutusalue on kiintoaineksen leviämämallin perusteella pienempi ja sameuden nousu kestoaltaan lyhytaikaisempi kuin vesipainepuhalluksen sekä ruoppauksen ja läjityksen yhdistelmä. Näin ollen myös vesipainepuhalluksen haitta-aineista johtuvat ekologiset vaikutukset arvioidaan vähäisemmiksi.

11.2 Läjitysalueet

Tutkimusten kohteena oli yhteensä yhdeksän mahdollista läjitysalueita (Laine-1...Laine-9). Vuonna 2022 tutkittiin merituulivoimapuiston ulkopuolisia sen eteläpuolella (Laine 6) ja koillispuolella (Laine-4 ja Laine-5) sijoittuvia alueita sekä kaapeli- ja vetyputkireittien tutkimuskäytävien läheisyydessä sijaitsevia alueita (Laine-1...Laine-3). Lisäksi vuonna 2023 veden virtaustutkimuksia tehtiin tuulivoimapuiston alueella kolmesta erillistä kohdasta (Laine-7...Laine-9).

Virtaustutkimusten perusteella läjitysalueiksi soveltumattomia alueita olivat Laine-1 ja Laine-6. Hyviä läjityspaikkoja, jonne voidaan läjittää myös pitoisuustason Ympäristöministeriön ohjeen (2015) mukaan 1C ruoppausmassoja, olivat:

- Laine 2: kaapelireitin MVE2 läheisyydessä
- Laine 3: kaapelireitin MVE1 läheisyydessä
- Laine 4: tuulivoimapuiston pohjoispuolella
- Laine 7: tuulivoimapuiston eteläosassa

Tyydyttäviä läjityspaikkoja, jonne voidaan sijoittaa tason 1-1B ruoppausmassoja, olivat:

- Laine 5: tuulivoimapuiston pohjoispuolella
- Laine 8: tuulivoimapuiston pohjoisosassa
- Laine 9: tuulivoimapuiston pohjoisosassa

11.2.1 Merituulivoimapuiston ruoppausmassojen läjitysalue

Tutkimusten ja tarkastelun perusteella merituulivoimapuiston ruoppausmassojen läjityspaikaksi tutkituista vaihtoehdoista esitetään ensisijaiseksi läjitysalueeksi merituulivoimapuiston sisällä sijaitsevaa Laine-7 aluetta, joka on arvioitu hyväksi läjityspaikaksi ja alueelle voidaan sijoittaa myös läjityskelpoisuudeltaan pitoisuustason 1C massoja. Sijoitettaessa ruoppausmassat tuulivoimapuiston alueelle, vesirakentamisen vaikutukset hankealueen ulkopuolella ovat vähäiset. Läjitysalueita Laine-7 voidaan täydentää läjitysalueella Laine-8 tai Laine-9 huomioiden rajoitukset läjityskelpoisuudessa. Tarkalleen meriläjitysalueen Laine-7 kohdalla ei kuitenkaan ole tehty sedimenttitutkimuksia, joten sedimentin laatu ja haitta-ainepitoisuudet esitetään tutkittavaksi myöhemmässä vaiheessa ennen vesilupamenettelyä. Tässä arviossa laatu ja haitta-ainepitoisuudet on oletettu vastaavaksi kuin muualla merituulivoimapuiston eteläosassa.

Merituulivoimapuiston koillispuolella sijaitsevalle läjitysalue Laine-4 luokitellaan myös hyväksi läjitysalueeksi. Alueella sedimentissä esiintyy korkeimmillaan pitoisuustason 2 haitta-aineita, jotka voivat läjitystapahtumassa syrjäytyä ja kulkeutua kiintoaineksen mukana veteen ja vaikuttaa veden haitta-ainepitoisuuksiin. Läjitetessä ruoppausmassat merituulivoimapuiston ulkopuolelle, myös hankkeen vaikutusalue kasvaa. Kiintoaineksen leviämämallissa läjitysalue Laine-4 ei ollut tarkastelussa, joten vaikutusalueen laajuus ei ole tiedossa. Myöhemmässä vaiheessa ennen vesilupahakemusvaihetta tulee tarkastella, onko merituulivoimapuiston pohjoisosan korkeita haitta-ainepitoisuuksia sisältävät sedimentit kestävämpää läjittää puiston sisäalueen tyydyttäville läjitysalueille vai ulkopuolella koillisessa sijaitseville läjitysalueille, joiden metallipitoisuudet saattavat olla luontaista alkuperää (ja siten vaikka niitä leviäisikin kauemmas, on pohja samanlaatuista).

Tarkastelussa tulee huomioida, että osa merituulivoimapuiston alueen ruoppausmassoista on tasolla 1C tai 2. Massojen sijoittelun riskinhallinta voidaan mahdollisesti toteuttaa esimerkiksi peittämällä, jos läjitysalueen virtaukset ovat vähäiset.

