

Liite 3

Hallan merituulivoimapuisto, hydrodynamiikka, sedimentin ja suolaveden leviämisen mallinnus

Selvitys ja lausunto Hallan merituulipuiston hydrodynaamisista mallinnusasiakirjoista ja mallinnusparametreista (Eng. / Fi)

Sedimentin ja suolaveden leviämisen mallinnus

Vaikutukset fyysiseen ympäristöön, 25 MW:n tuulivoimalaitos

Keskitetyn vedyntuotannon prosessijätevesi, vaikutus fyysiseen ympäristöön

Tästä dokumentista puuttuvat raporttien liitteet (Sedimentin ja suolaveden leviämisen mallinnus 41 kpl + Vaikutukset fyysiseen ympäristöön, 25 MW:n tuulivoimalaitos 3 kpl) on saatavilla erikseen pyydettäessä osoitteesta: patrick.lees@ox2.com.

Clarification and statement on Halla offshore wind farm hydrodynamic modelling documents and modelling parameters

Niras has conducted the following work for Halla Offshore Wind Oy EIA report regarding the projects impacts on hydrodynamics, sediment dispersal and brine dispersal.

Following reports have been made regarding hydrodynamics of the project:

- Halla OWF, hydrodynamics 20.12.2023 REV02
- Halla OWF, H₂ wastewater, impact to physical environment 24.11.2024 REV03
- Halla OWF, Impact on the physical environment, 25 MW wind turbine 10.12.2024 REV03

The impacts of an offshore wind farm on the physical environment are complex and influenced by various factors, including local wind and water current conditions, the number and arrangement of turbines, the size of the foundations, the physical dimensions of the turbines, and the turbine power curve, which is related to the power output of the turbines.

Main report (Halla OWF, hydrodynamics 20.12.2023 REV02) consists of following options:

- Option 1 (VE1) with 160 wind turbines 15 MW each
- Option 2 (VE2) with 120 wind turbines 20 MW each

The report mentions single turbine power (15 or 20 MW) often based on options set above even though it would not have any impact on the model itself, for example sediment dispersal modelling where the foundations size and dredged masses plays key role.

However, EIA options are considering 15 MW (160 pcs) and 25 MW (120 pcs) turbines. To ensure that all modellings cover also 25 MW turbine, the additional report of 25 MW impact on hydrodynamics was created (Halla OWF, Impact on the physical environment, 25 MW wind turbine 10.12.2024 REV03). Other parts of the report are not impacted by the turbine power.

The reports mentioned above provide details on each impact type, considering both the maximum impact approach and the precautionary principle. The sediment dispersal modelling includes options for 15 MW and 20 MW scenarios, with the 20 MW case also representing the 25 MW scenario.

Date: 16.12.2024

A handwritten signature in black ink, reading "Tony E. Bergøe", written over a horizontal line.

Tony Erik Bergøe

Title: Chief Advisor Hydraulic, Coastal & Oceanographic Engineering

Company: NIRAS

Suomennos edellä olevasta alkuperäiskirjelmän sisällöstä:

Selvitys ja lausunto Hallan merituulipuiston hydrodynaamisesta mallinnusasiakirjoista ja mallinnusparametreista

Niras on tehnyt seuraavat työt Halla Offshore Wind Oy:n YVA-selostusta varten koskien hankkeen vaikutuksia hydrodynamiikkaan, sedimenttien leviämiseen ja suolaveden leviämiseen.

Hankkeen hydrodynamiikasta on laadittu seuraavat raportit:

- Halla OWF, hydrodynamiikka 20.12.2023 REV02
- Halla OWF, H₂jätevesi, vaikutus fyysiseen ympäristöön 24.11.2024 REV03
- Halla OWF, vaikutukset fyysiseen ympäristöön, 25 MW:n tuulivoimala 10.12.2024 REV03

Merituulipuiston vaikutukset fyysiseen ympäristöön ovat monitahoisia, ja niihin vaikuttavat monet tekijät, kuten paikalliset tuuli- ja virtausolosuhteet, voimaloiden lukumäärä ja sijoittelu, perustusten koko, voimaloiden fyysiset mitat ja voimaloiden tehokäyrä, joka liittyy voimaloiden tehoon.

Pääraportti (Halla OWF, hydrodynamiikka 20.12.2023 REV02) koostuu seuraavista vaihtoehtoista:

- Vaihtoehto 1 (VE1), jossa on 160 tuulivoimalaa, yksikköteho 15 MW
- Vaihtoehto 2 (VE2), jossa on 120 tuulivoimalaa, yksikköteho 20 MW.

Selostuksessa mainitaan yksittäisten voimaloiden teho (15 tai 20 MW), joka perustuu usein edellä esitettyihin vaihtoehtoihin, vaikka sillä ei olisi mitään vaikutusta itse malliin, esimerkiksi sedimentin leviämisen mallintamiseen, jossa perustusten koolla ja ruopattavilla massoilla on keskeinen merkitys.

EIA:n vaihtoehtoissa tarkastellaan kuitenkin 15 MW:n (160 kpl) ja 25 MW:n (120 kpl) voimaloita. Sen varmistamiseksi, että kaikki mallinnukset kattavat myös 25 MW:n voimalan, laadittiin lisäraportti 25 MW:n vaikutuksista hydrodynamiikkaan (Halla OWF, Vaikutukset fyysiseen ympäristöön, 25 MW:n tuulivoimala 10.12.2024 REV03). Turbiinin teho ei vaikuta raportin muihin osiin.

Edellä mainituissa raporteissa annetaan yksityiskohtaisia tietoja kustakin vaikutustyyppistä ottaen huomioon sekä suurimman mahdollisen vaikutuksen lähestymistapa että ennalta varautumisen periaate. Sedimentin leviämisen mallintamiseen sisältyy vaihtoehtoja 15 MW:n ja 20 MW:n skenaarioille, ja 20 MW:n tapaus edustaa myös 25 MW:n skenaariota.

Päivämäärä: 16.12.2024

Tony Erik Bergøe

Otsikko: Yritys: Chief Advisor Hydraulic, Coastal & Oceanographic Engineering:

NIRAS



Hallan merituulivoimapuisto, hydrodynamiikka

Sedimentin ja suolaveden leviämisen mallinnus

OX2 AB

Päivämäärä: 20.12.2023

Tekijänoikeudet © Halla Offshore Wind Oy. Kaikki oikeudet pidätetään. Tätä asiakirjaa, sen liitteitä tai mitään osaa niistä ei saa kopioida, jäljentää, julkaista, levittää tai muokata miltään osin ilman Halla Offshore Wind Oy:n kirjallista lupaa.

Versio- numero	Päivämäärä	Kuvaus	Laatija	Vahvistaja	Hyväksyjä
01	20230915	Luonnos	AIRN/TEB	GVIG	TEB
02	20231220	Päivitetyt batymetriset tiedot ja sedimentin leviäminen vientikaapelin osalta	AIRN/TEB	GVIG	TEB

Sisällys

1.	Johdanto	7
2.	Työn laajuus.....	7
3.	Lyhenne	7
4.	Yhteenveto	8
4.1.	Lähtötilanne ja edustava vuosi.....	8
4.2.	Sedimentin leviäminen	9
4.3.	Hydrodynaaminen vaikutus.....	10
5.	Menetelmä	11
5.1.1.	Hydrodynaaminen malli	11
5.1.2.	CFD-malli	12
5.1.3.	Sedimenttimalli	12
6.	Taustatiedot.....	13
6.1.	Halla, hankkeen kuvaus.....	13
6.1.1.	Tuulivoimapuiston sijoittelu	13
6.1.2.	Mitat	14
6.1.3.	Sedimenttilähteet – rakentamisvaihe.....	15
6.1.4.	Vedyntuotanto, jätevesi – käyttövaihe.....	18
6.2.	Batymetriset tiedot	18
6.3.	Havainnot	19
6.3.1.	Vedenkorkeudet	19
6.3.2.	Virtaukset.....	20
6.3.2.1.	Julkisesti saatavilla olevat tiedot	21
6.3.2.2.	Vuoden ADCAP-mittaukset	21
6.3.3.	Suolapitoisuus	25
6.3.4.	Suolapitoisuuden pystyprofiilimittaukset (CTD)	26
6.3.4.1.	Julkisesti saatavilla olevat tiedot vuodelta 2021	26
6.3.4.2.	Mittaukset OX2:sta vuonna 2022	27
6.3.5.	Pintalämpötila.....	27
6.3.6.	Lämpötilan pystyprofiilimittaukset (CTD)	28
6.3.6.1.	Julkisesti saatavilla olevat tiedot vuodelta 2021	28

6.3.6.2.	Mittaukset OX2:sta vuonna 2022	29
6.4.	Hydrodynaamiset tiedot malleista.....	29
6.4.1.	Vedenkorkeudet	29
6.4.2.	Virtaukset.....	29
6.4.3.	Suolapitoisuus ja lämpötila	29
6.5.	Tuuli, ilmanpaine, ilman lämpötila, pitkä- ja lyhytaaltainen nettosäteily	29
6.6.	Merijää	29
6.7.	Valuma.....	31
6.8.	Pintasedimentit, merenpohjan geologia.....	34
6.9.	Lähtötilanteen kuvaus.....	35
7.	Hydrodynaaminen 3D-malli (alueellinen ja paikallinen)	37
7.1.	Batymetria ja verkko.....	37
7.1.1.	Alueellinen malli	37
7.1.2.	Paikallinen sedimenttimalli.....	38
7.2.	Rajatiedot.....	38
7.3.	Mallin määrittäminen ja kalibrointi.....	39
7.4.	Edustavan ajanjakson yksilöinti.....	39
7.5.	Todentaminen.....	40
7.5.1.	Vedenkorkeudet	40
7.5.2.	Virtaus.....	42
7.5.2.1.	Vuoden 2022 ADCP-mittaukset	42
7.5.3.	Suolapitoisuus	45
7.5.4.	Suolapitoisuusprofiilit.....	46
7.5.4.1.	Julkisesti saatavilla olevat tiedot vuodelta 2021	46
7.5.4.2.	Mittaukset OX2:sta vuonna 2022	47
7.5.5.	Veden lämpötila.....	47
7.5.6.	Lämpötilaprofiilit	48
7.5.6.1.	Julkisesti saatavilla olevat tiedot vuodelta 2021	48
7.5.6.2.	Mittaukset OX2:sta vuonna 2022	50
7.5.7.	Yhteenveto – mallin todentaminen.....	52
8.	Sedimentin leviämismalli.....	53
8.1.	Sedimenttilähteet ja kulkeutumisennuste	53
8.1.1.	Tuulivoimapuistoalue	53
8.1.2.	Vientikaapelit	54
8.2.	Sedimenttityyppi.....	54
8.3.	Arvioitu vuoto	55
8.4.	Arvioidut sedimenttipitoisuudet ja niihin liittyvät kestot	57
8.4.1.	15 MW:n tapaus.....	58
8.4.2.	20 MW:n tapaus.....	61
8.4.3.	Vientikaapeli, tapaus 1	64
8.4.4.	Vientikaapeli, tapaus 2	67

8.5.	Arvioitu sedimentaatio	70
8.5.1.	15 MW:n tapaus.....	70
8.5.2.	20 MW:n tapaus..... ©Halla Offshore Wind Oy. Kaikki oikeudet pidätetään.	71
8.5.3.	Vientikaapeli, tapaus 1	72
8.5.4.	Vientikaapeli, tapaus 2	73
9.	Lähialueen hydrodynaaminen vaikutus (CFD)	75
9.1.	Mallin määrittäminen	75
9.1.1.	Painovoimaperustuksen malli	75
9.1.2.	Koeallas	75
9.1.3.	Rajat ja verkko	75
9.2.	Ratkaisin	75
9.3.	Tulokset	76
10.	Alueellinen hydrodynaaminen vaikutus (MIKE3 HD).....	77
10.1.	Mallin määrittäminen	77
10.2.	Virtaus.....	78
10.2.1.	Lähtötilanne.....	78
10.2.2.	15 MW:n tapauksen paine	80
10.2.3.	20 MW:n tapauksen paine	80
10.3.	Suolapitoisuus.....	80
10.3.1.	Lähtötilanne.....	81
10.3.2.	15 MW:n tapauksen paine	81
10.3.3.	20 MW:n tapauksen paine	81
10.4.	Lämpötila	83
10.4.1.	Lähtötilanne.....	83
10.4.2.	15 MW:n tapauksen paine	84
10.4.3.	20 MW:n tapauksen paine	84
10.5.	Kohoaminen	86
10.5.1.	Lähtötilanne.....	86
10.5.2.	15 MW:n tapauksen paine	87
10.5.3.	20 MW:n tapauksen paine	87
11.	Viittaukset.....	90

Liite

Appendix 1 : Grain sieve analyses

Appendix 2 Current field (SMHI)

Appendix 3 : Halla OWF, Temperature profiles (SMHI, modelled 4x4km)

Appendix 4 Halla OWF, Temperature profiles (SMHI, modelled 2x2km)

Appendix 5 Halla OWF, Salinity profiles (SMHI, modelled 4x4km)

Appendix 6 Halla OWF, Salinity profiles (SMHI, modelled 2x2km)
Appendix 7 Halla OWF, Current roses (SMHI, modelled 4x4km)
Appendix 8 Halla OWF, Current roses (SMHI, modelled 2x2km)
Appendix 9 Halla OWF, Simplified Particle Tracks
Appendix 10 Observations: Water levels
Appendix 11 Observations: Currents
Appendix 12 Observations: CTD-Measuring sites
Appendix 13 Observations: Surface temperature
Appendix 14 Model verification: Water levels
Appendix 15 Model verification: Currents
Appendix 16 Model verification: Salinity profiles of 2021
Appendix 17 Model verification: Salinity profiles in the project area
Appendix 18 Model verification: Timeseries of surface temperature
Appendix 19 Model verification: Temperature profiles of 2021
Appendix 20 Model verification: Temperature profiles in the project area
Appendix 21 Sediment dispersal: Concentration - 15 MW
Appendix 22 Sediment dispersal: Concentration time series - 15 MW
Appendix 23 Sediment dispersal: Mean daily max. – 15 MW
Appendix 24 Sediment dispersal: Concentration - 20 MW
Appendix 25 Sediment dispersal: Concentration time series - 20 MW
Appendix 26 Sediment dispersal: Mean daily max. – 20MW
Appendix 27 Sediment dispersal: Concentration – Export cable Case 1
Appendix 28 Sediment dispersal: Concentration time series – Case 1
Appendix 29 Sediment dispersal: Mean daily max. – Export cable Case 1
Appendix 30 Sediment dispersal: Concentration – Export cable Case 2
Appendix 31 Sediment dispersal: Concentration time series – Case 2
Appendix 32 Sediment dispersal: Mean daily max. – Export cable Case 2
Appendix 33 Sediment dispersal: Sedimentation - 15 MW
Appendix 34 Sediment dispersal: Sedimentation - 20 MW
Appendix 35 Sediment dispersal: Sedimentation – Case 1
Appendix 36 Sediment dispersal: Sedimentation – Case 2
Appendix 37 Hydrodynamic Impact: Current
Appendix 38 Hydrodynamic Impact: Salinity
Appendix 39 Hydrodynamic Impact: Temperature
Appendix 40 Hydrodynamic Impact: Temperature Profiles
Appendix 41 Hydrodynamic Impact: Upwelling

1. Johdanto

Hallan merituulivoimapuisto on nimittänyt NIRASin määrittelemään määrällisen vaikutuksen sedimentin leviämiseen rakentamisvaiheessa ja suolaveden leviämiseen käyttövaiheessa.

Tuulivoimapuiston rakentamisen aikana asennustoimet, kuten merenpohjan valmistelu ja kaapeleiden upottaminen, voivat sisältää ruoppausta perustuspaikalla ja kaapeleiden vesipainepuhallusta niiden upottamiseksi turvallisesti kalastustoimintaa, ankkureita ym. silmällä pitäen. Tämä saattaa vapauttaa sedimenttejä veteen, mistä seuraa liiallisia sedimenttipitoisuuksia ja sedimenttien laskeutuessa liiallisia sedimentaatiomääriä.

Lisäksi hankkeen käyttövaiheessa on tarkoitus tuottaa vetyä jokaisessa voimalaasemassa sähköntuotannon sijaan. Se vaatii puhdasta vettä ja jäähdytystä, mistä aiheutuu runsaasti suolapitoista vettä ja liian korkeita lämpötiloja.

Fyysiseen ympäristöön kohdistuvien vaikutusten osalta kumpaakin asiaa tutkitaan numeerisella mallinnuksella.

2. Työn laajuus

Sedimentin leviämisraportin tarkoituksena on esittää ruoppauksen, vesipainepuhalluksen jne. aiheuttaman sedimentin leviämisen mahdollinen vaikutus tuulivoimapuiston rakentamisen aikana ja vedyntuotannossa käyttövaiheessa liiallisen lämpötilan ja suolapitoisuuden aiheuttama vaikutus ympäröivän veden lämpötilaan ja suolapitoisuuteen.

3. Lyhenne

CFD	Laskennallinen virtaussimulointi
Virtauksen suunta	Menossa kohti
FOU	Perustus ja alusrakenne, alempi tukirakenne
GBS	Painovoimaperustus
IAC	Voimaloiden välinen kaapeli
JUV	Jack-up-alus
MP	Junttapaaluperustus
OSS	Merisähköasema
OWF	Merituulivoimapuisto
TP	Siirtymäkappale, alusrakenne
Aallon suunta	Tulossa paikasta
Tuulen suunta	Tulossa paikasta
WTG	Tuulivoimala

4. Yhteenveto

Tässä tutkimuksessa tutkittiin toisaalta sedimentin leviämistä rakentamisvaiheessa ja toisaalta vedyntuotannon vaikutuksia, jolloin vapautuu liian lämpöistä ja suolapitoista vettä. Lisäksi analysoitiin perustusten ja tuulivoimaloiden vaikutuksia (lisääntynyt virtauksen vastustuskyky ja tuulen väheneminen) virtauskuvioon, veden lämpötilaan ja suolapitoisuuteen käyttövaiheen aikana. Tätä tarkoitusta varten käytettiin kolmenlaisia numeerisia malleja:

- 1) 3D-hydrodynaaminen malli, jolla simuloidaan veden tasoa, virtauksia, suolapitoisuutta ja lämpötilaa.
- 2) CFD-malli, jolla saadaan tietoja vedyntuotannon aiheuttamasta jäteveden leviämisestä.
- 3) Sedimenttimalli, jolla simuloidaan rakentamisen aikana sekoittuneiden sedimenttien leviämistä ja laskeutumista.