11.2.2 Kaapeli- ja vetyputkireittien tutkimuskäytävien lähellä sijaitsevat läjitysalueet

Kaapeli- ja putkireittien tutkimuskäytävien läheisyydessä virtausolosuhteiden osalta läjitykseen soveltuvat alueet ovat Laine-2 ja Laine-3. Tutkimusten perusteella Laine-1 ei sovellu läjitykseen liian suurten veden virtausnopeuksien vuoksi. Läjitykseen soveltuvilla alueilla Laine-2 ja Laine-3 veden virtausnopeuksissa ei ole merkittäviä eroja. Molemmille alueille on otettu sedimenttinäytteitä kahdesta tutkimuspisteestä. Sedimentin haitta-ainepitoisuudet ovat korkeimmillaan tasolla 1 tai 1A (PAH-yhdisteet ja metallit). Yksittäisiä PCDD/F-yhdisteitä ei ole todettu laboratorion määritysrajat ylittäviä pitoisuuksia. Haitta-ainepitoisuudet ovat toisiaan vastaavalla tasolla. Läjitysalueelta Laine-2 on kuitenkin tutkittu vain pintasedimentti näytteenottotavasta ja pohjan laadusta johtuen. Sedimentin raekoossa onkin eroa läjitysalueiden kesken. Alueella Laine-2 sedimentin vallitsevana lajitteena on hiekka, jossa savipitoisuudet olivat 6 % ja 20 %. Läjitysalueella Laine-3 vallitsevana lajite on siltti, jossa savipitoisuus vaihteli välillä 8...18 %. Laine-2 alue voi olla transportaatiopohjaa. Transportaatiopohjalla sedimentaatiota tapahtuu ajoittain, mutta ei jatkuvasti. Esim. myrskyjen yhteydessä näillä pohjilla tapahtuu myös eroosiota ja materiaalia kulkeutuu kohti akkumulaatiopohjia. Alueen Laine-2 pohjan soveltuvuus läjitykseen vaatii lisätutkimuksia. Läjitysalueen Laine-3 virtausnopeudet ovat vähäisempiä, ja se arvioidaan akkumulaatiopohjaksi. Alueella (Laine-3) todettiin eroosioherkkää sedimenttiä (LSED-49), joka läjityksen yhteydessä voi normaalisedimenttiä herkemmin syrjäytyä ja kulkeutua veden mukana läjitysalueen ulkopuolelle.

Kiintoaineen leviämämallin perusteella läjitystapahtumassa kohonneita kiintoainepitoisuuksia (10 mg/l) on todettu myös läjitysalueiden ulkopuolella. Korkeammat kiintoainepitoisuudet (100 mg/l) Laine-3 alueella esiintyvät laajemmalla alueella ja pitkäkestoisemmin kuin Laine-2 alueella johtuen osaltaan sedimentin laadusta. Läjitysalueiden vaikutukset mallissa kuitenkin sekoittuvat myös kaapelireitin muihin vesirakentamisen (vesipainepuhallus ja ruoppaus) vaikutuksiin.

Mikäli vesirakentamisen osalta valitaan vesipainepuhalluksen ja ruoppauksen yhdistelmä, tulee läjitysalueelle Laine-2 tehdä lisäselvityksiä pohjaolosuhteiden soveltuvuudesta läjitysalueeksi.

12 Johtopäätökset ja yhteenveto

Kokkolan ja Pietarsaaren edustan talousvyöhykkeelle suunnitellaan Laineen merituulivoimapuistoa, jonka hankesuunnitelma merialueella sisältää merituulivoimapuiston ja merelle sijoitettavien vedyntuotantolaitosten lisäksi meriläjitysalueet sekä kaapeli- ja putkireitit mantereelle. Hankealueelta ja kaapelireiteiltä ruopattavat sedimentit on suunniteltu läjitettäväksi merelle. Suunnittelualueella on tehty sedimentti-, virtaus- ja pohjaeläintutkimuksia vuosina 2022 ja 2023 Luode Consulting Oy:n toimesta.

Tässä arvioissa tarkasteltiin Laineen merituulivoimapuiston ja siihen liittyvien kaapeli- ja putkireittien sedimenteistä mahdollisesti aiheutuvia kulkeutumis- ja ekologisia riskejä tulevassa käytössä vesirakentamisen (ruoppaus) sekä meriläjityksen osalta. Putki- ja kaapelireittien osalta vaihtoehtona on myös vesipainepuhallus. Lisäksi tarkasteltiin suunniteltujen potentiaalisten läjitysalueiden (Laine-1...Laine-9) soveltuvuutta läjitykseen. Kriittisiä haitta-aineita olivat arseeni, kupari, nikkeli sekä öljyhiilivedyt ja PCDD/F-yhdisteet

Alueen ruopattavat sedimentit luokitellaan tutkimusten perusteella läjityskelpoisuuden osalta pääosin tasolle 1, 1A ja 1B. Suunnittelualueella todettiin kuitenkin läjityskelpoisuudeltaan myös tason 1C ja 2 massoja erityisesti pintasedimentissä sekä varsinaisen merituulivoimapuiston alueella että sen ulkopuolelle koilliseen sijoittuvilla meriläjitysalue tarkastelussa olevilla alueilla Laine-4 ja Laine-5. Myös kaapeli- ja putkireiteillä MVE4/VVE2 ja MVE5/VVE3 todettiin korkeimmillaan tason 1C massoja. Reitin MVE1a/VVE1 rantautumisalueella todettiin läjityskelpoisuudeltaan tason 2 massoja yhdessä pisteessä. Läjityskelpoisuuden tarkastelussa huomioitiin ohuin ruopattavissa oleva kerrospaksuus (30 cm) ja sedimentin eroosioherkkyys.

Sedimenttien sisältämien haitta-aineiden aiheuttama kulkeutumisriski ja vesieliöihin kohdistuva haitta arvioitiin merkityksettömäksi tai vähäiseksi alueesta riippuen. Tarkastelualueen pohjoisosassa sijoittuvilla kaapeli- ja putkireiteillä MVE4/VVE2 ja MVE5/VVE3 todettiin merkittävimmät riskit ruoppauksen aikana ja reittien ruoppaamisesta voi aiheutua haittaa eliöstölle. Riskit rajoittuvat pääasiassa vesirakentamisen (ruoppaus ja vesipainepuhallus) ja läjitystoiminnan yhteyteen ja ovat näin ollen lyhytaikaisia ja paikallisia. Veden samentuminen ja kiintoainepitoisuuden nousu vesirakentamisen aikana on lyhytaikaista ja rajoittuu pääsääntöisesti läjitysalueen välittömään läheisyyteen. Kaapelireiteillä vesipainepuhalluksen aiheuttamat vaikutukset ovat kiintoaineen leviämämallinnuksen perusteella pienialaisempia ja lyhytaikaisempia kuin ruoppauksen ja vesipainepuhalluksen yhdistelmällä. Vesipainepuhallusta käytettäessä vastaavasti haitta-aineet uudelleenkerrostuvat kiintoaineen mukana samalle alueelle kuin mistä ne ovat peräisin.

Yhteenvedo tarkastelusta ja mahdollisista ruoppauksen ja vesipainepuhalluksen aikaisista riskeistä merituulivoimapuiston ja kaapeli- ja putkireittien alueella on esitetty taulukossa 18. Tarkastelussa on huomioitu pohjasedimentin laatu ja ominaisuudet sekä haitta-ainepitoisuudet, pohjan eliöiden tila, veden virtausolosuhteet ja kiintoaineen kulkeutumisesta laadittu mallinnus. Tässä arviossa kalaston osalta on huomioitu sedimentin haitta-aineiden vaikutukset kalastoon yleisellä tasolla, mutta tarkastelussa ei ole huomioitu mahdollisia kalaston kutualueita tai muita vastaavia vesiympäristön eliöiden lisääntymisalueita, joita on tarkasteltu tarkemmin hankkeen YVA-selostuksessa.

Taulukko 18. Yhteenvedo merituulivoimapuiston sekä kaapeli- ja putkireittien tutkimuskäytävien massojen läjityskelpoisuudesta (huomioiden sedimentin eroosioherkkyys) ja vesirakentamisen aiheuttamista riskeistä.

Alue	Läjityskelpoisuus ja riskit
Merituulivoimapuisto	Eteläosassa sedimentin läjityskelpoisuus tutkituilla alueilla pitoisuustasolla 1A ja 1B → läjitys hyvälle tai tyydyttävälle läjitysalueelle Pohjoisosassa sedimentin läjityskelpoisuus tutkituilla alueilla korkeimmillaan pitoisuustasolla 2 → Lähtökohtaisesti tason 2 sedimentit tulisi nostaa maalle, ellei niiden meriläjitys ole kokonaisuutena tarkastellen kestävämpi vaihtoehto. Ruoppaustoiminnan aikana todetuista haitta-ainepitoisuuksista ei arvioitu aiheutuvan merkittävää haittaa eliöstölle.
Kaapeli- ja putkireittien tutkimuskäytävät	
MVE1a / VVE1	Sedimentin läjityskelpoisuus pääosin pitoisuustasolla 1 ja 1A, rantautumisalueella nikkeli tasolla 2 → tason 1 ja 1A ruoppausmassojen läjitys hyvälle tai tyydyttävälle läjitysalueelle

Alue	Läjituskelpoisuus ja riskit
	→ lisätutkimukset LSED-37 alueella nikkelin esiintymisen ja läjituskelpoisuuden tarkentamiseksi (LSED-38 nikkelin pitoisuudet tasolla 1A) Todetuista haitta-ainepitoisuuksista ja -määristä ei arvioida aiheutuvan merkittäviä lyhyt- tai pitkäaikaisia riskejä ruoppauksen yhteydessä.
MVE1b	Sedimentin läjituskelpoisuus pitoisuustasolla 1 ja 1A → läjitys hyvälle tai tyydyttävälle läjitysalueelle Todetuista haitta-ainepitoisuuksista ei aiheudu riskejä vesirakentamisen tai meriläjityksen yhteydessä
MVE2a	Sedimentin läjituskelpoisuus pääosin pitoisuustasolla 1 ja 1A → läjitys hyvälle tai tyydyttävälle läjitysalueelle Todetuista haitta-ainepitoisuuksista ei aiheudu riskejä vesirakentamisen tai meriläjityksen yhteydessä
MVE2b	Sedimentin läjituskelpoisuus pääosin pitoisuustasolla 1 ja 1A, rantautumisalueella läjituskelpoisuus (PCDD/F) tasolla 1C → tason 1C ruoppausmassojen läjitys hyvälle läjitysalueelle, tason 1 ja 1A ruoppausmassojen läjitys hyvälle tai tyydyttävälle läjitysalueelle Todetuista haitta-ainepitoisuuksista ja -määristä ei arvioida aiheutuvan merkittäviä lyhyt- tai pitkäaikaisia riskejä vesirakentamisen tai meriläjityksen yhteydessä
MVE3	Sedimentin läjituskelpoisuus pitoisuustasolla 1 → läjitys hyvälle tai tyydyttävälle läjitysalueella Todetuista haitta-ainepitoisuuksista ei aiheudu riskiä vesirakentamisen tai meriläjityksen yhteydessä. Vesirakentamisen yhteydessä suspendoituvasta kiintoaineesta aiheutuvat vaikutukset pienialaisempia ja lyhytaikaisempia kuin muilla kaapelireiteillä
MVE4/VVE2	Sedimentin läjituskelpoisuus rantautumisalueella pääosin pitoisuustasolla 1C (PCDD/F), muuten tasolla 1 ja 1B → tason 1C ruoppausmassojen läjitys hyvälle läjitysalueelle, tason 1 ja 1B ruoppausmassojen läjitys hyvälle tai tyydyttävälle läjitysalueelle Rantautumisalueella eroosioherkkää sedimenttiä → kiintoaineiden ja haitta-aineiden kulkeutumisriski vesirakentamisen yhteydessä Vesirakentamisen vaikutukset vedessä pitkäaikaisempia kuin kaapelireiteillä MVE1-MVE3. Vesirakentamisesta voi aiheutua lyhyt- ja pitkäaikaisia vaikutuksia eliöstöön
MVE5/VVE3ab	Sedimentin läjituskelpoisuus rantautumisalueella pääosin pitoisuustasolla 1C (PCDD/F), muuten tasolla 1, 1A ja 1B → tason 1C ruoppausmassojen läjitys hyvälle läjitysalueelle, tason 1, 1A ja 1B ruoppausmassojen läjitys hyvälle tai tyydyttävälle läjitysalueelle Eroosioherkkää sedimenttiä → kiintoaineiden ja haitta-aineiden kulkeutumisriski Vesirakentamisen vaikutukset vedessä pitkäaikaisempia kuin kaapelireiteillä MVE1-MVE3. Vesirakentamisesta voi aiheutua lyhyt- ja pitkäaikaisia vaikutuksia eliöstöön