Ennen mahdollisten vaikutusten arviointia hydrodynaaminen malli kalibroitiin käyttäen hankkeen aikana kerättyjä tietoja (virtaus, suolapitoisuus ja lämpötila) ja julkisesti saatavilla olevia veden pinta-, suolapitoisuus- ja lämpötilatietoja Ruotsista ja Suomesta.

Tuulivoimapuiston lopullinen voimalasijoittelu on vielä auki, ja mahdollisen vaihteluvälin kattamiseksi tutkitaan kahden vaihtoehdon vaikutusta:

- vaihtoehto, jossa 160 kappaletta 15 MW:n voimaloita on sijoitettu painovoimaan perustuviin alusrakenteisiin ja
- tapaus, jossa on 120 kappaletta 20 MW:n voimaloita niin ikään painovoimaan perustuvissa alusrakenteissa.

Sama koskee vientikaapelia, eli kolme potentiaalista käytävää, joissa kahdella niistä on kaksi potentiaalista meriläjäytysaluetta. Lisäksi kaapelit voidaan upottaa joko vesipainepuhalluksella tai alle 3 metrin syvyisissä vesissä yhdistämällä paalutus ja ruoppaus.

4.1. Lähtötilanne ja edustava vuosi

Perämeri, jolla Hallan merituulivoimapuisto sijaitsee, muodostaa Pohjanlahden pohjoisosan, jonka erottaa Itämerestä Ahvenanmeren salmi. Hydrografisille olosuhteille (SMHI:n 3D-mallin perusteella) on ominaista alhainen suolapitoisuus (1–3 PSU) ja vähäinen syvyysuuntainen suolapitoisuuden muutos (halokliini). Merenpinnan lämpötila vaihtelee talven 0–2 °C:sta heinä-elokuun yli 20 °C:seen. Lämpötila kerrostuu kesällä voimakkaasti muodostaen termokliinin (maksimilämpötilan muutosvyöhykkeen) 10–20 metrin syvyydessä.

Syys-lokakuussa vesi voi lämmetä 12–15 °C:seen noin 30 metriin saakka. Jääpeite leviää pohjoisesta etelään joulukuusta alkaen ja on laajimmillaan maaliskuussa, jolloin koko Suomen länsirannikko on jään peitossa.

Kesäkuusta alkaen koko Pohjanlahti on jälleen jäätön. Vuoroveden puuttumisen vuoksi vedenpinnan vaihtelut johtuvat enimmäkseen Ahvenanmaan rajan vaihteluista, tuuli- ja paine-eroista ja ovat ± 150 cm vuoden keskiarvosta.

SMHI:n Itämeren 3D-mallin tietojen perusteella tutkittiin vuotuisia vaihteluita, ja vuoden 2021 todettiin olevan lähellä keskimääräistä vuotta. Näin ollen sitä voidaan käyttää lähtökohtana mahdollisen vaikutuksen kuvauksessa. Yleisesti ottaen vuosittainen vaihtelu on pientä eikä todennäköisesti vaikuta johtopäätökseen.

4.2. Sedimentin leviäminen

Voimaloiden välisten kaapeleiden, tuulivoimaloiden ja merisähköasemien tukemiseen tarkoitettujen painovoimaan perustuvien perustusten asennuksen aiheuttaman sedimentin leviämisen tutkimiseksi tarkasteltiin seuraavia neljäntyyppisiä lähteitä:

- 1) Painovoimaan perustuvien perustuksien ja merisähköasemien ruoppaus ruoppauskapasiteetin ollessa 1000 m³/tunti ja 5 % vuodosta levinnyt juuri merenpohjan yli (vapautunut 2 metriä merenpohjan yläpuolelle). Karkea sedimenttifraktio laskeutuu Painovoimaperustus-rakenteen (Gravity Base Structure eli WTG ja OSS) viereen, ja hienorakeisempi kulkeutuu ympäröiviin vesiin.
- 2) 10 % kaikista ruopatuista sedimenteistä oletetaan valuvan yli proomusta ja vapautuvan pintaan sekä kulkeutuvan ympäröiviin vesiin.
- 3) 30 % vuotaa, kun proomu sijoittaa sedimentin pinnan alle läjitysalueella.
- 4) Yhdyskaapelin upottaminen vesipainepuhalluksella 1,5 x 2 metrin kaivantoon, jossa kaikkien hienorakeisten sedimenttien oletetaan suspendoituvan ja vapautuvan 2 metriä merenpohjan yläpuolelle.

Yhteensä 900 000 m³ sedimenttiä vapautuu merenpohjaan ja noin 2 300 000 m³ lähelle pintaa. Vaikka 20 MW:n tapauksessa on 40 tuulivoimalaa vähemmän kuin 15 MW:n tapauksessa, kaivetut ja vapautuneet määrät ovat samaa suuruusluokkaa, kun pienempi määrä kompensoituu tuulivoimaloiden suuremmilla halkaisijoilla.

Vientikaapeleiden osalta sedimentin leviämistä on tutkittu useista vaihtoehdoista:

- Tapaus 1: Kaikki kaapeliosuudet upotettu vesipainepuhalluksella 1,5 x 2 metrin kaivantoon, jossa kaikkien hienorakeisten sedimenttien oletetaan suspendoituvan ja vapautuvan 2 metriä merenpohjan yläpuolelle.
- Tapaus 2: Kaikki kaapeliosuudet yli 15 metriä syvässä vedessä upotettu vesipainepuhalluksella ja alle 15 metriä syvässä vedessä kaivettu sijoittaen materiaali ennalta määritellyille läjitysalueille. Jälkimmäisessä tapauksessa oletetaan, että ruopattu vuoto on 5 % pohjassa, 10 % ylivuoto proomusta ja mereen kaadon osalta 10 % pinnalla ja 20 % pohjassa.

Sedimenttipitoisuudet:

Tuulivoimapuisto: Tulokset osoittavat sedimenttien kulkeutumisen jopa muutaman kilometrin päähän kohteesta. Pitoisuudet ovat yleensä korkeimpia läjitysalueen yläpuolella, jonne kaikki ruopattu sedimentti lasketaan. Koska kaksi tutkittua tapausta ovat määrältään samanlaisia, prosessit ovat helposti vertailukelpoisia.

Vientikaapeli: Vientikaapelin upottamisen osalta pitoisuudet nousevat pian lähelle merenpohjan tasoja, jopa 1000 mg/l. Pitoisuuksia 100 mg/l esiintyy vain pienillä alueilla, ja niiden kesto on alle yhden vuorokauden. Eri pääkäytävän ja meriläjitysalueiden välillä ei ole merkittävää eroa. Jos kaapeleita ruopataan, yli 10 mg/l pitoisuuksien laajuus kasvaa hieman, ja alueilla, joilla on läjitysalueita, pitoisuudet ovat huomattavasti korkeammat.

Sedimentaatio:

Tuulivoimapuisto: Sedimentaatio saavuttaa paikallisesti yli 0,1 metrin laskeumakorkeuden ja vähintään 1 mm:n sedimentaatio ulottuu yli 20 000 hehtaarin alueelle, vaikka se rajoittuukin läjitysalueen läheisyyteen (4 km etelään ja itään) ja tuulivoimapuiston sisällä voimaloiden välisten kaapeleiden varrella sijaitseviin alueisiin. Koska kaksi tutkittua tapausta ovat määrältään samanlaisia, prosessit ovat helposti vertailukelpoisia.

Vientikaapeli: Yli 1 mm:n sedimentaatio tapahtuu +/-400 metrin etäisyydellä, ja kun kaapeli vesipainepuhalletaan, etäisyys kasvaa +/-500 metriin.

4.3. Hydrodynaaminen vaikutus

Tuulivoimapuiston vaikutusten analysoimiseksi hydrodynamiikkaan kohdistuva paine (kierto ja kerrostumismallit) mallinnettiin lisäämällä perustukset, vedyntuotannon suolaveden ja lämpimän veden poistot sekä tuulikentän vähennys lähtötilanteen malliin (kalibroitu HD-malli ilman tuulivoimapuistoa).

Virtaus: Tuulivoimapuisto hidastaa keskimääräistä vuotuista virtausnopeutta tuulivoimapuistoalueen pinnalla noin 80 km pohjoiseen ja 30 km etelään noin 0,002–0,008 m/s. Samalla kiihtyvyys näkyy tuulivoimapuiston länsi- ja itäpuolella samassa järjestyksessä kuin hidastus, mutta pienemmässä määrin. Havaitut muutokset vähenevät veden syvyyden myötä, mutta näkyvät edelleen 40 metriin asti. Näiden kahden tapauksen vertailu osoittaa, että 15 MW:n tapauksen vaikutus on hieman suurempi, mikä johtuu todennäköisesti voimaloiden suuremmasta määrästä ja siten perustusten suuremmasta poikkipinta-alasta.

Suolapitoisuus: Tuulivoimapuiston toiminnan aiheuttama vuotuisen keskimääräisen suolapitoisuuden muutos Pohjanmerellä (tuulivoimapuiston läheisyydessä) on alle +/-0,1 PSU, mikä vastaa noin yhtä prosenttia luonnollisesta suolapitoisuudesta ja on merkityksetön luonnolliseen vaihteluun verrattuna. Näitä kahta tapausta verrattaessa ei voida havaita merkittävää eroa.

Lämpötila: Suunnitellun tuulivoimapuiston vaikutus on alle -0,5...+0,5 °C vuoden keskilämpötilaan nähden veden syvyydestä riippumatta. Suurin vaikutus havaitaan kesällä, jolloin lämpenemistä tapahtuu ylempänä jopa 1 °C ja viilenemistä saman verran muissa osissa. Esimerkiksi elokuussa pintalämpötila nousee tuulivoimapuiston pohjoispuolella, -5...-30:n alueilla lounaassa ja koillisessa viilenee, ja lämpeneminen näkyy tuulivoimapuiston luoteis- ja kaakkoispuolella. Kausi- ja vuosivaihteluihin verrattuna vaikutus näyttää olevan melko pieni. Näitä kahta tapausta verrattaessa eroja ei juurikaan voitu havaita. Tämä johtuu perustuksen aiheuttamasta sekoittumisesta ja tuulen vähenemisestä. Vedyntuotannon aiheuttaman jäteveden vaikutus rajoittuu alle 10 metrin päähän ulostulosta.

Kohoaminen: Tuulivoimapuistojen selviä vaikutuksia pystyvirtauksiin ei ole havaittavissa. Lisääntynyttä kohoamista ja laskeutumista esiintyy hyvin vähän. Erot ovat enintään $1,2 \cdot 10^{-5}$ m/s ja rajoittuvat pääasiassa 40 kilometrin säteelle tuulivoimapuiston ympärillä.

5. Menetelmä

Hydrodynamiikkaan kohdistuvan paineen ja sedimentin leviämisen arvioimiseksi käytetään kolmenlaisia numeerisia malleja:

- 1) Hydrodynaaminen 3D-malli, jolla simuloidaan jäteveden leviämisen, perustusten ja tuulivoimaloiden vaikutusta vedenkorkeuteen, virtauksiin, suolapitoisuuteen ja lämpötilaan.
- 2) CFD-malli, jolla simuloidaan vedyntuotannon aiheuttaman liian lämpimän ja suolapitoisen jäteveden paikallista leviämistä.
- 3) Sedimenttimalli, jolla simuloidaan asennuksen vuoksi levinneiden sedimenttien leviämistä ja kerrostumista.

Ennen mahdollisten vaikutusten arviointia perusmalli, hydrodynaaminen malli, kalibroidaan hankkeen keräämien tietojen (virtaus, suolapitoisuus ja lämpötila) sekä Ruotsin ja Suomen julkisesti saatavilla olevien vedenkorkeus-, suolapitoisuus- ja lämpötilatietojen perusteella.

Kymmenen vuoden tietojen perusteella kuvataan lähtötilanne ja määritetään edustava ajanjakso rakentamis- ja käyttövaiheen syöttötiedoille.

Lähtötilanteen ja tuulivoimapuiston aiheuttaman paineen simulointiin käytetyt numeeriset mallit on kuvattu lyhyesti alla. Lisätietoja on sivustossa <https://www.mikepoweredbydhi.com/products>
<https://www.mikepoweredbydhi.com/products>.

Mallialueen batymetriset tiedot on poimittu EMODnet 2022 Bathymetry Database -tietokannasta (EMODnet, Bathymetry, 2023), joka perustuu mallinnettuun dataan muun muassa Itämeren ympäristöstä ja esitetään ruudukkona, jonka resoluutio on noin 50 x 120 metriä. Itämeren rajalla sovelletaan vapaasti saatavilla olevia vedenkorkeuden rajatietoja (Copernicus, Baltic Sea Physics Analysis and Forecast, 2x2km, 2022) yhdistettynä tuulikenttiin ja ilmanpaineeseen mallialueen pinnalla. Tuulitietojen lähde on ECMWF, ERA5 (ECMWF, 2022).

Laaditaan neljä mallia:

- 1) Pohjanlahden yleinen MIKE 3 HD -malli (alueellinen malli), jota käytetään kalibrointiin.
- 2) Yksityiskohtainen MIKE 3 HD -malli, joka kattaa saman laajuuden kuin alueellinen malli, mutta jolla on korkeampi spatiaalinen (pystysuuntainen ja vaakasuuntainen) resoluutio tuulivoimapuistoalueen läheisyydessä hydrodynaamisen paineen tutkimiseksi.
- 3) CFD-malli yksityiskohtaiseen kuvaukseen vedyntuotannon jäähdytysvedestä ja vedestä, jonka suolapitoisuus on korkea.
- 4) Sedimentin leviämisen mallintamista varten yksityiskohtainen MIKE 21/3 PT -malli, joka kattaa saman laajuuden kuin alueellinen malli, mutta jolla on korkeampi spatiaalinen (pysty- ja vaakasuuntainen) resoluutio tuulivoimapuistoalueen läheisyydessä ja vientikaapeleiden varrella.

5.1.1. Hydrodynaaminen malli

MIKE 3 HD FM (Hydrodynamics) on hydrodynaaminen malli, jossa on joustava verkko. Perustuen vuorovesi-, virtaus-, suolapitoisuus- ja lämpötilasyötteisiin avoimilla rajoilla yhdessä merenpinnan meteorologisten olosuhteiden kanssa malli simuloi vuorovettä, virtauksen nopeutta ja suuntaa, lämpötilaa ja suolapitoisuutta koko mallialueella vesipatsaassa. Joustavan verkon etuna on mahdollisuus käyttää erikokoisia verkkoja koko alueella. Siksi tarkennusalueella voi olla korkea resoluutio ja kauempana olevilla alueilla matalampi resoluutio. Tämä tekee mallista nopeamman ja vaikuttaa vain vähän simulointituloksiin.

5.1.2. CFD-malli

Jäähdytyksen ja puhtaan veden tuotannosta syntyvä jätevesi on melko pieni paikallisen ympäristön liian korkeaan lämpötilaan ja suolapitoisuuteen vaikuttava lähde. Tämän tutkimiseksi yksityiskohtaisesti painovoimaperustuksen ja ympäröivien vesien CFD-malli on laadittu ympäristön vähäiselle virtaukselle käyttämällä ilmaista OpenFOAM-CFD-mallia, jossa käytetään monikomponenttista ratkaisinta tiheys- ja lämpötilaerojen käsittelemiseen.

5.1.3. Sedimenttimalli

MIKE 21/3 PT (Particle Tracking) on ns. Lagrangin malli, joka ajan mittaan ottaa huomioon sekä hiukkasten sijainnin että ominaisuudet mm. seuraamalla hiukkasten sijaintia sekä x-, y- että z-suunnassa keskimääräisen virtauskentän mukaan. Tämä on päinvastainen kuin Eulerin malli, joka tekee sen solukohtaisesti, jossa esimerkiksi pitoisuus on kunkin solun tilavuuden keskiarvo. Tämän tyyppinen malli on erittäin herkkä mallin resoluutiolle sekä vaaka- että pystysuunnassa, kun taas Lagrangin lähestymistapa on riippumaton solujen koosta.

MIKE 21/3 PT:n valinta sedimentin leviämisen mallintamiseen johtuu ruoppauksesta, porauksesta, kyntämisestä ja vesipainepuhalluksesta syntyvien pilyymien luonteesta. Pilyymit ovat aluksi kapeita ja esiintyvät vesipatsaiden eri syvyyksissä. Tätä on vaikea kuvata perinteisessä mallissa, esimerkiksi MIKE 21 MT -verkossa, säilyttäen kohtuullisen laskenta-ajan.

Vuotojen määrän ja keston arvioimiseksi on tärkeää ymmärtää rakennustoimia. Suoritetaanko ne samanaikaisesti vai itsenäisesti lyhyin väliajoin toisistaan? Tämä vaikuttaa mallinnustutkimukseen, sillä ensimmäisessä skenaariossa suurempi määrä sedimenttejä vuotaa lyhyemmässä ajassa ja jälkimmäisessä skenaariossa vuotoja tapahtuu pienempiä määriä, mutta toistuvasti tietyin väliajoin.

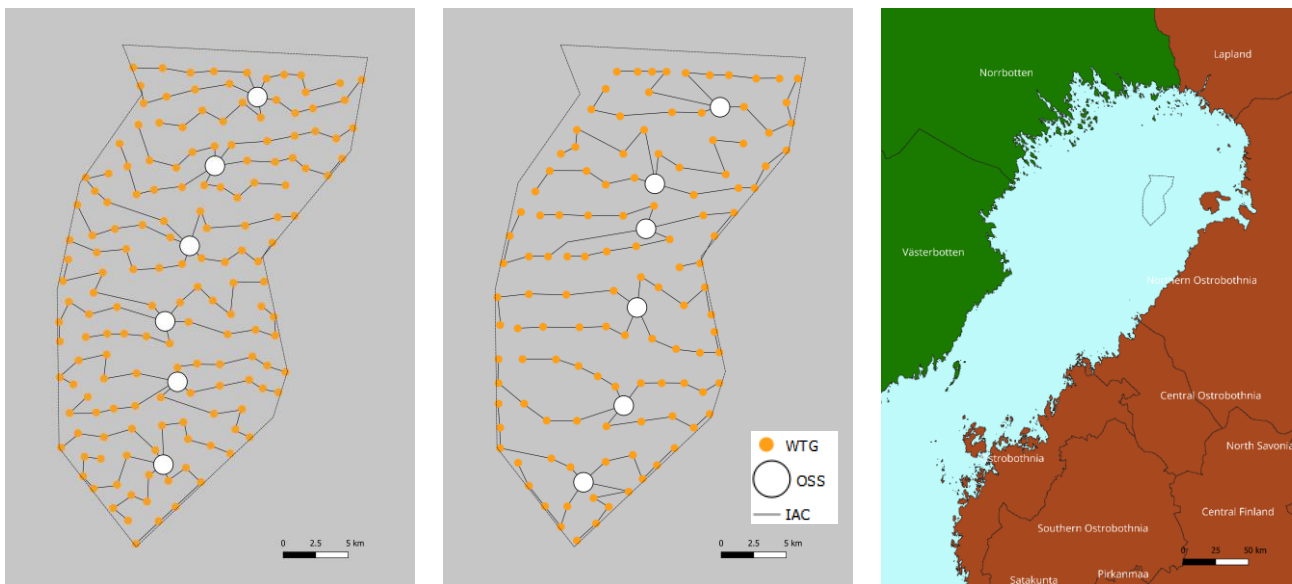
6. Taustatiedot

Tässä luvussa esitellään numeerisessa mallinnuksessa käytetyt taustatiedot sekä kuvaus tuulivoimapuiston merenpohjan geologiasta, meriolosuhteista ja hydraulisista olosuhteista. Tämä sisältää hankkeen tekniset tiedot, metocean-tiedot, sattumanvaraiset näytteet ja batymetriset tiedot.

6.1. Halla, hankkeen kuvaus

6.1.1. Tuulivoimapuiston sijoittelu

Hallan merituulivoimapuiston sijoittelu on esitetty kohdassa Kuva 6.1. Pinta-ala on 575 km², voimaloiden kokonaismäärä 15 MW:n tapauksessa on 160 ja 20 MW:n tapauksessa 120, merisähköasemia on 6 ja voimaloiden välisiä kaapeleita 314/270 km.

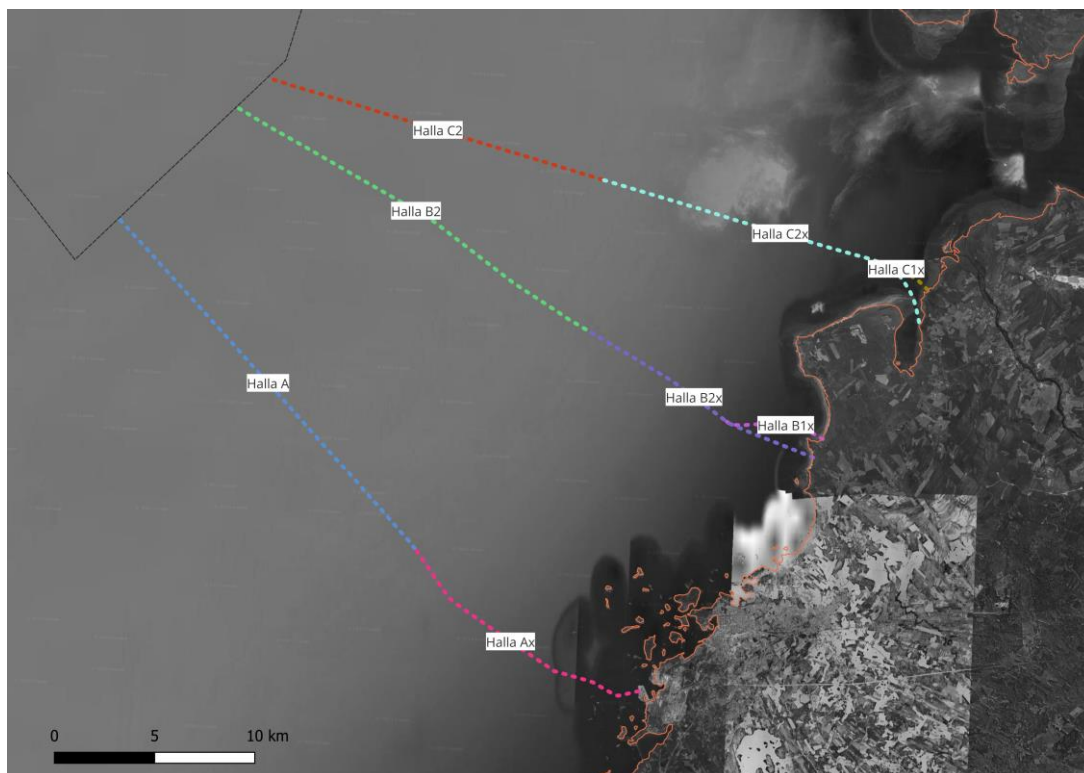


Kuva 6.1: Halla, tuulivoimapuiston sijoittelu. Vasemmalla: 15 MW:n voimalat, keskellä: 20 MW:n voimalat ja oikealla: Yleiskatsaus (ruskea: Suomi, vihreä: Ruotsi).

Vientikaapeleille ovat avoinna seuraavat vaihtoehdot:

- Kaapeli A ja yksi meriläjitysalue (Ax).
- Kaapeli B ja kaksi mahdollista meriläjitysaluetta (B1x ja B2x).
- Kaapeli C ja kaksi mahdollista meriläjitysaluetta (C1x ja C2x).

Kuten kuvassa (Kuva 6.2).



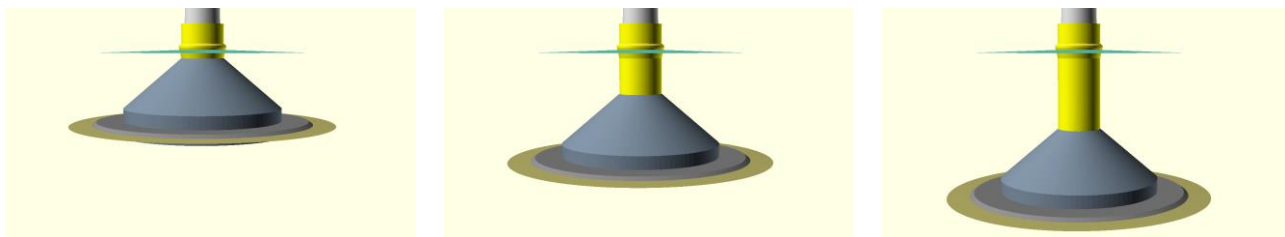
Kuva 6.2: Hallan merituulivoimapuisto, vientikaapelivaihtoehdot.

6.1.2. Mitat

Kohdassa Taulukko 6-1 on lueteltu hydrodynaamisessa mallinnuksessa käytettävien tuulivoimaloiden ja tukirakenteiden mitat sekä 15 MW:n että 20 MW:n tapauksessa. Oletetaan, että alusrakenteen alaosa (pohjalaatta ja kartio) on riippumaton veden syvyydestä, joten vain akselin pituus muuttuu paikasta toiseen kuvassa (Kuva 6.3) esitetyllä tavalla.

Taulukko 6-1: Voimaloiden ja alusrakenteiden mitat.

C		Yksikkö	Tapaus	
			15 MW	20 MW
WTG	Roottorin halkaisija	m	236	276
	Navan korkeus	m	150	170
	Akseli, halkaisija	m	10	12
			45	52
			10	12
	Pohja, kartion korkeus	m	12	12
	Pohja, laatan korkeus	m	5	5
GBS, OSS	Akseli, halkaisija	m	10	10
	Pohjan halkaisija, alaosa	m	45	45
	Pohjan halkaisija, yläosa	m	10	10
	Pohja, kartion korkeus	M	12	12
	Pohja, laatan korkeus	M	5	5



Kuva 6.3: Luonnos hydrodynaamisen mallinnuksen syötteenä käytetystä voimalan painovoimaperustuksesta 20, 30 ja 40 metrin syvyydessä.

6.1.3. Sedimenttilähteet – rakentamisvaihe

Hänkealueen tarkastelutapaukset ovat edellisessä luvussa kuvatut ja taulukossa (Taulukko 6-2) luetellut tapaukset perustuen painovoimaperustuksen käyttöön, joka edellyttää merenpohjan tasoittamista/kaivamista ennen asennusta. Perustusten väliset kaapelit asetetaan ensin merenpohjaan ja vesipainepuhallustaankahteen metriin.

Vientikaapeleiden osalta tarkastellaan myös kahta tapausta: toisessa kaapelit vesipainepuhalluksesta ja toisessa syvässä vedessä olevat kaapelit paalutetaan ja matalassa vedessä olevat kaivetaan. Lisäksi tutkitaan useita mahdollisia vaihtoehtoja, jotka kattavat kolme pääkäytävää (A, B2 ja C2), joista sekä B2:lla että C2:lla on kaksi mahdollista meriläjitäysaluetta. Lopullisessa hankkeessa käytetään vain yhtä reiteistä. Lisätietoja on kohdassa Taulukko 6-3.

Näistä toiminnoista aiheutuvien sedimenttivuotojen oletetaan olevan:

Tuulivoimapuisto

- Tasoitus/kaivaminen 5 % (varovainen arvio; 3,5 % (DHI/IOW Consortium, 2013) Femern Belt Link - hankkeessa) 2 metriä merenpohjan yläpuolelle vapautuneesta lietteestä.
- Ylivuoto proomusta, josta valuu vielä 10 % (L.C. van Rijn, 2019) pinnan lietteestä.
- Ruopatun sedimentin upottaminen ennalta määritellyille läjitäysalueille siten, että 10 % hienojakoisesta sedimentistä suspendoituu 2 metriä pinnan alapuolelle ja 20 % 2 metriä merenpohjan yläpuolelle, jotta voidaan ottaa huomioon tiheän virtauksen vaikutus (arvioinnin peruste (L.C. van Rijn, 2019)).

Kauhalla ruopattaessa osa ruoppausaineksesta on ehjää merenpohjaa. Ehjät merenpohjakerrokset todennäköisesti kasaantuvat yhteen muuttaen materiaalin fysikaalisia ominaisuuksia. Ehjän merenpohjan kokkareet putoavat vesipatsaan läpi ja asettuvat merenpohjaan eivätkä juurikaan kulkeudu muualle tai leviä pitkin merenpohjaa. Siinä tapauksessa edellä mainittu oletus todennäköisesti yliarvioi sedimenttivuodon.

- Vesipainepuhallusleijutti sedimentin kaivannossa, minkä oletetaan suspendoivan 100 % lietteestä 2 metriä merenpohjan yläpuolella.

Vientikaapeli

- Vientikaapelin upotus:

- Tapaus 1: Vesipainepuhallussekä syvässä että matalassa vedessä lietteen 100 %:n valumalla 2 metriä merenpohjan yläpuolelle tai
- Tapaus 2: Vesipainepuhallussyvässä vedessä, jossa 100 % lietteestä valuu 2 metriä merenpohjan yläpuolelle, ja ruoppaus matalassa vedessä, jossa 5 % lietteestä valuu 2 metriä merenpohjan yläpuolelle, 10 % lietteestä 2 metriä pinnan alapuolelle ja ruopattu aines valuu määritellyille läjitysalueille, jolloin 10 % lietteestä valuu 2 metriä pinnan alapuolelle ja 20 % 2 metriä merenpohjan yläpuolelle.

Liete määritellään sedimentiksi, jonka raekoko on alle 0,25 mm, eli hieno hiekka, siltti ja savi. Karkeamman sedimentin oletetaan Vesipainepuhalluksenvuoksi laskeutuvan kaivantoon, eikä sitä vapaudu ruoppauksen, ylivuodon tai kaadon vuoksi.

Taulukko 6-2: Tapaus 15 MW & 20 MW – sedimenttilähteet, vuotoprosentti ja bruttovuoto. Taulukossa erotellaan vuodot turbiinien välisten kaapeleiden, merisähköasemien sekä perustusten osalta.

Case	-	15MW GBS	20MW GBS
Capacity	MW/Unit	15	20
Hub height	m	150	170
Rotor diameter	m	236	276
Nos	#	160	120
Capacity, total	MW	2400	2400
Substructure	-	GBS	GBS
Bottom diameter, base	m	45	52
Dredging depth	m	8	8
Spill percentage, bottom	%	5%	5%
Spill percentage, barge overrun	%	10%	10%
Vol. to be removed	m ³ /pos.	12,723	16,990
Total dredged vol.	m ³	2,035,752	2,038,768
Spill, gross foundation	m ³	305,363	305,815
Length infield cable	m	313,598	269,742
Trench 1.5x2m, Dispersed	m ³	940,793	809,225
Spill percentage, bottom	%	100%	100%
Spill gross	m ³	940,793	809,225
Spill, gross infield cable	m ³	940,793	809,225
OSS	#	6	6
Bottom diameter, base	m	45	45
Dredging depth	m	8	8
Spill percentage, bottom	%	5%	5%
Spill percentage, barge overrun	%	10%	10%
Vol. to be removed	m ³ /pos.	76,341	76,341
Total dredged vol.	m ³	458,044	458,044
Spill, gross OSS	m ³	68,707	68,707
Dumping, GBS+OSS	m ³	2119727	2122290
Spill, percentage, 2 m below surface	%	10%	10%
Spill, percentage, 2 m above seabed	%	20%	20%
Dumped amount	m ³	1,483,809	1,485,603
Spill gross	m ³	635,918	636,687
Spill, gross	m ³	1,950,781	1,820,434

Taulukko 6-3: Kahden tapauksen vientikaapeleiden pituudet, tilavuudet ja vuotoprosentit mukaan lukien vaihtoehdot. Tapaus 1: Vesipainepuhallus, tapaus 2: Vesipainepuhallussyvässä vedessä ja kaivaminen matalassa vedessä.

	Case		Jetting				Jetting in deep water and dredging in shallow water			
	Activity	-	Export Cable Jetting	Export Cable Jetting	Export Cable Jetting	Export Cable Jetting	Export Cable Jetting/ Dredging	Export Cable Jetting/ Dredging	Export Cable Jetting/ Dredging	Export Cable Jetting/ Dredging
	Total length	m	35962	38787	39522		35962	38787	39522	
Deep water	Deep ↓	-	A	B2	C2		A	B2	C2	
	Length	m	22080	20685	17483		22080	20685	17483	
	Nos	#	10	5	5		10	5	5	
	Jetting/Dredging amount	m3/m	0.5	0.5	0.5		0.5	0.5	0.5	
	Spill percentage, bottom	%	100%	100%	100%		100%	100%	100%	
	Spill percentage, barge overrun	%	0%	0%	0%		0%	0%	0%	
	Vol. to be removed	m³	110400	51713	43708		110400	51713	43708	
	Spill, gross	m³	110,400	51,713	43,708		110,400	51,713	43,708	
Shallow water	Shallow (< 15 m) ↓	-	Ax	B2x	C2x		Ax	B2x	C2x	
	Length	m	13882	13109	18217		13882	13109	18217	
	Nos	#	10	5	5		10	5	5	
	Jetting/Dredging amount	m3/m	0.5	0.5	0.5		10	10	10	
	Spill percentage, bottom	%	100%	100%	100%		5%	5%	5%	
	Spill percentage, barge overrun	%	0%	0%	0%		10%	10%	10%	
	Vol. to be removed	m³	69410	32773	45543		1388200	655450	910850	
	Spill, gross	m³	69,410	32,773	45,543		208,230	98,318	136,628	
		-		B1x	C1x			B1x	C1x	
	Length	m		4993	3822			4993	3822	
	Nos	#		5	5			5	5	
	Jetting/Dredging amount	m3/m		0.5	0.5			10	10	
	Spill percentage, bottom	%		100%	100%			5%	5%	
	Spill percentage, barge overrun	%		0%	0%			10%	10%	
	Vol. to be removed	m³		12483	9555			249650	191100	
Spill, gross	m³		12,483	9,555			37,448	28,665		
	Spill, gross	m³	179,810	96,968	98,805	375,583	318,630	187,478	209,000	715,108
Dumping	Dumping	m³	0	0	0		1179970	655450	910850	
	Dumping, spill surface, 10%	m³	0	0	0		117997	65545	91085	
	Dumping, spill bottom, 20%	m³	0	0	0		235994	131090	182170	
Dumping	Dumping	m³	0	0	0		0	249650	191100	
	Dumping, spill surface, 10%	m³	0	0	0		0	24965	19110	
	Dumping, spill bottom, 20%	m³	0	0	0		0	49930	38220	
	Dumping spill, gross	m³	0	0	0	0	353,991	196,635	273,255	823,881

6.1.4. Vedyntuotanto, jätevesi – käyttövaihe

Joko 15 MW:n tai 20 MW:n tuulivoimaloiden jokaisessa sijainnissa on tarkoitus tuottaa vetyä, joka vaatii puhdistettua vettä ja vettä laitteiden jäähdyttämiseen taulukossa (Taulukko 6-4) esitetyn mukaisesti. Oletettu taustasuolapitoisuus on noin 2,5 PSU, jolloin päästö on 5 PSU.

Taulukko 6-4 Vedyntuotanto, sisäänmenot ja ulostulot voimalaa kohti.