Yhteenveto läjitysalueiden (Laine-1...Laine-9) soveltuvuudesta läjitykseen on esitetty taulukossa 19. Hyvälle läjityspaikalle voidaan läjittää 1, 1A, 1B ja 1C tason massoja ja tyydyttävälle läjityspaikalle voidaan läjittää 1, 1A ja 1B tasojen massoja. Ruoppausmassojen, joiden haitta-aineiden läjityskelpoisuus on tasolla 1C, sijoittaminen tyydyttävälle läjityspaikalle edellyttää suunnitelmaa riskinhallintatoimenpiteistä, joilla näiden massojen kulkeutuminen läjityspaikan vaikutusalueelle minimoidaan.

Taulukko 19. Läjitysalueiden soveltuvuus läjitykseen virtausolosuhteiden osalta ja yhteenveto riskeistä.

Alue	Soveltuvuus läjitykseen virtausolojen osalta	Riskit
Kaapeli- ja putkireittien tutkimuskäytävien lähelle sijoittuvat alueet		
Laine-1	Ei sovellu	Virtausolosuhteet heikot, eli pohjanläheiset virtausnopeudet suuria; lisäksi sedimentti on löyhää → kulkeutumisriski Tapauskohtaisesti voidaan ottaa tarkasteluun hyvien ja tyydyttävien läjityspaikkojen puuttuessa, läjitysmahdollisuus vain tason 1 ja 1A maasoille.
Laine-2	Hyvä	Mahdollinen transportaatiopohja, vaatii lisäselvityksiä → mahdollisesti vain tyydyttävä läjitysalue Ei sedimentin haitta-aineista aiheutuvia riskejä
Laine-3	Hyvä	Eroosioherkkää sedimenttiä → kiintoaineksen ja haitta-aineiden kulkeutumisriski läjityksen alussa Todetuista haitta-ainepitoisuuksista ja -määristä ei arvioida aiheutuvan merkittäviä lyhyt- tai pitkäaikaisia riskejä
Merituulivoimapuiston ulkopuolella sijaitsevat alueet		
Laine-4	Hyvä	Eroosioherkkää sedimenttiä → kiintoaineksen ja haitta-aineiden kulkeutumisriski läjityksen alussa, kiintoaineen kulkeutumista ei ole mallinnettu → Hankkeen vaikutusalueen suurentuminen, jos otetaan käyttöön Sedimentin haitta-ainepitoisuudet korkeimmillaan tasolla 2
Laine-5	Tyydyttävä	Eroosioherkkää sedimenttiä → kiintoaineksen ja haitta-aineiden kulkeutumisriski läjityksen alussa, kiintoaineen kulkeutumista ei ole mallinnettu eikä virtausnopeuksia mitattu → Hankkeen vaikutusalueen suurentuminen Sedimentin haitta-ainepitoisuudet korkeimmillaan tasolla 2 ->
Laine-6	Ei sovellu	Virtausolosuhteet heikot, eli pohjanläheiset virtausnopeudet suuria, lisäksi sedimentti on löyhää; Kulkeutumisriski Tapauskohtaisesti voidaan ottaa tarkasteluun hyvien ja tyydyttävien läjityspaikkojen puuttuessa, läjitysmahdollisuus vain tason 1 ja 1A maasoille.