Tapaus	Parametri	Yksikkö	Sisäänmeno	Ulostulo
15 MW:n voimala	Vesi	[m ³ /s]	0,004	0,002
	Suolapitoisuus	[PSU]	tausta	5
	Lämpötila	[°C]	tausta	ylimäärä 15
20 MW:n voimala	Vesi	[m ³ /s]	0,006	0,003
	Suolapitoisuus	[PSU]	tausta	5
	Lämpötila	[°C]	tausta	ylimäärä 15

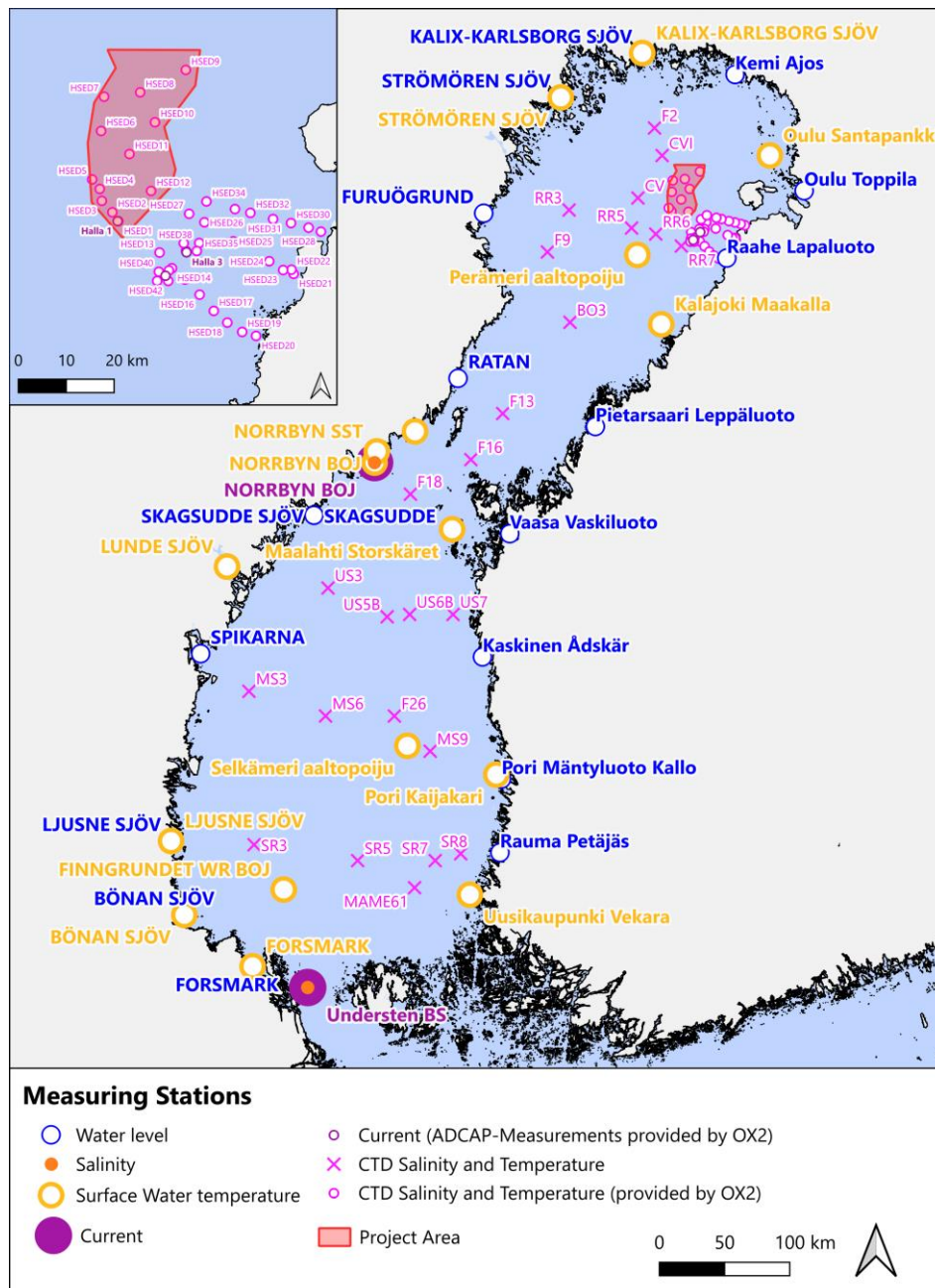
Sekä imu- että poistoaukon oletetaan sijaitsevan noin 10 metriä pinnan alapuolella.

6.2. Batymetriset tiedot

Mallin vedensyvytydet perustuvat projektitietoihin ja EMODnet 2022:n merenpinnan keskimääräisiin batymetriin tietoihin, (EMODnet, Bathymetry, 2023) ja ne on esitetty kuvassa (Kuva 7.1) (yhdessä verkon kanssa).

6.3. Havainnot

Havaintotietoja käytetään mallin kalibrointiin. Kuvassa (Kuva 6.4) esitetään yleiskatsaus yksittäisten parametrien mittauspisteiden sijainneista.

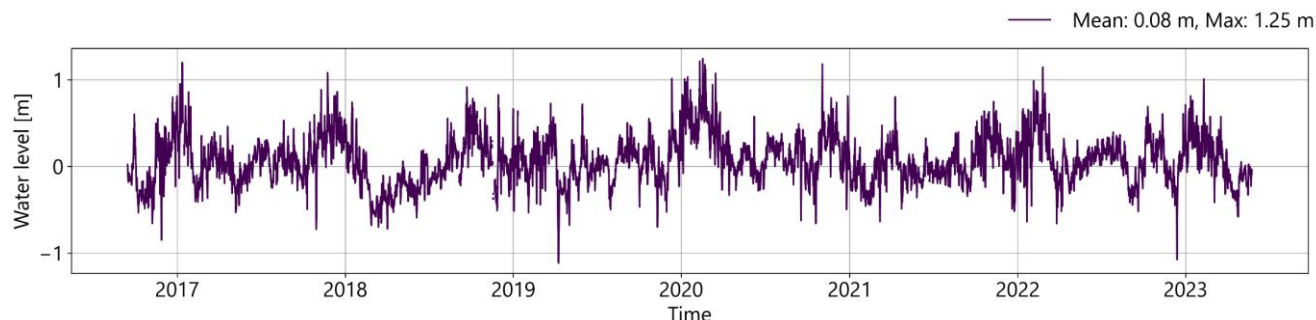


Kuva 6.4: Hydrodynaamisen mallin kalibrointiin ja validointiin käytettävien vedenkorkeuden, virtauksen, veden lämpötilan ja suolapitoisuuden seuranta-asemien sijainti.

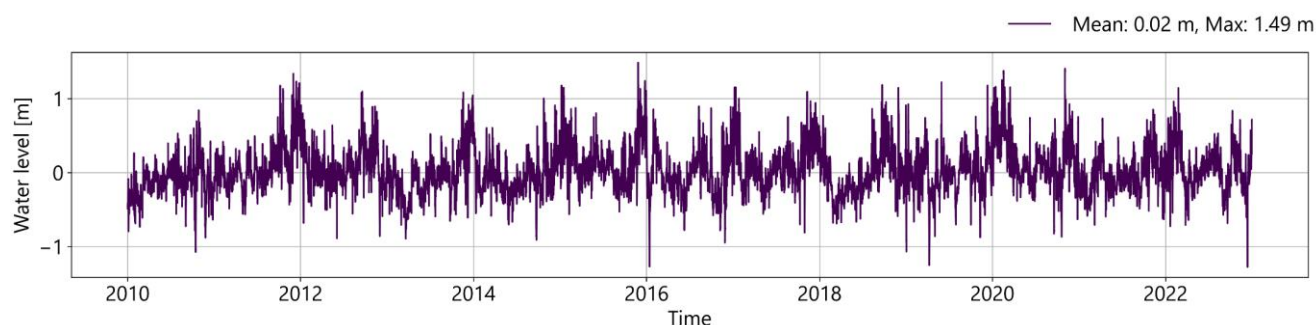
6.3.1. Vedenkorkeudet

SMHI:n (Ruotsi) ja Ilmatieteen laitoksen (Suom) asemilta on saatu vedenkorkeustiedot tuntiresoluutiolla käytettävissä olevalta ajanjaksolta (ks. taulukko liitteessä Appendix 10). Vedenkorkeusasemien sijainnit näkyvät kuvassa (Kuva 6.4). Käytettävissä olevien asemien suuren määrän vuoksi vedenkorkeuden vaihteluita tarkastellaan kolmella hankkeen välittömässä läheisyydessä sijaitsevalla asemalla (Kuva 6.4). Näiden asemien

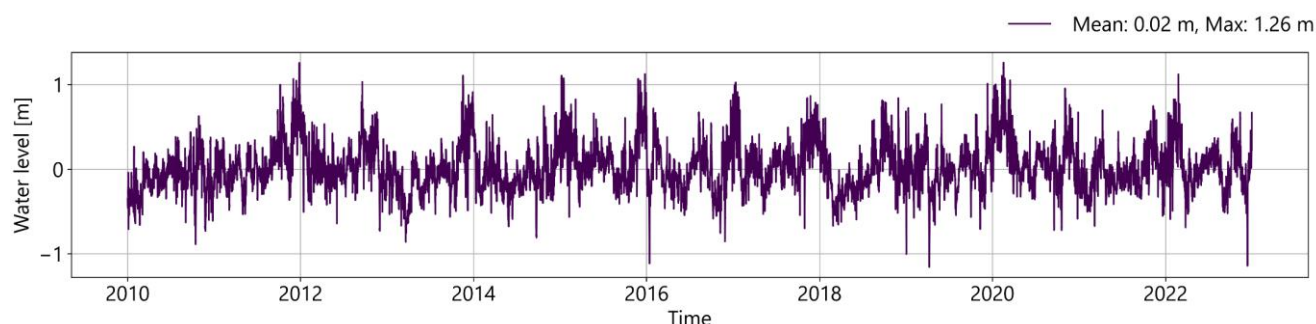
vedenkorkeudet näkyvät kuvissa (Kuva 6.7–Kuva 6.5). Suurin vaihtelu on $\pm 1,50$ metriä keskiarvon ollessa noin 0 m. Hallitsevaa vuorovesikuviota ei ole havaittavissa.



Kuva 6.5: Mitattu vedenkorkeus STRÖMÖREN SJÖVissä (SMHI:n asema)



Kuva 6.6: Mitattu vedenkorkeus Kemi Ajoksessa (Ilmatieteen laitoksen asema)



Kuva 6.7: Mitattu vedenkorkeus Raahen Lapaluodossa (Ilmatieteen laitoksen asema)

6.3.2. Virtaukset

Virtausten nopeudet ja suunnat tuntiresoluutiolla on saatu seuraavilta SMHI:n asemilta (Taulukko 6-5)

- NORRBYN BOJ 1 ja 41 metrin syvyydessä vuosina 2016–2021 (Kuva 6.8 ja Kuva 6.9) ja
- Understen BS (lat: 60.2715, long: 18.9302) 217–219 metrin syvyydessä vuonna 2021 (Kuva 6.10 ja Kuva 6.11).

Lisäksi OX2 on toimittanut tiedot kolmesta ADCP-kampanjasta (Taulukko 6-5), jotka on kirjattu hankealueen välittömässä läheisyydessä syys-marraskuussa 2022 (15 minuutin välein) (ks. Kuva 6.12, Kuva 6.13, Appendix 11).

Taulukko 6-5: Tässä tutkimuksessa käytetyt virtauksenmittausasemat.

Nimi	ID	Leveysaste	Pituusaste	Lähde
NORRBYN BOJ	33021	63,4990	19,8044	SMHI

Nimi	ID	Leveysaste	Pituusaste	Lähde
Understen BS	33038	60,2715	19,9302	SMHI
Halla 1		64,8684	23,7600	OX2
Halla 2		64,7673	23,9677	OX2
Halla 3		64,8108	24,0592	OX2

Seuraavassa esitetään lyhyesti mittauksista johdetut ominaisuudet. Julkisesti saatavilla olevia tietoja ja osana hanketta tallennettuja tietoja käsitellään erikseen.

6.3.2.1. Julkisesti saatavilla olevat tiedot

Nopeus: Understen BS -mittausasemalla mitatut nopeudet, joiden keskiarvo on noin 20 cm/s, ovat huomattavasti suurempia kuin NORRBYNissä ja Hallan merituulivoimapuistossa mitatut nopeudet (Kuva 6.4), joiden keskiarvo on < 10 cm/s. Tämä johtuu mittausasemien sijainnista. Understen BS sijaitsee Ahvenanmeren kapeilla alueilla vähintään 13 kilometrin päässä rannikosta, kun taas NORRBYN BOJ sijaitsee pohjoisempana, laajemmalla alueella noin 3 kilometrin päässä rannikosta.

Suunta: Understen BS -mittausasemalla voidaan tunnistaa hallitseva virtaus pohjois-koillissuunnassa. Sitä vastoin NORRBYN BOJ -asemalla virtaussuunta on jakautunut tasaisesti, hieman itään päin, ja virtaus lisääntyy syvyyden myötä.

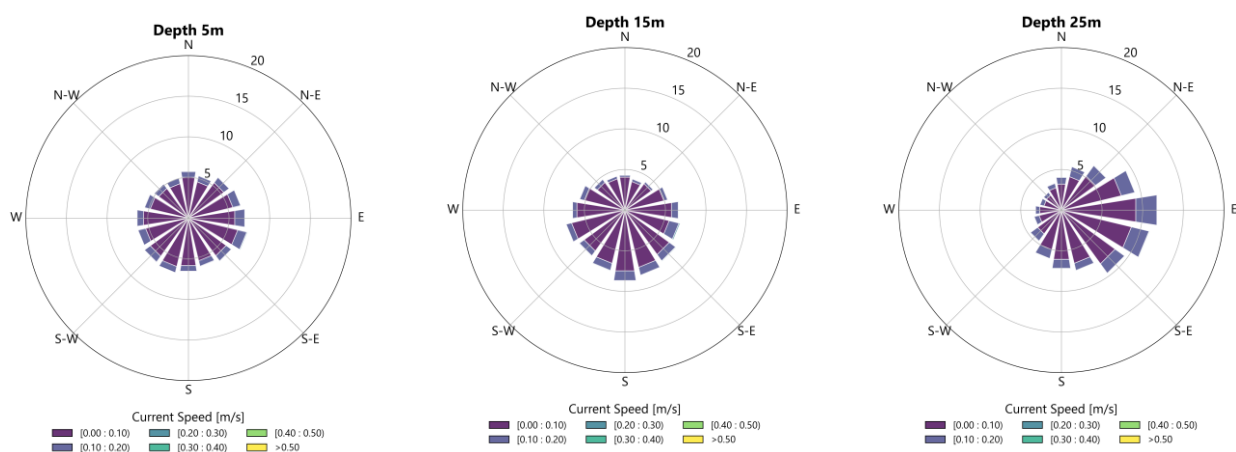
6.3.2.2. Vuoden ADCAP-mittaukset

Nopeus: Hankealueella mitatuissa virtausnopeuksissa (Kuva 6.12) ilmenee selvää riippuvuutta veden syvyydestä. Syvemmissä kerroksissa (syvemmällä kuin 15 m) keskiarvo on 6–7 cm/s. Sitä vastoin ylemmissä kerroksissa mitattiin huomattavasti suurempia virtausnopeuksia (keskiarvo 3 metrissä 54 cm/s). Syvemmissä vesikerroksissa mitattujen virtausnopeuksien suuruusluokka sopii hyvin muihin julkisesti saatavilla oleviin mittauksiin (esim. NORRBYN BOJ, Kuva 6.8). Huomattavasti suuremmat virtausnopeudet mitattuna ylimmässä 3 metrissä eivät kuitenkaan vastaa odotuksia. Esimerkiksi Ilmatieteen laitoksen (<https://en.ilmatieteenlaitos.fi/seacurrents>) mukaan Pohjanlahden keskimääräinen pintanopeus on 5–10 cm/s, ja suurempia nopeuksia esiintyy vain voimakkaissa myrskyissä tai kapeissa salmissa. Koska havainnointijakson aikana ei havaittu myrskyjä (vrt. tuulen aikasarjat hankealueella ERA5:stä, Kuva 6.14), eikä hankealue myöskään sijaitse selkeästi salmessa, tämä johtaa oletukseen, että mittaukset yliarvioivat pintavirtausnopeudet.

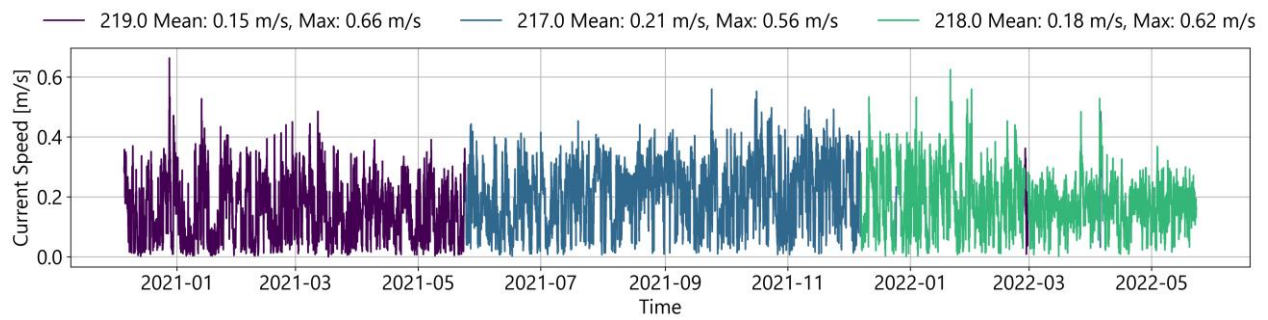
Tiedustelun perusteella tämä oletus vahvistui, koska lisääntyneet pintanopeudet johtuvat tuulen aiheuttamista aalloista (sähköpostiviesti Olli Takalammilta 7.7.2023) Tästä syystä todentamiseen käytettiin vain syvempien vesikerrosten nopeusmittauksia.



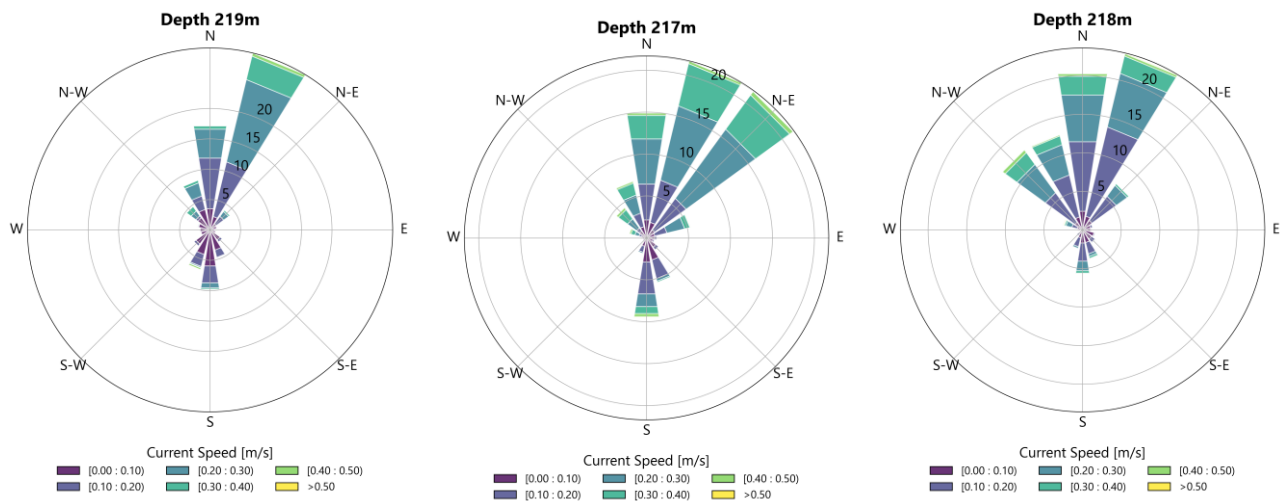
Kuva 6.8: Mitattu virtausnopeus NORRBYNissä 5, 15 ja 25 metrin syvyydessä (ylhäältä alas).