Alue	Soveltuvuus läjitykseen virtausolojen osalta	Riskit
Merituulivoimapuiston sisällä sijaitsevat alueet		
Laine-7	Hyvä	Läjityksellä ei vaikutuksia tuulivoimapuiston ulkopuolelle. Sedimentin haitta-ainepitoisuuksia ei ole tutkittu → sedimenttitutkimukset hankkeen edetessä, mikäli alue valitaan jatkotarkasteluun
Laine-8	Tyydyttävä	Eroosioherkkää sedimenttiä → kiintoaineksen ja haitta-aineiden kulkeutumisriski läjityksen alussa. Todetuista haitta-ainepitoisuuksista ja -määristä ei arvioida kuitenkaan aiheutuvan merkittäviä lyhyt- tai pitkäaikaisia riskejä
Laine-9	Tyydyttävä	Läjityksellä ei vaikutuksia tuulivoimapuiston ulkopuolelle. Todetuista haitta-ainepitoisuuksista ja -määristä ei arvioida aiheutuvan merkittäviä lyhyt- tai pitkäaikaisia riskejä.

Meriläjitysalueet merituulivoimapuiston koillispuolella (Laine-4 ja Laine-5) ovat löyhää sedimenttiä, mutta todennäköisesti akkumulaatiopohjaa. Merituulivoimapuiston rakentamisesta aiheutuvan vaikutusalueen ja kulkeutumisriskien minimoimiseksi suositellaan puiston alueelta ruopattavat massat sijoitettavaksi läjitysalueelle Laine-7, jota voidaan täydentää läjitysalueilla Laine-8 tai Laine-9 huomioiden rajoitukset läjityskelpoisuudessa. Mikäli teknillis-taloudellisista syistä on tarve hyvälle läjityspaikalle myös hankealueen pohjoisosasta syntyville ruoppausmassoille (lyhyempi kuljetusmatka proomulle), voidaan puiston ulkopuolella sen koillispuolella sijaitseva läjitysalue Laine-4 ottaa mukaan jatkotarkasteluun, sillä se on luokiteltu hyväksi meriläjitysalueeksi. Myöhemmässä vaiheessa, suunnittelun tarkentuessa vesilupavaiheessa, tulee tarkastella, onko merituulivoimapuiston pohjoisosan korkeita haitta-ainepitoisuuksia sisältävät sedimentit kestävämpää läjittää puiston sisäalueen tyydyttävälle läjitysalueille vai ulkopuolisille koillisessa sijaitseville läjitysalueille.

Kaapeli- ja putkireittien tutkimuskäytävien läheisistä tarkasteltavista läjitysalueista parhaiten läjitykseen soveltuu Laine-3. Läjitysalueen Laine-2 pohjan olosuhteiden osalta on tarve lisätutkimuksille. Läjitysalueen Laine-1 virtausolosuhteiden vuoksi alue ei sovellu läjitykseen. Hyvien tai tyydyttävien läjityspaikkojen puuttuessa puhtaiden ruoppausmassojen ja massojen ja korkeintaan pitoisuustasolla 1A olevien massojen läjittäminen paikalle, joka ei täytä hyvän tai tyydyttävän läjityspaikan kriteerejä, voidaan poikkeustapauksessa ottaa tarkasteluun yksittäisen hankkeen yhteydessä. Läjitysalueen kaapeli- ja putkireiteillä MVE4/VVE2 ja MVE5/VVE3 on kuitenkin todettu sedimentin irtotiheys huomioiden korkeimmillaan läjityskelpoisuuden osalta 1C massoja eikä niiden sijoittaminen ole mahdollista läjitysalueelle Laine-1. Mikäli on teknis-taloudellisista syistä ilmenee tarve edistää pohjoisempien kaapeli- ja putkireittien rakentamista, tulee etsiä hyväksi läjitysalueeksi luokiteltava alue tai ruoppausmassat kuljetetaan kauempana sijaitseville hyville läjitysalueille esimerkiksi alueille Laine-2 ja/tai Laine-3. Kaapelireitin MVE3 massojen sijoittamista läjitysalueelle Laine-1 voidaan tarvittaessa esittää.

Lähtökohtaisesti Ympäristöministeriön sedimenttien ruoppaus- ja läjitysohjeen mukaan (2015⁶) haitta-ainetason 2 sedimentit tulisi nostaa maalle, ellei niiden meriläjitys ole kokonaisuutena tarkastellen kestävämpi vaihtoehto. Tason 2 sedimentit voidaan sijoittaa

hyvälle läjityspaikalle, jos tapauskohtaisella tarkastelulla ja riskinarvioinnilla sekä riskinhallintatoimenpiteillä voidaan osoittaa, että maalle sijoittaminen on ympäristön kannalta veteen läjittämistä huonompi ratkaisu. Tarkastelussa tulee verrata sijoitusvaihtoehtoja ja niiden ympäristövaikutuksia ja kustannuksia sekä osoittaa ympäristön kannalta saavutettava kokonaishyöty. Tämän riskitarkastelun perusteella ei pitoisuustason 2 haitta-aineista arvoitu aiheutuvan merkittäviä riskejä vesieliöstölle vesirakentamisen yhteydessä. Mikäli pitoisuustason 2 ruoppausmassoja esitetään meriläjitettäväksi, tulee lisäksi tehdä eri osa-alueiden ja kustannusten kokonaistarkastelu sekä suunnitella läjittäminen tarkemmin ruoppauksen ja läjityksen yksityiskohtaisemmassa suunnittelussa tiiviissä yhteistyössä viranomaisen kanssa. Siinä yhteydessä tulee myös tarkemmin pohtia mahdollisuuksia ehkäistä työnaikaisen kiintoaineen leviäminen meriympäristöön.

13 Sammandrag

I den ekonomiska zonen utanför Karleby och Jakobstad planerar OX2 Green Finland Oy den havsbaserade vindkraftsparken Laine. Sediment som muddras från projektområdet planeras att deponeras i havet. Undersökningar av sediment, strömmar och bottenfauna har utförts i planeringsområdet 2022 och 2023 av Luode Consulting Oy.