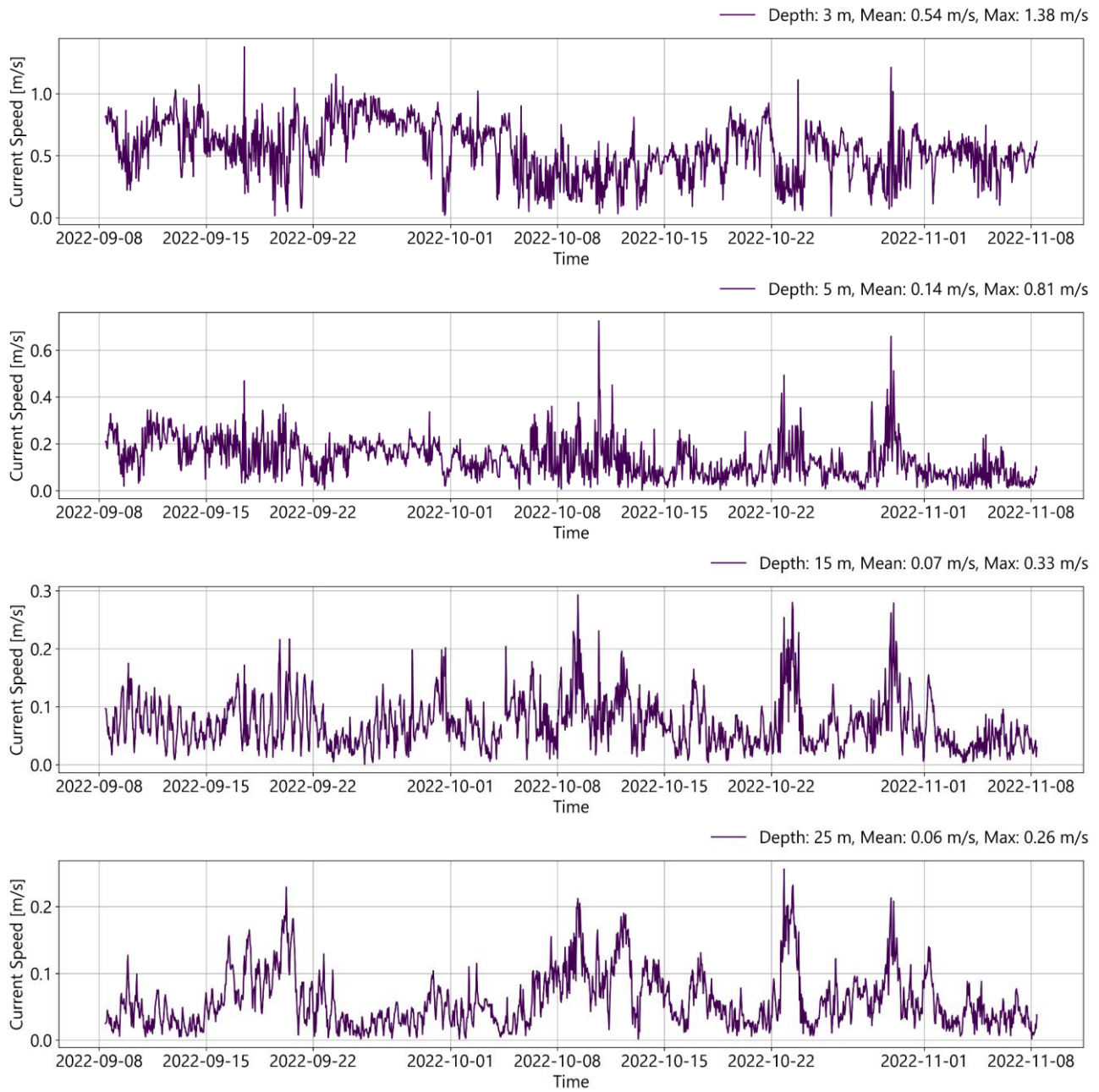
Kuva 6.9: Mitattu virtaussuunta NORRBYNissä 5, 15 ja 25 metrin syvyydessä (vasemmalta oikealle).



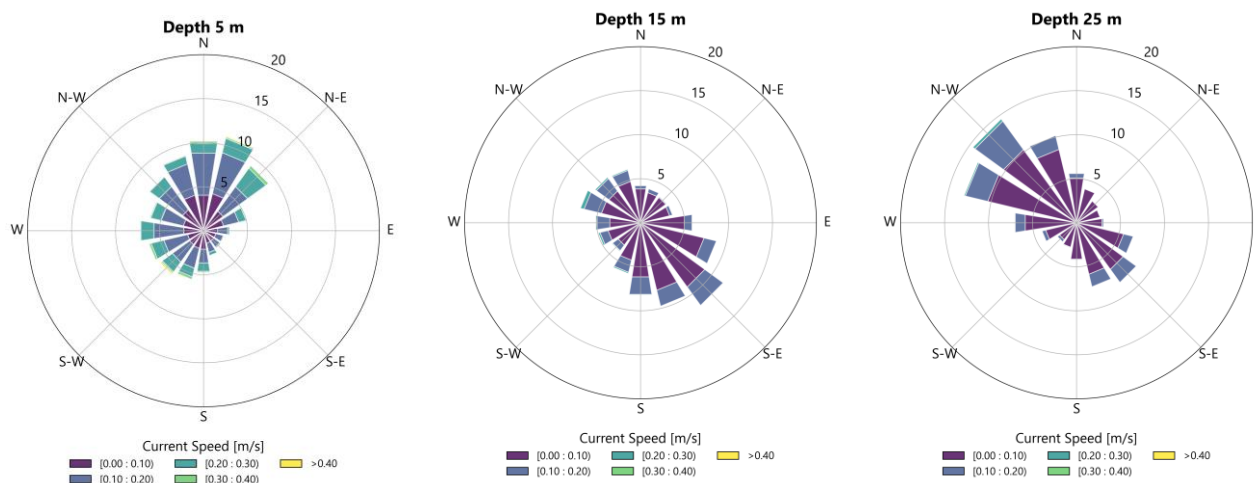
Kuva 6.10: Mitattu virtausnopeus Understen BS:ssä 217–219 metrissä.



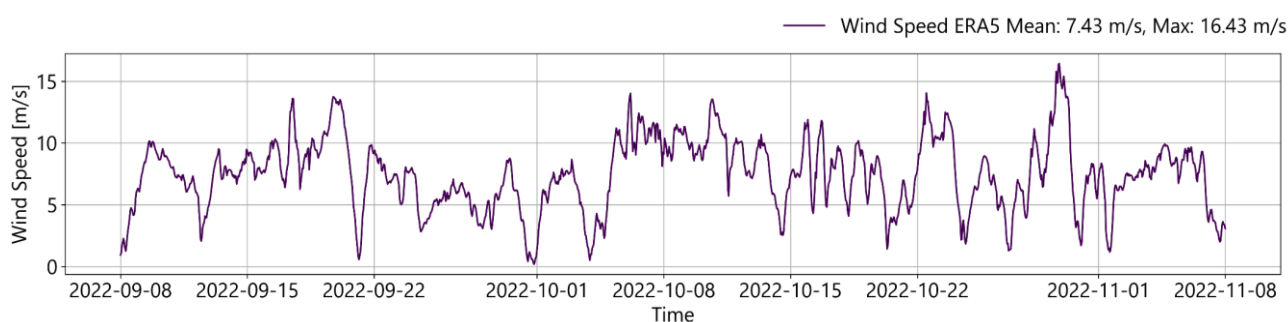
Kuva 6.11: Mitattu virtaussuunta Understen BS:ssä 217–219 metrissä (vastaava mittauksen ajanjakso on esitetty kuvassa (Kuva 6.10)).



Kuva 6.12: Mitattu virtausnopeus Hallan merituulivoimapuisto 1:ssä 3, 5, 15 ja 25 metrin syvyydessä (ylhäältä alas).



Kuva 6.13: Mitattu virtaussuunta Hallan merituuvoimapuisto 1:ssä 5, 15 ja 25 metrin syvyydessä (vasemmalta oikealle).

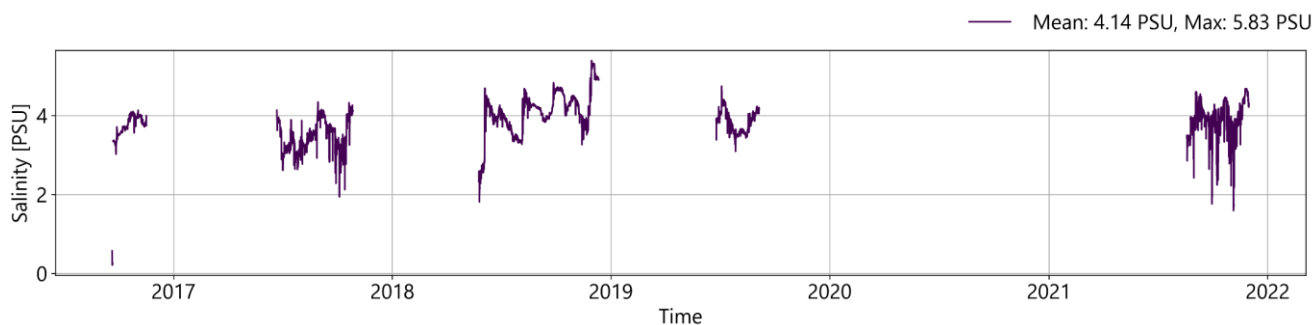


Kuva 6.14: Tuulennopeus 10 metrissä ERA5:stä hankealueella ADCAP-mittausjakson aikana.

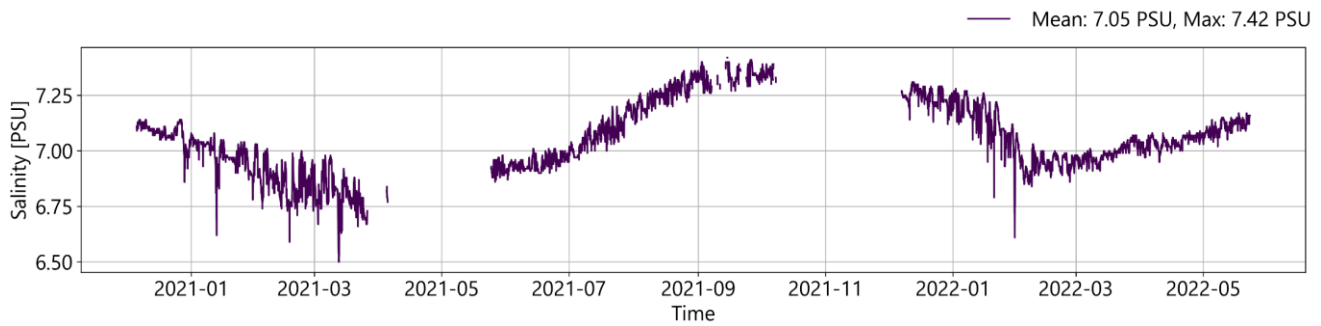
6.3.3. Suolapitoisuus

Suolapitoisuustiedot tuntiresoluutiolla on saatu SMHI:n asemilta NORRBYN BOJ (lat: 63,499, long: 19,8044, syvyys 7 m) vuosina 2016–2021 (Kuva 6.15) ja Understen BS (lat: 60,2715, long: 18,9302 syvyys 220 m) vuonna 2021 (Kuva 6.16). Suurista tietovajeista huolimatta seuraavat kaksi kuviota ovat tunnistettavissa:

- Alueellinen kuvio, joka pyrkii alhaisempaan suolapitoisuuteen pohjoisella alueella (koska voimakkaita pystysuuntaisia vaihteluita ei ole, ks. luku 6.3.4).
- Vuotuinen kuvio, jossa on taipumus alhaisempaan suolapitoisuuteen helmikuun ja huhtikuun välisenä aikana.



Kuva 6.15: Mitattu suolapitoisuus Norrbyn Boj -asemalla 7 metrissä (SMHI:n asema).



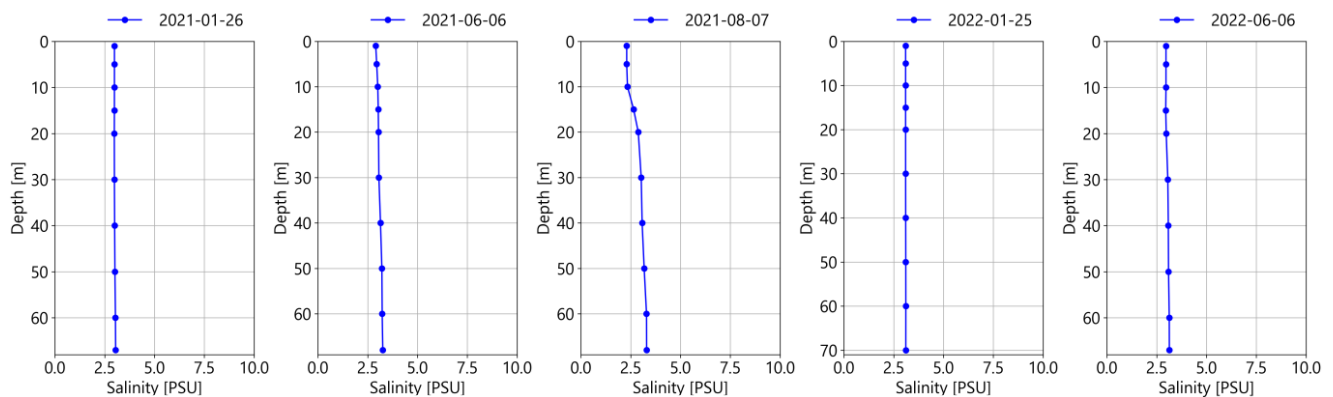
Kuva 6.16: Mitattu pinnan suolapitoisuus Understen BS:ssä 220 metrissä (SMHI:n asema).

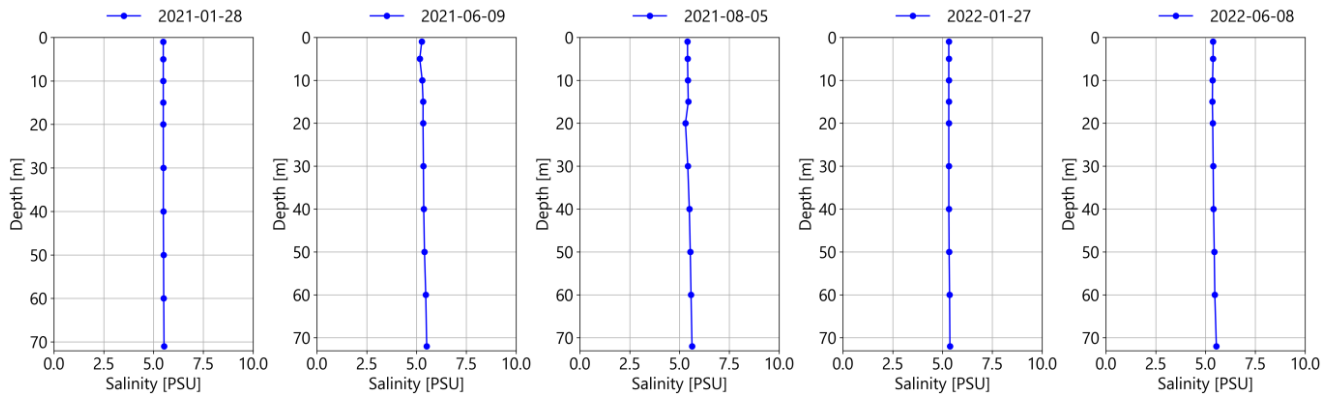
6.3.4. Suolapitoisuuden pystyprofiilimittaukset (CTD)

6.3.4.1. Julkisesti saatavilla olevat tiedot vuodelta 2021

Julkisesti saatavilla olevat suolapitoisuuden pystyprofiilit on ladattu Merihavainnot.fi:sta (Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) ylläpitämä avoin meritietopalvelu). Käytettävissä olleista noin 230 mittausasemasta 25:tä tarkasteltiin tarkemmin ja käytettiin mallin todentamiseen (ks. taulukko liitteessä Appendix 12).

Käytettävissä olevien asemien suuren määrän vuoksi suolapitoisuusprofiileja ja niiden ajallista kehitystä käsitellään vain kahden aseman esimerkin perusteella: CVI (Kuva 6.17) pohjoisosassa ja SR3 (Kuva 6.18) eteläosassa (ks. Kuva 6.4). Vaikka ajalliset ja pystysuuntaiset vaihtelut ovat pieniä sijainnista riippumatta, näiden kahden aseman välillä on merkittävä suolapitoisuusero. Pinnan suolapitoisuuden tavoin pienempiä suolapitoisuuksia mitataan pohjoisemmalla asemalla (CVI, Kuva 6.17).





Kuva 6.18: Mitattu suolapitoisuusprofiili SR3-aseamalla (lähde: merihavainnot.fi, sijainti ks. Kuva 6.4).

6.3.4.2. Mittaukset OX2:sta vuonna 2022

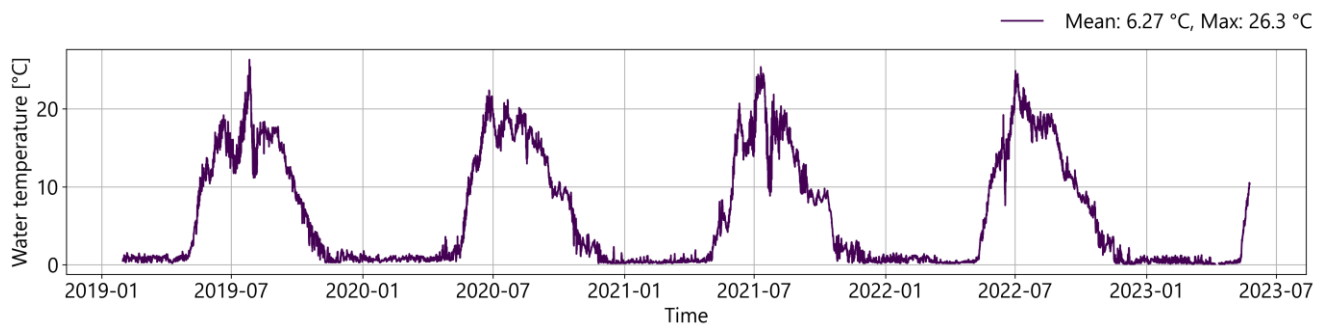
Lisäksi OX2 on toimittanut 41 profiilia, jotka on kirjattu hankealueella syyskuussa 2022 (ks. taulukko Appendix 12).