Sedimenten i området är huvudsakligen klassificerade som kategori 1, 1A och 1B vad gäller deponeringsduglighet. Halter av skadliga ämnen på nivå 1C och 2 påträffades emellertid också i planeringsområdet, särskilt i ytsediment, både i området för själva den havsbaserade vindkraftsparken och i de områden som granskas för havsdeponering.

Denna bedömning undersöker de potentiella transport- och ekologiska riskerna med skadliga ämnen i sediment från den havsbaserade vindkraftsparken Laine och tillhörande kabel- och rörledningssträckningar vid framtida användning när det gäller vattenbyggnation och havsdeponering. I översikten bedöms effekterna av både sedimentbundna och vattenburna skadliga ämnen på vattenlevande biota genom att halterna av skadliga ämnen jämförs med ekologiska referensvärden. Upplösningen av skadliga ämnen från sediment till vatten har uppskattats genom beräkning. Bedömningen baseras på antagandet att mjuka sediment i projektområdet kommer att avlägsnas. Där muddring är ett tekniskt alternativ strävar man efter att placera muddermassorna i havsdeponeringsområden. Lämpligheten hos de planerade deponeringsområdena i projektområdet granskas också. Granskningen omfattar också en bedömning av de muddrade sedimentens deponeringsduglighet.

Projektplanen för den havsbaserade vindkraftsparken Laine omfattar inte bara den havsbaserade vindkraftsparken och de havsbaserade vätgasproduktionsanläggningarna, utan även havsdeponeringsområden samt kabel- och rörledningssträckningar till fastlandet. Sediment som muddras från projektområdet och kabelsträckningarna planeras att deponeras till havs. Undersökningar av sediment, strömmar och bottenfauna har utförts i planeringsområdet 2022 och 2023 av Luode Consulting Oy.

För rör- och kabelsträckningarna är högrtrycksspolning också ett alternativ. De planerade potentiella deponeringsplatsernas (Laine-1...Laine-9) lämplighet för deponering granskades också. De kritiska föroreningarna var arsenik, koppar, nickel, oljekolväten och PCDD/F-föreningar

I planeringsområdet påträffades sediment med deponeringsduglighet på nivå 1C och 2, särskilt i ytsedimenten, både i området för den havsbaserade vindkraftsparken och i havsdeponeringsområdena Laine-4 och Laine-5 i nordost. Även på kabel- och rörledningssträckningarna MVE4/VVE2 och MVE5/VVE3 påträffades massor med deponeringsduglighet på som högst nivå 1C. I landföringsområdet för sträckningen

MVE1a/VVE1 hittades massor med deponeringsduglighet på nivå 2 i en punkt. Vid granskning av deponeringsdugligheten togs hänsyn till den tunnaste muddringsbara skiktjockleken (30 cm) och sedimentets känslighet för erosion.

Risken för transport av skadliga ämnen i sediment och skada på vattenlevande organismer bedömdes som försumbar eller låg beroende på område. De största riskerna under muddring konstaterades på kabel- och rörledningssträckningarna MVE4/VVE2 och MVE5/VVE3 i den norra delen av undersökningsområdet och muddring av sträckningarna kan orsaka skada på organismer. Riskerna är huvudsakligen begränsade till vattenbyggnad (muddring och/eller högtrycksspolning) och deponering och är därför kortsiktiga och lokala. Ökningen av grumligheten och den höjda halten av suspenderat material under vattenbyggnadsarbetet kommer att vara kortvarig och huvudsakligen begränsad till deponeringsområdets omedelbara närhet. För kabelsträckningarna är effekterna av högtrycksspolning mindre och mer kortvariga än kombinationen av muddring och högtrycksspolning, baserat på simulering av spridning av suspenderat material. Vid högtrycksspolning sedimenteras skadliga ämnen tillsammans med suspenderat material i samma område som de härrör från.

En sammanfattning av granskningen och de potentiella riskerna med muddring och högtrycksspolning i området för den havsbaserade vindkraftsparken och kabel- och rörledningssträckningarna presenteras i tabell 18. Vid granskningen har hänsyn tagits till bottensedimentets kvalitet och egenskaper, halter av skadliga ämnen, status för bottenlevande organismer, strömförhållanden och simuleringen av transport av suspenderat material. Denna bedömning har tagit hänsyn till effekterna av skadliga ämnen i sedimentet på fiskbeståndet på en allmän nivå, men har inte tagit hänsyn till potentiella lekområden för fisk eller andra liknande reproduktionsområden, som har behandlats mer ingående i projektets MKB-dokument.

Tabell 20. Sammanfattning av deponeringsdugligheten för massorna från den havsbaserade vindkraftsparken och kabel- och rörledningskorridorerna (med beaktande av sedimentens erosionskänslighet) och riskerna med vattenbyggnad.