6.3.5. Pintalämpötila

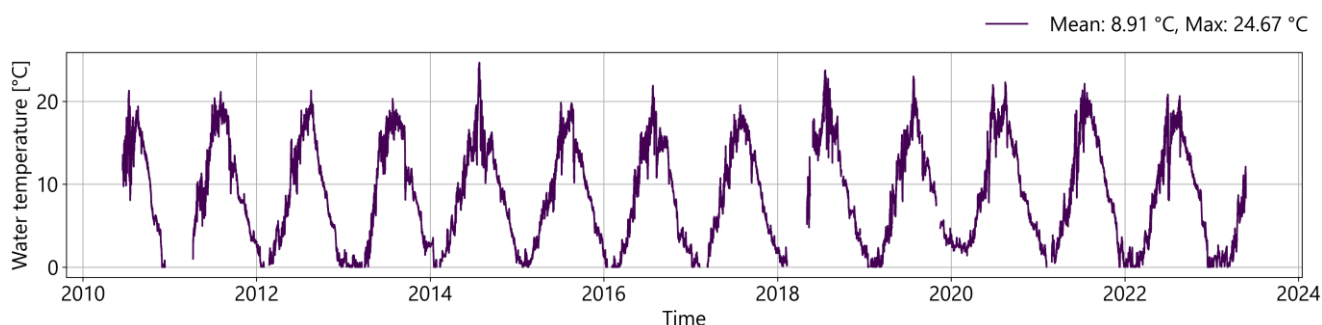
Pintalämpötila tuntiresoluutiolla on saatu 9 SMHI:n asemalta (Ruotsi) ja 7 Ilmatieteen laitoksen asemalta (Suomi) (ks. taulukko liitteessä Appendix 13). Pintalämpötila-asemien sijainnit on esitetty kuvassa (Kuva 6.4).

Käytettävissä olevien asemien suuren määrän vuoksi ajallisia pintalämpötilan vaihteluita käsitellään kahden sijainnin perusteella, jotka sijaitsevat joko pohjoisosassa (KALIX-KARLSBORG SJÖV Kuva 6.19) tai eteläosassa (FORSMARK, Kuva 6.20).

Kummallakin asemalla on havaittavissa merkittäviä vuosittaisia vaihteluita. Mitatut minimi- ja maksimilämpötilat vaihtelevat kummallakin asemalla 0°:n ja noin 25°:n välillä, kun taas pohjoisella asemalla (KALIX-KARLSBORG SJÖV, Kuva 6.19) näkyy selvästi pidempi jakso (noin marraskuusta toukokuuhun), jolloin pintalämpötilat ovat noin 0°. Eteläisellä asemalla (FORSMARK, Kuva 6.20) pintalämpötila on vain noin 0° noin 3 kuukauden ajan (tammi-maaliskuu), mikä selittää 2° korkeamman vuotuisen keskiarvon.



Kuva 6.19: Mitattu pintaveden lämpötila KALIX-KARLSBORG SJÖVISSÄ (SMHI:n asema).



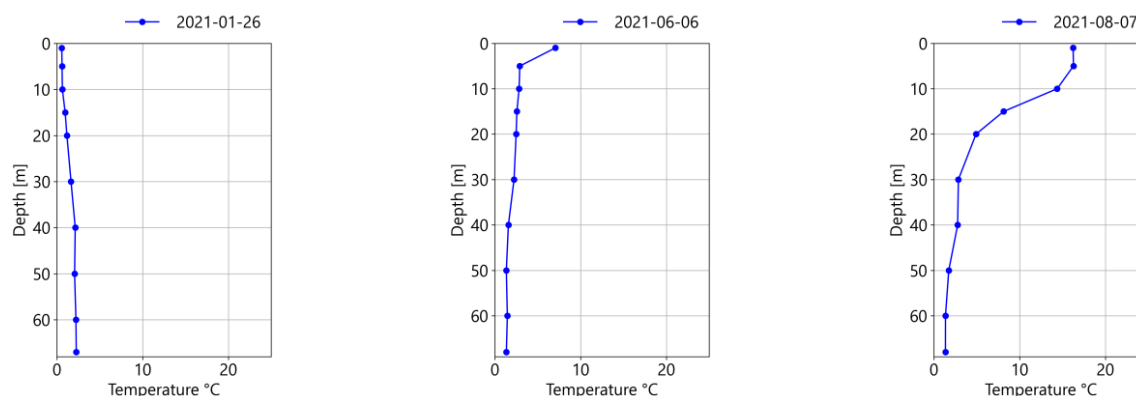
Kuva 6.20: Mitattu pintaveden lämpötila FORSMARKISSA (SMHI:n asema)

6.3.6. Lämpötilan pystyprofiilimittaukset (CTD)

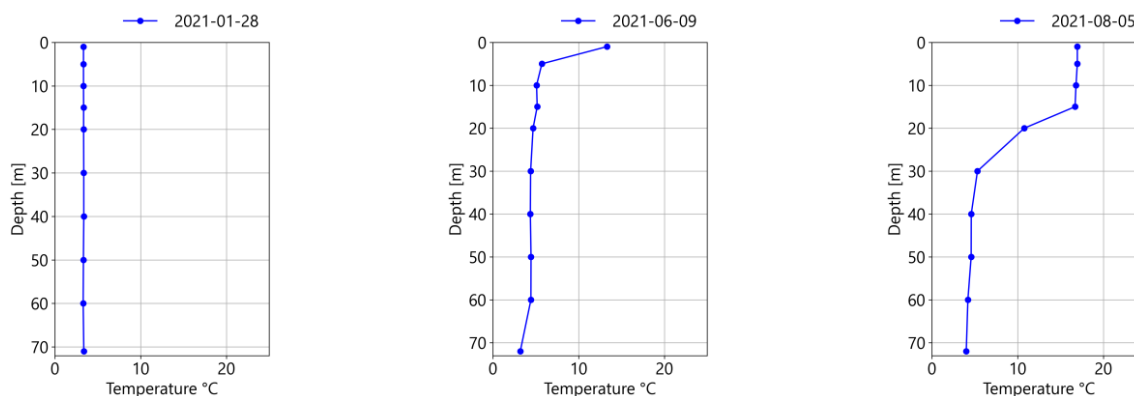
6.3.6.1. Julkisesti saatavilla olevat tiedot vuodelta 2021

Lämpötilaprofiileja on saatavilla samoista paikoista kuin suolapitoisuusprofiileja (ks. taulukko liitteessä Appendix 12 ja Kuva 6.4). Kuten suolapitoisuuden osalta, käytettävissä olevien asemien suuren määrän vuoksi lämpötilaprofiileja ja niiden ajallista kehitystä käsitellään vain kahdella asemalla, CVI:llä ja SR3:lla (pohjoisessa ja etelässä, ks. Kuva 6.4).

Lämpötilaprofiilien mittaukset (toisin kuin suolapitoisuuden pystyprofiilit) osoittavat lämpötilan kausittaisia ja pystysuuntaisia vaihteluita kummallakin asemalla. Vaikka lämpötilan pystysuuntaiset vaihtelut ovat suhteellisen pieniä tammikuussa, termokliini näkyy 20–30 metrissä elokuussa. Verrattaessa näitä kahta asemaa voidaan nähdä, että vesi on SR3-asemalla (eteläosassa) yleensä lämpimämpää, kun taas CVI-aseman pintalämpötila vaihtelee enemmän.



Kuva 6.21: Mitattu lämpötilaprofiili CVI-asemalla (lähde: merihavainnot.fi, sijainti ks. Kuva 6.4)



Kuva 6.22: Mitattu lämpötilaprofiili SR3-aseamalla (lähde: merihavainnot.fi, sijainti ks. Kuva 6.4)

6.3.6.2. Mittaukset OX2:sta vuonna 2022

Suolapitoisuuden tapaan OX2 on toimittanut 41 profiilia, jotka on kirjattu hankealueella syyskuussa 2022 (ks. taulukko liitteessä Appendix 12).

6.4. Hydrodynaamiset tiedot malleista

6.4.1. Vedenkorkeudet

2 km x 2 km:n SMHI:n Itämeren 3D-mallin dataa käytetään Ahvenanmeren rajaolosuhteissa MIKE-mallien (Copernicus, Baltic Sea Physics Analysis and Forecast, 2x2km, 2022) ja (Copernicus, Baltic Sea Physics Reanalysis 4x4km, 2022) syöttämiseen.

6.4.2. Virtaukset

Jotta voidaan määrittää edustava vuosi hydrodynamiikkaan ja sedimentin leviämiseen kohdistuvien vaikutusten simuloimiseksi, SMHI:n Itämeren 3D-mallin tulokset Hallan merituulivoimapuistossa (Copernicus, Baltic Sea Physics Analysis and Forecast, 2x2km, 2022) ja (Copernicus, Baltic Sea Physics Reanalysis 4x4km, 2022) esitetään liitteissä Appendix 2, Appendix 7 ja Appendix 8.

6.4.3. Suolapitoisuus ja lämpötila

Alustamiseen ja mallin syöttämiseen rajalla käytetään SMHI:n Itämeren numeerisen mallin tietoja, (Copernicus, Baltic Sea Physics Analysis and Forecast, 2x2km, 2022) ja (Copernicus, Baltic Sea Physics Reanalysis 4x4km, 2022).

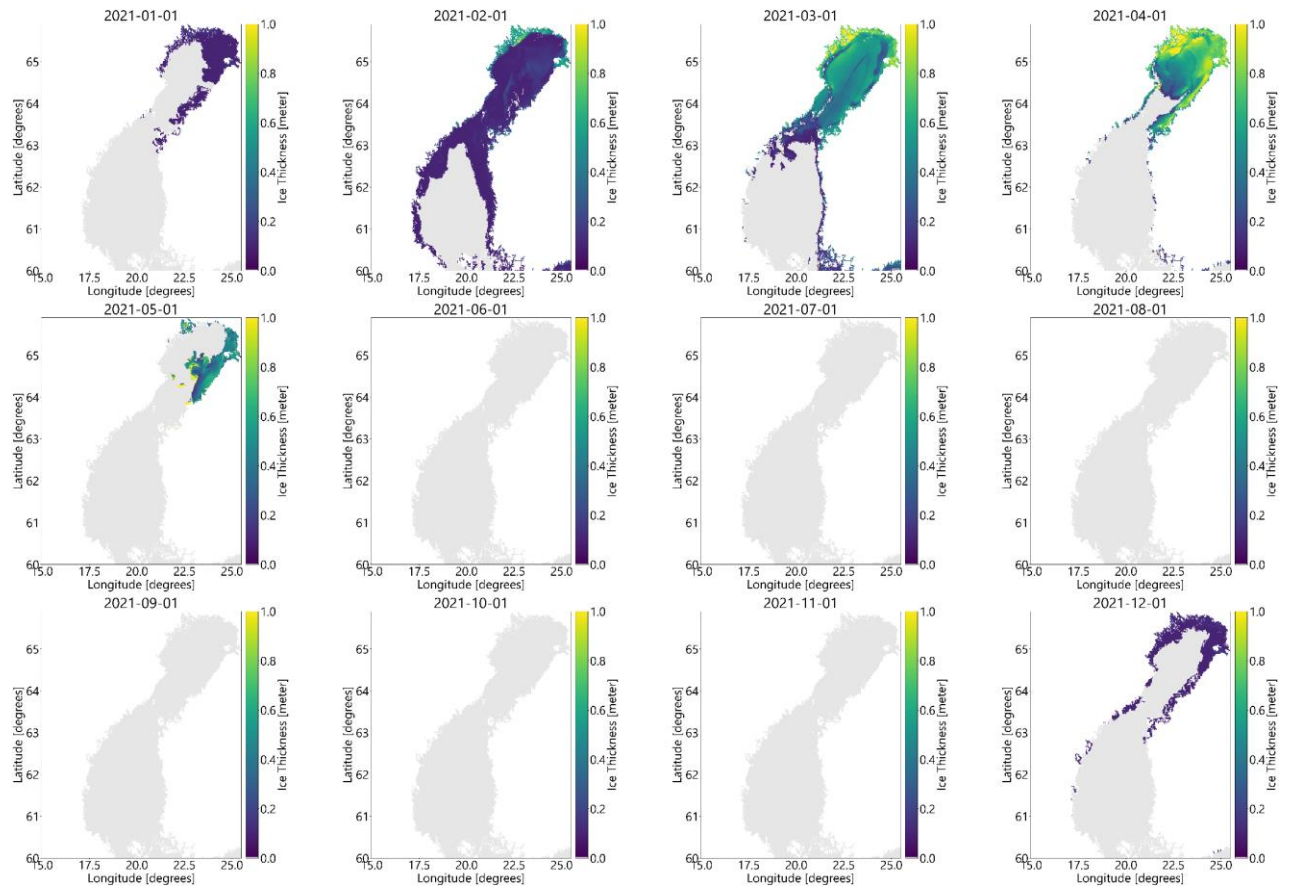
Valittujen vuosien tiedot esitetään liitteissä Appendix 3–Appendix 6.

6.5. Tuuli, ilmanpaine, ilman lämpötila, pitkä- ja lyhytaaltainen nettosäteily

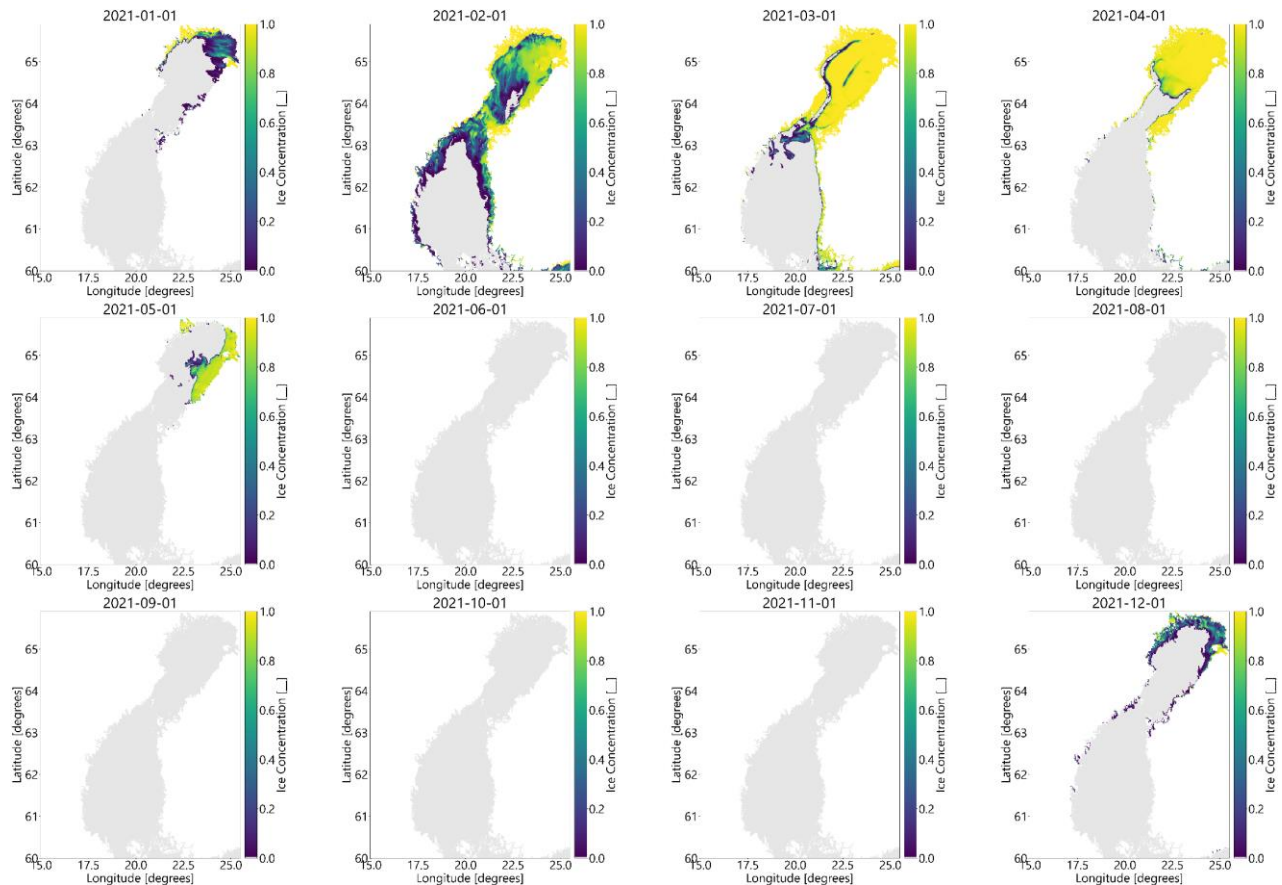
Ilmakehän tiedot hetkellisen tuulen nopeuden muodossa 10 mMSL:ssä x- ja y-suunnissa, tiedot ilmanpaineesta pinnalla, ilman lämpötilasta 2 metriä pinnan yläpuolella, suhteellisesta ilmankosteudesta sekä pitkä- ja lyhytaaltoisesta nettosäteilystä pinnalla on saatu ECMWF:stä (ECMWF, 2022). Tietojen vaakasuuntainen resoluutio on 0,25 astetta ja ajallinen resoluutio 1 tunti.

6.6. Merijää

Merijään esiintyminen perustuu SMHI:n tuottamiin tietoihin (Copernicus, Baltic Sea Physics Analysis and Forecast, 2x2km, 2022) ja (Copernicus, Baltic Sea Physics Reanalysis 4x4km, 2022) jään paksuudesta ja pitoisuudesta (Kuva 6.23 ja Kuva 6.24). Kuten kuvista käy ilmi, jääpeite leviää pohjoisesta etelään joulukuusta alkaen ja on laajimmillaan maaliskuussa, jolloin koko Suomen länsirannikko on jään peitossa. Kesäkuusta alkaen koko Pohjanlahti on jälleen jäätön.



Kuva 6.23: Jään paksuuden ajallinen kehitys vuonna 2021.