Område	Deponeringsduglighet och risker
Havsbaserad vindkraftspark	I den södra delen är sedimentens deponeringsduglighet i de undersökta områdena på nivåerna 1A och 1B → deponering på ett gott eller nöjaktigt deponeringsområde I den södra delen är sedimentens deponeringsduglighet i de undersökta områdena som högst på nivån 2 → Som utgångspunkt bör sediment på nivå 2 tas upp på land, såvida inte havsdeponering är ett mer hållbart alternativ totalt sett. De halter av skadliga ämnen som påträffas vid muddring förväntas inte orsaka betydande skada på organismer.
Undersökningskorridorer för kabel- och rörledningssträckningar	
MVE1a/VVE1	Sedimentens deponeringsduglighet är i huvudsak på nivåerna 1 och 1A, i landförlämningsområdet nickel på nivå 2 → deponering av muddermassor på nivå 1 och 1A i ett gott eller nöjaktigt deponeringsområde → ytterligare undersökningar vid området LSED-37 för att klarlägga förekomsten av nickel och deponeringsdugligheten (LSED-38 nickelkoncentrationer på nivå 1A)

Område	Deponeringsduglighet och risker
	De koncentrationer och nivåer av skadliga ämnen som påträffats förväntas inte medföra några betydande risker på kort eller lång sikt i samband med muddring.
MVE1b	Sedimentets deponeringsduglighet är på nivå 1 och 1A → deponering på ett gott eller nöjaktigt deponeringsområde De identifierade halterna av skadliga ämnen medför inte risker i samband med vattenbyggande eller havsdeponering
MVE2a	Sedimentens deponeringsduglighet är i huvudsak på nivåerna 1 och 1A → deponering på ett gott eller nöjaktigt deponeringsområde De identifierade halterna av skadliga ämnen medför inte risker i samband med vattenbyggande eller havsdeponering
MVE2b	Sedimentets deponeringsduglighet är i huvudsak på nivå 1 och 1A, i landföringsområdet är deponeringsdugligheten (PCDD/F) på nivå 1C → deponering av muddermassor på nivå 1C i ett gott deponeringsområde, deponering av muddermassor på nivå 1 och 1A i ett gott eller nöjaktigt deponeringsområde De koncentrationer och nivåer av skadliga ämnen som påträffats förväntas inte medföra några betydande risker på kort eller lång sikt i samband med vattenbyggnad eller havsdeponering
MVE3	Sedimentets deponeringsduglighet är på nivå 1 → deponering på ett gott eller nöjaktigt deponeringsområde De konstaterade halterna av skadliga ämnen medför inte risker i samband med vattenbyggande eller havsdeponering. Påverkan från material som suspenderas i samband med vattenbyggnad är mindre och mer kortvarig än för andra kabelsträckningar
MVE4/VVE2	Sedimentets deponeringsduglighet i landföringsområdet är på nivån (PCDD/F) 1C, i övrigt nivå 1 och 1B → deponering av muddermassor på nivå 1C i ett gott deponeringsområde, deponering av muddermassor på nivå 1 och 1B i ett gott eller nöjaktigt deponeringsområde Erosionskänsliga sediment i landföringsområdet → risk för transport av suspenderat material och skadliga ämnen i samband med vattenbyggnadsarbeten Konsekvenserna av vattenbyggnad i vattnet är mer långvariga än på kabelsträckningarna MVE1-MVE3. Kort- och långsiktiga konsekvenser för organismer kan uppstå av vattenbyggnad
MVE5/VVE3ab	Sedimentens deponeringsduglighet i landföringsområdet är huvudsakligen på nivå 1C (PCDD/F), annars på nivå 1, 1A och 1B → deponering av muddermassor på nivå 1C i ett gott deponeringsområde, deponering av muddermassor på nivå 1, 1A och 1B i ett gott eller nöjaktigt deponeringsområde Erosionskänsliga sediment → risk för transport av suspenderat material och skadliga ämnen Konsekvenserna av vattenbyggnad i vattnet är mer långvariga än på kabelsträckningarna MVE1-MVE3.

Område	Deponeringsduglighet och risker
	Kort- och långsiktiga konsekvenser för organismer kan uppstå av vattenbyggnad

En sammanfattning av deponiområdenas (Laine-1...Laine-9) lämplighet för deponering presenteras i tabell 19. På en god deponeringsplats kan massor på nivåerna 1, 1A, 1B och 1C deponeras och på en nöjaktig deponeringsplats kan massor på nivåerna 1, 1A och 1B deponeras. Placering av muddermassor med en deponeringsduglighet på nivå 1C på en nöjaktig deponeringsplats kräver en plan för riskhanteringsåtgärder för att minimera transporten av dessa massor till deponeringsplatsens influensområde.

Tabell 21. Deponeringsområdenas lämplighet för deponering med avseende på strömförhållanden och en sammanfattning av risker.

Område	Lämplighet för deponering när det gäller strömförhållanden	Risker
Områden nära undersökningskorridorerna för kabel- och rörledning		
Laine-1	Ej lämpligt	Dåliga strömförhållanden, dvs. höga strömhastigheter nära botten; dessutom är sedimentet löst → risk för transport Kan övervägas från fall till fall vid avsaknad av goda och nöjaktiga deponeringsplatser; endast möjlighet att deponera massor på nivå 1 och 1A.
Laine-2	God	Möjlig transportbotten, kräver ytterligare studier → möjligen bara ett nöjaktigt deponeringsområde Inga risker från skadliga ämnen i sedimentet
Laine-3	God	Erosionskänsliga sediment → risk för transport av suspenderat material och skadliga ämnen i början av deponeringen De koncentrationer och nivåer av skadliga ämnen som påträffats förväntas inte medföra några betydande risker på kort eller lång sikt
Områden utanför den havsbaserade vindkraftsparken		
Laine-4	God	Erosionskänsligt sediment → risk för transport av suspenderat material och skadliga ämnen i början av deponeringen, transport av suspenderat material har inte simulerats → Ökning av influensområdet om det tas i bruk Halterna av skadliga ämnen i sedimenten som högst på nivå 2
Laine-5	Nöjaktig	Erosionskänsligt sediment → risk för transport av suspenderat material och skadliga ämnen i början av deponeringen, transport av suspenderat material har inte simulerats och strömhastigheter har inte mätts → Ökning av projektets influensområde