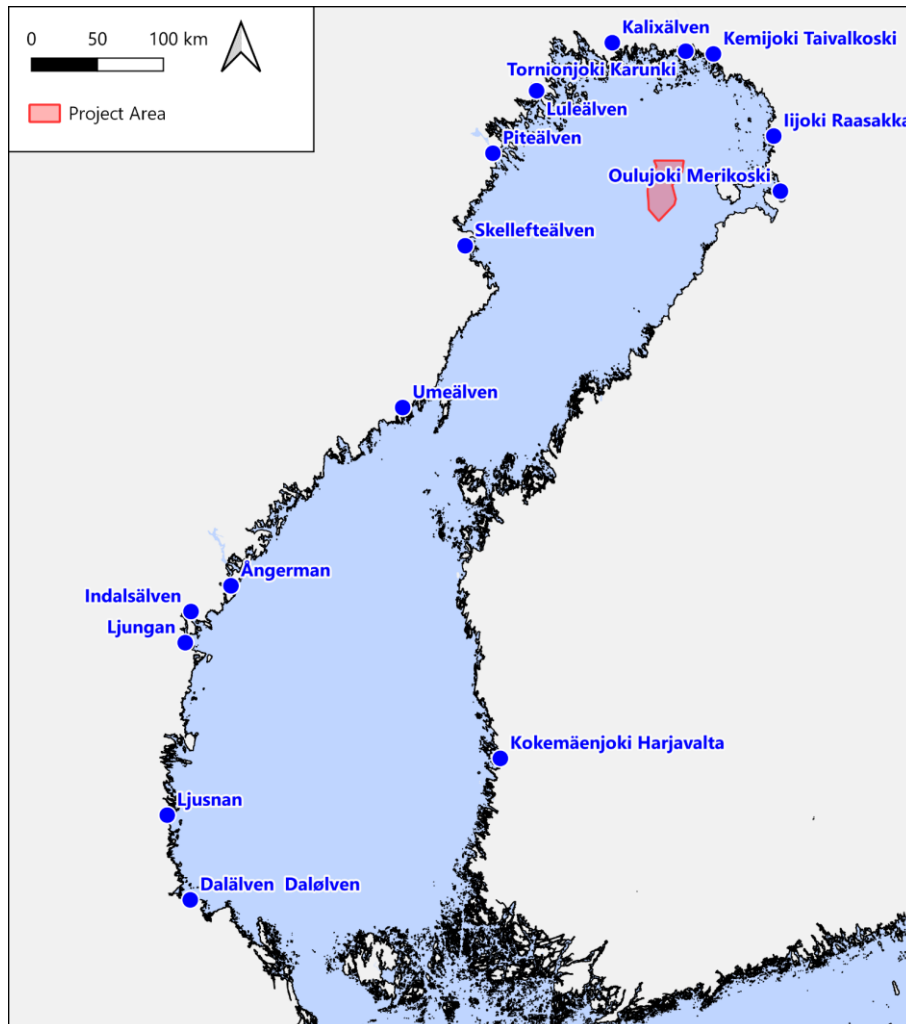
Kuva 6.24: Jääpitoisuuden ajallinen kehitys vuonna 2021.

6.7. Valuma

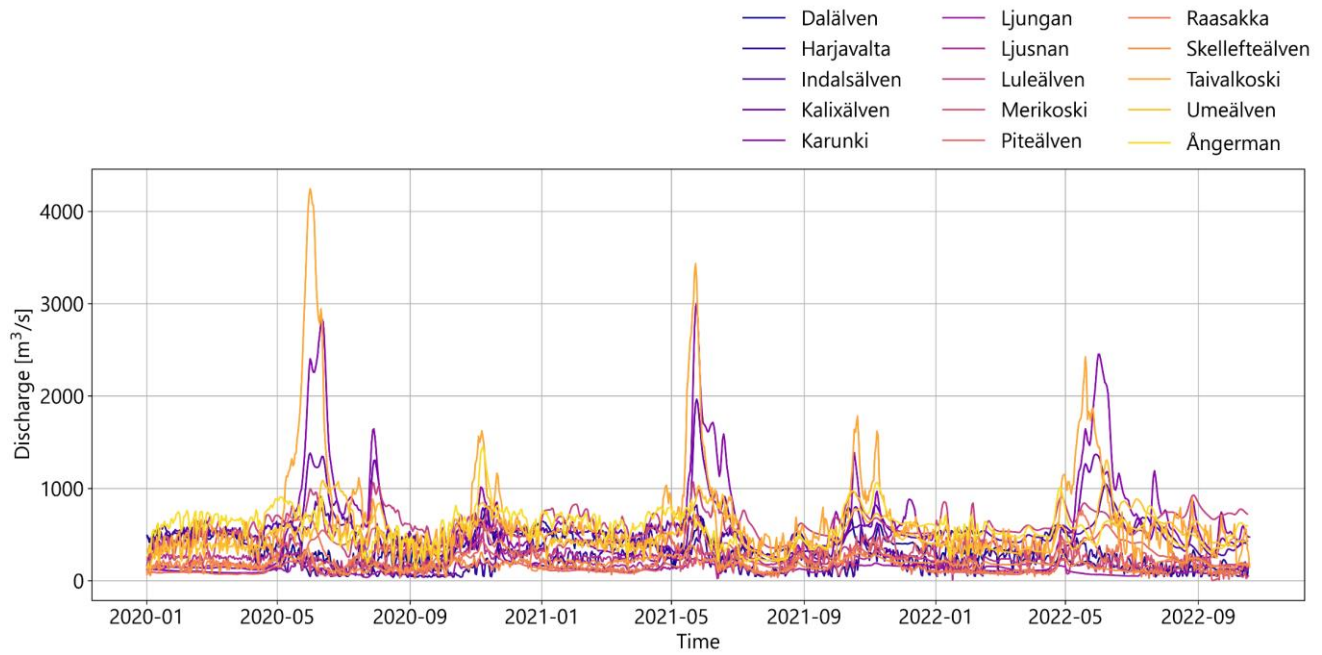
Mallin syöttötietoina käytetään seuraavia merkittäviä makean veden virtaamia (keskimääräinen virtaama yli 100 m³/s) Pohjanlahteen:

- Kokemäenjoki (Harjavan asema, lat: 61,34, long: 22,11; Suomi)
- Oulujoki (Merikosken asema, lat: 65,023, long: 25,47; Suomi)
- Iijoki (Raasakan asema, lat: 65,33, long: 25,41; Suomi)
- Kemijoki (Taivalkosken asema, lat: 65,93, long: 24,71; Suomi)
- Tornionjoki (Karungin asema, lat: 66,03, long: 24,02; Suomi)
- Kalixälven (lat: 65,8, long: 23,25; Ruotsi)
- Luleälven (lat: 65,56, long: 22,05; Ruotsi)
- Piteälven (lat: 65,30, long: 21,44; Ruotsi)
- Skellefteälven (lat: 64,71, long: 21,18; Ruotsi)
- Umeälven (lat: 63,74, long: 20,36; Ruotsi)
- Ångerman (lat: 63,03, long: 17,78; Ruotsi)
- Indalsälven (lat: 62,5, long: 17,5; Ruotsi)
- Ljungan (lat: 62,28, long: 17,4; Ruotsi)
- Ljusnan (lat: 61,2, long: 17,13; Ruotsi)
- Dalälven (lat: 60,62, long: 17,49; Ruotsi)

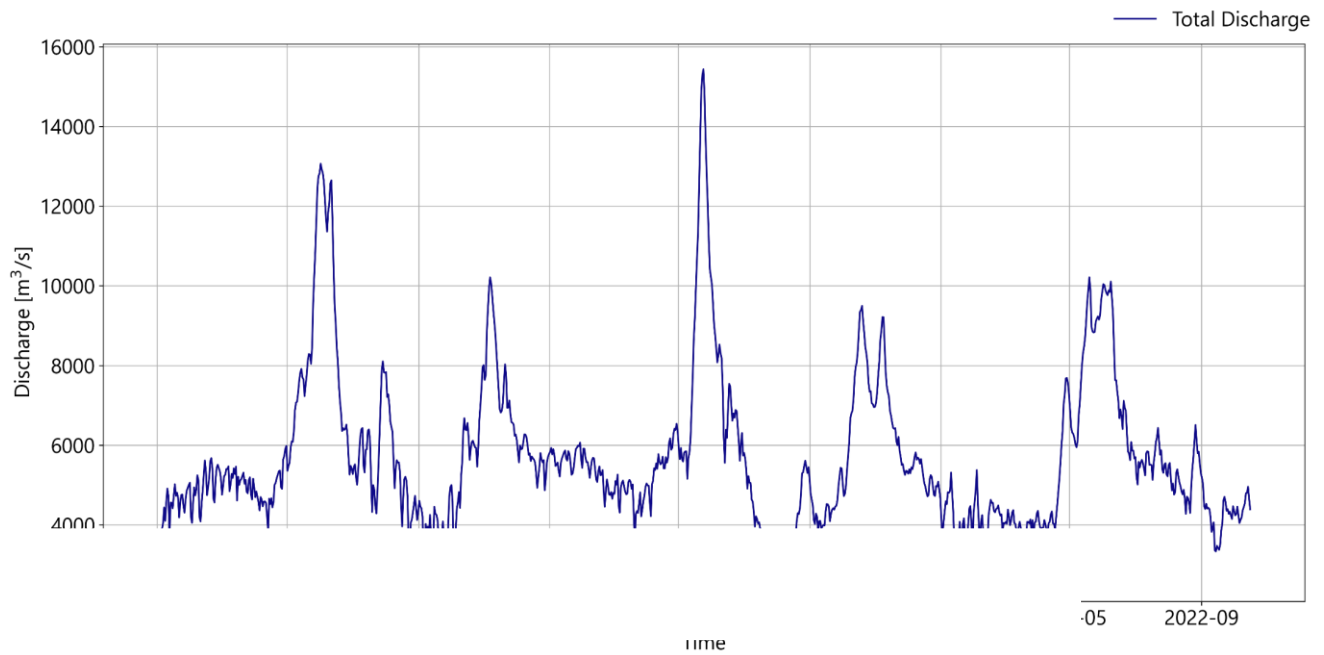
Ruotsin jokien osalta SMHI VattenWebb -alustalta on saatu mallinnetut ja asemakorjatut päivittäiset virtaamat ja lämpötilat vuosille 2020–2022. Suomen jokien osalta havaitut päivittäiset virtaamat on saatu Suomen ympäristökeskukselta, ja veden lämpötilan on oletettu olevan samanlainen kuin Ruotsin joen lähimmillä leveysasteilla. Pääjokien virtaamat ja lämpötilat on esitetty kohdissa Kuva 6.26 ja Kuva 6.28, jokien kokonaisvirtaamat kohdassa Kuva 6.27 ja niiden sijainti kohdassa Kuva 6.25.



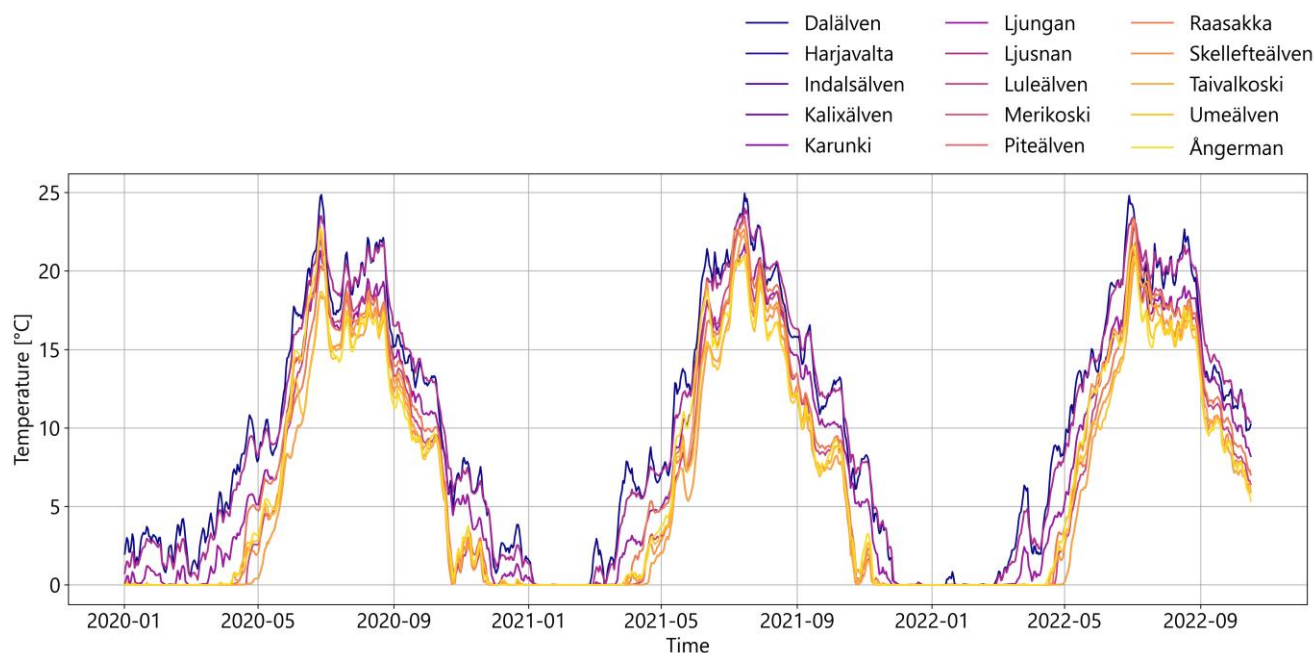
Kuva 6.25: Malliin sisältyvien pääjokien sijainti.



Kuva 6.26: Mallissa tarkasteltavien pääjokien päivittäiset virtaamat [m^3/s].



Kuva 6.27: Jokien kokonaisvirtaama [m^3/s] malliin.



Kuva 6.28: Mallissa tarkasteltujen pääjokien päivittäiset veden lämpötilat [°C].

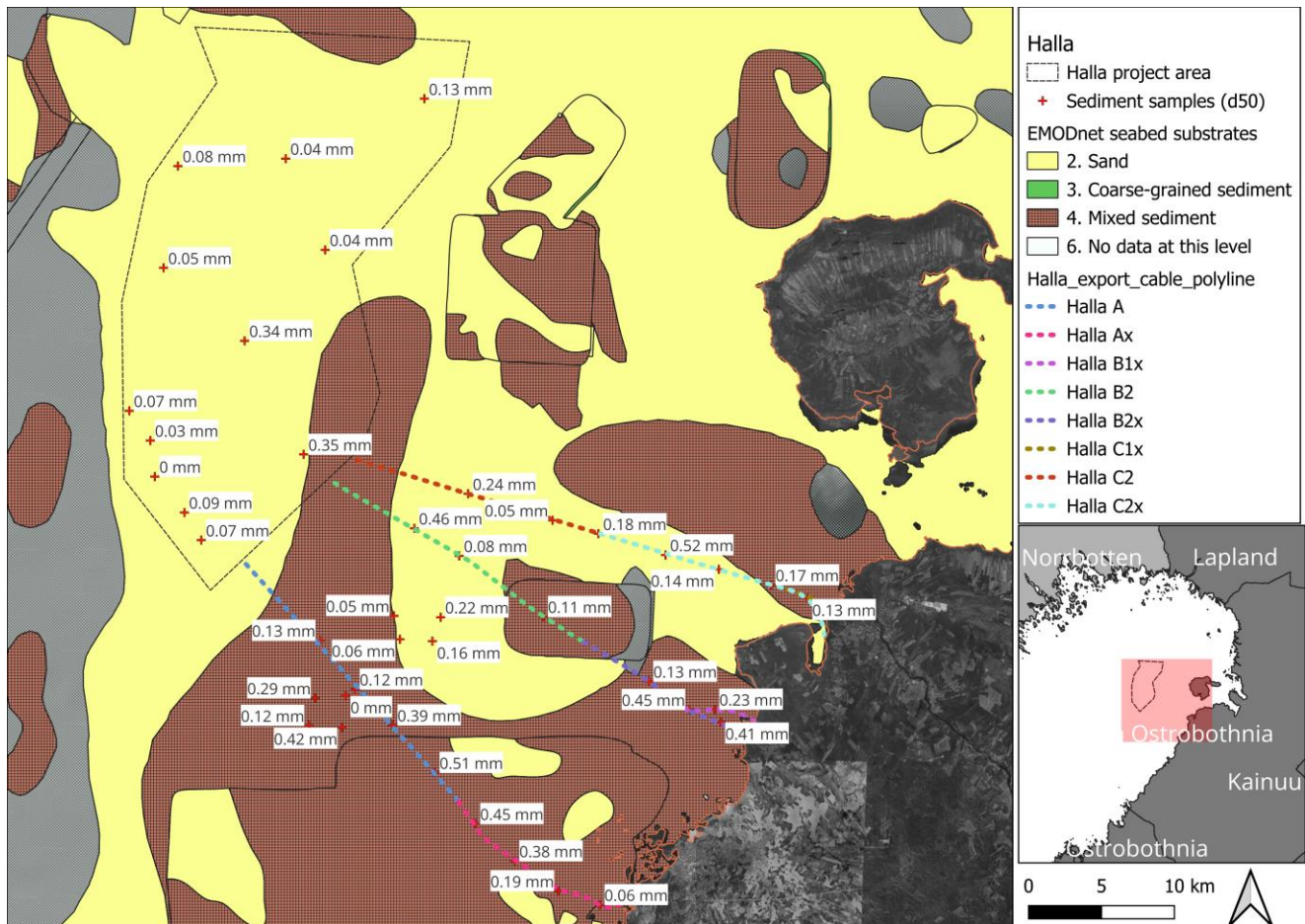
6.8. Pintasedimentit, merenpohjan geologia

Yleiskuva tuulivoimapuistossa ja sen ympäristössä olevista pintasedimenteistä perustuu asiakkaan raeseula-analyysinä antamiin tietoihin Appendix 1 ja EMODnet-substraatteihin (EMODnet, 2022) Kuva 6.29.

Suurin osa tuulivoimapuiston merenpohjasta koostuu silttisestä hiekasta (keskimäärin 15 % savea ja silttiä) ja sekasedimentistä (keskimäärin 15 % savea ja silttiä).

Kummankin EMODnet-luokan osalta kyseiseen luokkaan kuuluvien sedimenttivuotolähteiden raekokojakauma on esitetty keskimääräisenä otoksena, joka perustuu hankealueella ja sen ympäristössä kerättyihin hankekohtaisiin tietoihin.