Område	Lämplighet för deponering när det gäller strömförhållanden	Risker
		Halterna av skadliga ämnen i sedimenten som högst på nivå 2 ->
Laine-6	Ej lämpligt	Dåliga strömförhållanden, dvs. höga strömhastigheter nära botten; dessutom är sedimentet löst; Risk för transport Kan övervägas från fall till fall vid avsaknad av goda och nöjaktiga deponeringsplatser; endast möjlighet att deponera massor på nivå 1 och 1A.
Områden inom den havsbaserade vindkraftsparken		
Laine-7	God	Deponering kommer inte att ha någon påverkan utanför vindkraftsparken. Halterna av skadliga ämnen i sedimentet har inte undersökts → sedimentundersökningar när projektet fortskrider, om platsen väljs för fortsatt granskning
Laine-8	Nöjaktig	Erosionskänsliga sediment → risk för transport av suspenderat material och skadliga ämnen i början av deponeringen. De koncentrationer och nivåer av skadliga ämnen som påträffats förväntas dock inte medföra några betydande risker på kort eller lång sikt
Laine-9	Nöjaktig	Deponering kommer inte att ha någon påverkan utanför vindkraftsparken. De halter och mängder av skadliga ämnen som påträffats förväntas inte medföra några betydande risker på kort eller lång sikt.

Havsdeponeringsområdena nordost om den havsbaserade vindkraftsparken (Laine-4 och Laine-5) består av lösa sediment, men troligen ackumulationsbotten. För att minimera influensområdet för byggandet av den havsbaserade vindkraftsparken och risken för transport rekommenderas att muddermassorna från parkområdet placeras i deponeringsområdet Laine-7, som kan kompletteras med deponeringsområdena Laine-8 eller Laine-9, med beaktande av begränsningarna för deponeringsduglighet. Om det av teknisk-ekonomiska skäl också finns ett behov av en god deponeringsplats för muddermassor från den norra delen av projektområdet (kortare transportavstånd för pråmen), kan deponeringsområdet Laine-4, som ligger utanför parken på dess nordöstra sida, ingå i den fortsatta granskningen, eftersom den klassificeras som ett gott havsdeponeringsområde. I ett senare skede, när planeringen förfinas ytterligare i vattentillståndsskedet, måste man överväga om det är mer hållbart att deponera sediment med höga halter av skadliga ämnen från den norra delen av den havsbaserade vindkraftsparken i de nöjaktiga deponeringsområdena inne i parken eller i de utanförliggande deponeringsområdena i nordost.

Av de deponeringsområden som övervägs i närheten av kabel- och rörledningskorridorerna är Laine-3 den mest lämpliga för deponering. Det finns behov av ytterligare undersökningar av bottenförhållandena i deponeringsområdet Laine-2. På grund av strömförhållandena i deponeringsområdet Laine-1 är området inte lämpligt för deponering. I avsaknad av goda

eller nöjaktiga deponiområden kan deponering av rena muddermassor och massor med en haltnivå på högst 1A på en plats som inte uppfyller kriterierna för en god eller nöjaktig deponeringsplats i undantagsfall övervägas inom ramen för ett enskilt projekt. Kabel- och rörledningssträckningarna MVE4/VVE2 och MVE5/VVE3 i deponeringsområdet har dock visat sig innehålla massor med deponeringsduglighet 1C som högst med beaktande av sedimentets skrymdensitet, och de kan inte placeras i deponeringsområdet Laine-1. Om det av tekniska och ekonomiska skäl finns ett behov av att främja byggandet av de nordligaste kabel- och rörledningssträckningarna, bör ett område som klassificeras som ett gott deponeringsområde sökas eller så bör muddermassorna transporteras till goda deponeringsområden längre bort, till exempel Laine-2 och/eller Laine-3. Placering av massor från kabelsträckningen MVE3 i deponiområdet Laine-1 kan föreslås vid behov.

Enligt miljöministeriets vägledning om muddring och deponering av sediment (2015⁶⁾) bör sediment med en haltnivå på 2 av skadliga ämnen i princip tas upp på land, såvida inte deponering till havs är ett mer hållbart alternativ totalt sett. Nivå 2-sediment får deponeras på en god deponeringsplats om det kan påvisas genom granskning och riskbedömning från fall till fall och med riskhanteringsåtgärder att deponering på land är miljömässigt sämre än deponering i vatten. Bedömningen ska jämföra platsalternativen och deras miljöpåverkan och kostnader, samt visa de övergripande miljöfördelarna. Baserat på denna riskbedömning uppskattades inga betydande risker för vattenlevande organismer från skadliga ämnen på nivå 2 i samband med vattenbyggnad. Om muddermassor på haltnivå 2 föreslås för havsdeponering bör dessutom en övergripande bedömning av de olika delarna och kostnaderna göras och deponeringen planeras noggrannare i den mer detaljerade planeringen av muddring och deponering, i nära samarbete med myndigheten. I detta sammanhang bör även möjligheterna att förhindra spridning av suspenderat material till havsmiljön under arbetet övervägas ytterligare.