Vientikaapelit on liitetty lähimpään sattumanvaraiseen näytteeseen 200 metrin osuuksilla.



Kuva 6.29: Sedimentti; hankkeen tarjoamat sedimenttinäytteet ja substraatti (EMODnet, 2022). Vasen kuva – Harmaa: "Ei tietoa". 2. Hiekka, 3. Karkearakeinen sedimentti, 4. Sekoittunut sedimentti 6. Ei dataa tällä tasolla

6.9. Lähtötilanteen kuvaus

Hallan merituulivoimapuisto sijaitsee Perämeren pohjoisosassa, jonka erottaa Selkämerestä suhteellisen kapea ja matala alue (Merenkurkku), mikä rajoittaa veden vaihtumista¹.

Hallan merituulivoimapuiston hydrografisille olosuhteille on ominaista alhainen suolapitoisuus (1–3 PSU) ja vähäinen syvyysuuntainen suolapitoisuuden muutos (halokliini). Suolapitoisuus vaihtelee vuosien aikana ja välillä (4 x 4 km:n ruudukko: Appendix 5 ja 2 x 2 km:n ruudukko: Appendix 6) arvojen ollessa yleensä suuremmat liitteessä Appendix 6, mikä johtuu todennäköisesti erilaisesta resoluutiosta.

Veden lämpötila vaihtelee talven 0–2 °C:sta heinä-elokuun yli 20 °C:seen (Appendix 3 ja Appendix 4). Lämpötila kerrostuu kesällä voimakkaasti muodostaen termokliinin (maksimilämpötilan muutosvyöhykkeen) 10–20 metrin syvyydessä. Syys-lokakuussa vesi voi lämmitä jopa 12–15 °C:seen koko syvyydeltä.

¹ Perämeri muodostaa yhdessä Selkämeren kanssa Pohjanlahden, jonka erottaa Itämerestä Ahvenanmeren salmi.

Pohjanlahdella jääpeite leviää pohjoisesta etelään joulukuusta alkaen ja on laajimmillaan maaliskuussa, jolloin koko Suomen länsirannikko on jään peitossa. Kesäkuusta alkaen koko Pohjanlahti on jälleen jäätön. Vuoroveden puuttumisen vuoksi vedenpinnan vaihtelut johtuvat enimmäkseen Ahvenanmaan rajan vaihteluista, tuuli- ja paine-eroista ja ovat ± 150 cm vuoden keskiarvosta.

Vedenkorkeuden vähäisen vaihtelun vuoksi virtaukset ovat yleensä heikkoja, noin 0,15 m/s pinnalla (enintään 0,5 m/s) ja alle 0,07 m/s alle 30 metrissä. Tämä johtuu enimmäkseen tuulesta sekä lämpötila- ja suolapitoisuuseroista. Perämerellä keskimääräinen kiertoliike on talvella, keväällä ja syksyllä vastapäivään ja kesällä myötäpäivään, Appendix 2.

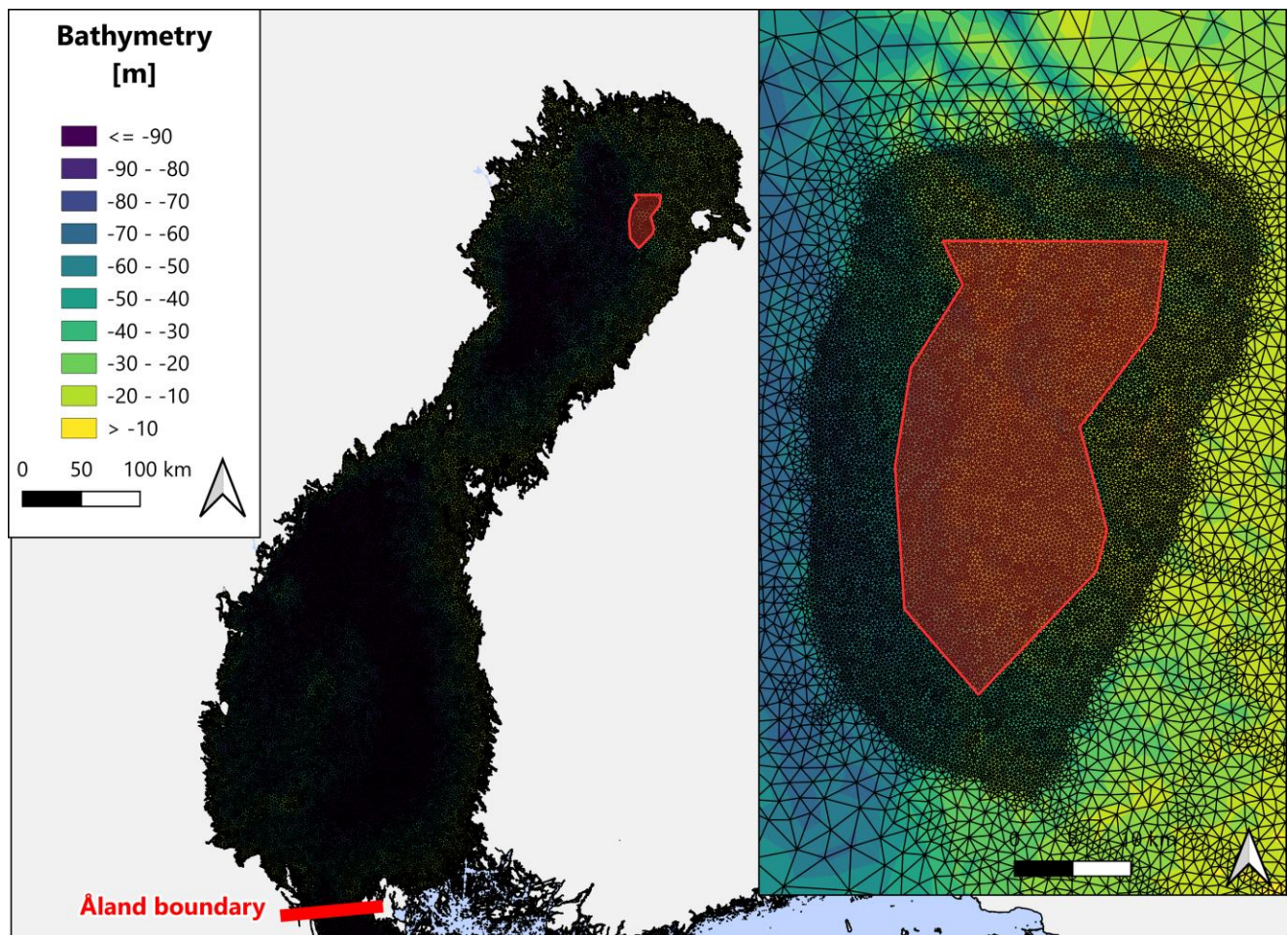
Suspendoituneen aineksen taustapitoisuudet ovat Itämerellä noin 1 mg/l ja Perämerellä noin 0,6 mg/l. (Jean-François Berthon and Giuseppe Zibordi, 2010).

7. Hydrodynaaminen 3D-malli (alueellinen ja paikallinen)

7.1. Batymetria ja verkko

7.1.1. Alueellinen malli

Alueellisten kiertoliikekuvioiden huomioon ottamiseksi alueellinen hydrodynaaminen 3D-malli kattaa koko Pohjanlahden (ks. Kuva 7.1 Selkämeri ja Perämeri). Itämeren raja sijaitsee Ahvenanmeren kapeimmalla vyöhykkeellä. Alueellista mallia käytetään hydrodynaamisten prosessien kalibrointiin ja validointiin sekä paikallisen painemallin pakottamiseen (ks. jäljempänä). Kohtuullisten simulointiaikojen säilyttämiseksi mallin vaakasuuntainen resoluutio on suhteellisen karkea (4 km^2). Verkko koostuu 42 207 elementistä ja 22 268 solmusta. Pintakerroksessa selvempänä näkyvän lämpötilan ja suolapitoisuuden kerrostumisen havaitsemiseksi vesipatsas on jaettu 15 pystysuuntaiseen osaan 30 metrin syvyyteen saakka (hybridi-sigmakerrokset), jolloin pystysuuntainen resoluutio on vähintään 3 metriä. Vesipatsaan yli 30 metriä syvempi osa kuvataan käyttämällä 12 metrin vakiosyvyyskerroksia. Pohjanlahden syvyys vaihtelee rannikon 0 metristä luoteisen Selkämeren 250 metriin. Hankkeen vaikutusten arviointi perustuu alueelliseen malliin, jossa verkko tarkennetaan enintään $0,09 \text{ km}^2$:iin hankealueen välittömässä läheisyydessä (49 588 elementtiä, 26 012 solmua, ks. Kuva 7.1).

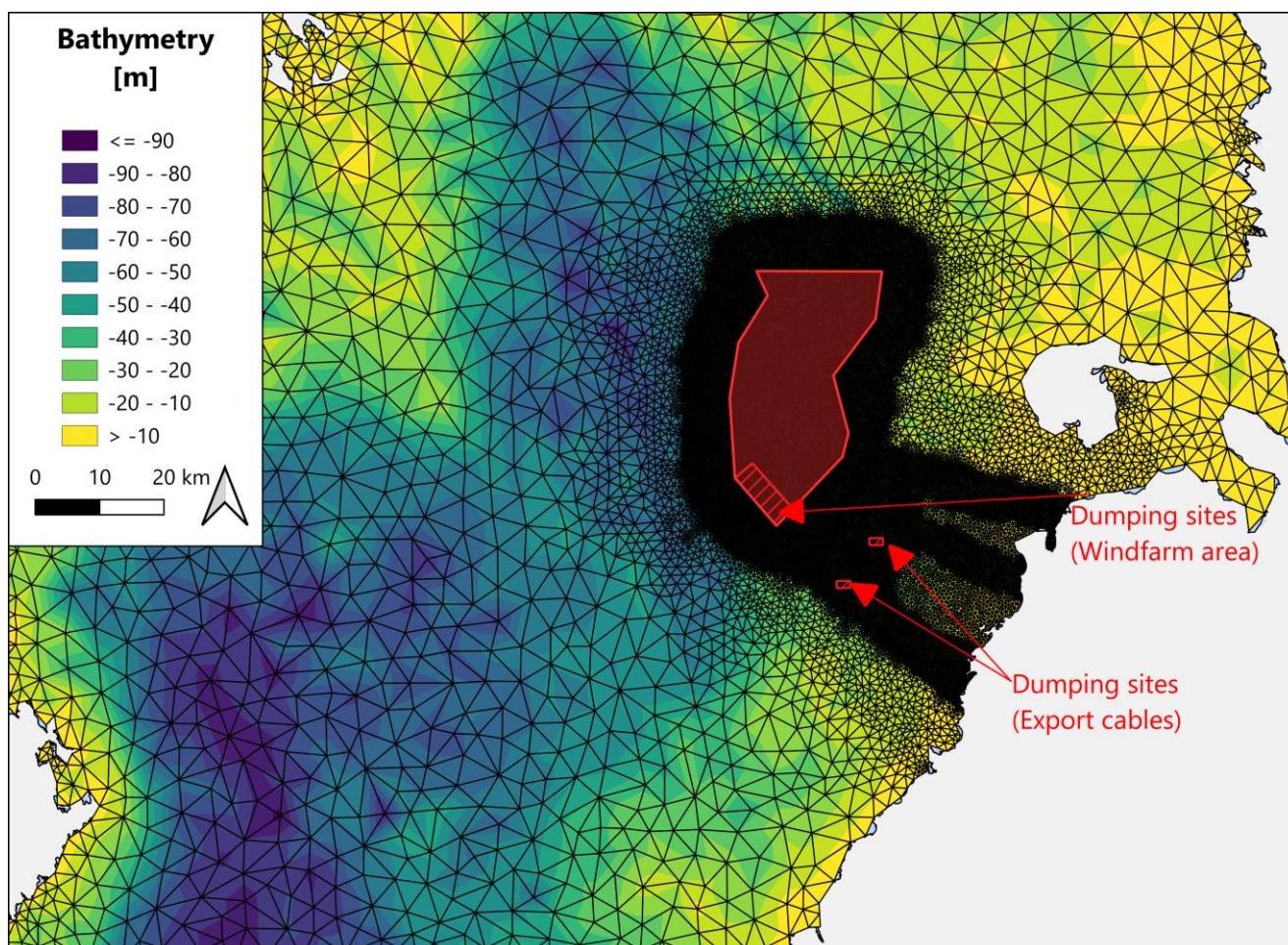


Kuva 7.1: Alueellisen hydrodynaamisen mallin verkko ja siihen liittyvä batymetria (MSL) kalibrointia ja validointia varten (vasemmalla) ja paikallinen tarkennus hankealueen välittömässä läheisyydessä (punainen monikulmio) hydrodynaamisen vaikutuksen arvioimiseksi.

7.1.2. Paikallinen sedimenttimalli

Sedimentin leviämisen mallintamiseksi (Kuva 7.2) paikallinen sedimenttimalli edustaa samaa aluetta kuin alueellinen malli sillä erotuksella, että pystysuuntainen verkko koostuu vain sigmakerroksista sigman ja z-kerroksen yhdistelmän sijaan, jotta vältetään z-kerrosten aiheuttamat keinotekoiset sedimenttiloukut.

Malli koostuu 60 442 elementistä ja 21 466 solmusta, ja sen pystysuuntainen resoluutio on 10 sigmakerrosta. Paikallisella mallilla on vaihteleva vaakasuuntainen resoluutio, karkeampi kuin 10 km kauempana hankealueen ulkorajasta, jossa sedimentin leviämisen vähäisiä vaikutuksia voidaan odottaa matalien virtausten vuoksi. Se kasvaa asteittain 0,09 km²:iin 5 km:n sisällä hankealueesta ja pitkin vientikaapeleita, jossa sedimentin leviämisen vaikutuksen odotetaan olevan voimakkain. Sitä pakottavat samat rajatiedot kuin alueellisessa mallissa.



Kuva 7.2: Paikallisen sedimenttimallin verkko ja siihen liittyvä batymetria sedimentin leviämisen analysoimiseksi. Läjitysalueet hankealueen sisällä sekä kaapelikäytävien varrella

7.2. Rajatiedot

Itämeren avoimella rajalla oleva alueellinen malli perustuu mallinnettuihin SMHI:n tietoihin suolapitoisuudesta, lämpötilasta ja vedenkorkeudesta. Pinnalla otetaan huomioon ECMWF:n ERA5-tuulitiedot tuulikenttien, ilmanpaineen, sademäärän ja haihtumisen sekä merijään pitoisuuden ja paksuuden muodossa SMHI:n Itämeren mallista. Lämmönvaihto ilmakehän kanssa on otettu huomioon ECMWF:n ERA5-tietojen avulla lyhyt- ja pitkäaaltoisesta nettosäteilystä, ilman lämpötilasta ja kosteudesta merenpinnassa. Valuma-alueelta tulevia pakotettuja massoja tarkastellaan myös luvussa 6.7 lueteltujen suurten jokien makean veden virtaamalämpötilojen kautta.

Pyörähdysajan (spin-off time) minimoimiseksi malli alustetaan ensimmäistä kertaa suolapitoisuudella, lämpötilalla ja pinnan korkeudella SMHI:n Itämeren mallista.

7.3. Mallin määrittäminen ja kalibrointi

Alueellinen malli pakotetaan etelärajalle käyttämällä määritettyjä vedenkorkeuksia sekä SMHI:n Itämeren mallin suolapitoisuus- ja lämpötilaprofiileja. Vedenkorkeudet on kalibroitu säätämällä tuulen kitkakertoimia, jotta saadaan kohtuullinen vastaavuus havaintotietojen kanssa.

Suolapitoisuuden ja lämpötilan kerrostumisen huomioon ottamiseksi pystysuuntainen pyörreviskositeetti ratkaistaan käyttämällä k-ε-turbulenssimallia. Suolapitoisuus- ja lämpötilaprofiilit on kalibroitu hankealueella käytettävissä oleviin mittauksiin säätämällä pysty- ja vaakasuuntaisia leviämiskertoimia, ja pintalämpötilat on kalibroitu valon molaarisella absorptiokertoimella, joka määrittää valon tunkeutumisen syvyyden vesipatsaassa.

7.4. Edustavan ajanjakson yksilöinti

Liitteissä Appendix 2 ja Appendix 3–Appendix 8 esitetyn SMHI:n Itämeren mallin mallintamien Hallan merituulivoimapuiston lämpötilan, suolapitoisuuden ja virtausten perusteella keskimääräinen vuosi yksilöidään vertaamalla vuosittaisia olosuhteita. Suolapitoisuuden, lämpötilan ja virtausten vuosittainen vaihtelu on yleensä vähäistä, ja Perämerellä kiertoliike on yleistä vastapäivään, lukuun ottamatta kesäkuukausia, jolloin virtaus on yleensä heikko ja suuntaus myötäpäivään. Lisäksi eri hiukkasreittien vertailu (Appendix 9) osoittaa, että hiukkasten leviäminen vaihtelee enemmän vuoden yksittäisten kuukausien kuin tutkittujen neljän vuoden välillä.

Vuosi 2021 on valittu edustavaksi vuodeksi, koska se seuraa yleistä pinnan suolapitoisuuden nousua kevään lopussa ja laskua kesän lopussa. Lämpötila on korkeimmillaan loppukesällä, kun termokliini laskee 15 metriin. Termokliinin syvyys on tällä alueella 10–30 metriä, joten 15 metriä on alapuolella ja ilmaisee hieman vähentynyttä pystysuuntaista sekoittumista. Lisäksi hiukkasten seuranta osoittaa, että vuosi 2021 on sopivan edustava vuosi, ja sen seurantaikäyttyminen on muiden vuosien vaihteluvälillä kunkin kuukauden osalta.

Mallinnettujen virtausten vertailu SMHI:n 2 km x 2 km -mallilla ja 4 km x 4 km -mallilla osoittaa, että virtausnopeudet kasvavat ja suuntakomponentit jakautuvat tasaisemmin hienorakeisemmassa versiossa. Virtauksen keskimääräinen voimakkuus on yleensä alle 0,1 m/s, ja kiertoliike on vastapäivään talvella, keväällä ja syksyllä sekä myötäpäivään kesäkuukausina hieman vaihdellen (Appendix 2). Vuonna 2021 virtaus oli myötäpäivään huhti-, touko-, elo- ja syyskuussa, heikkoa kesä- ja heinäkuussa sekä vastapäivään loka- ja marraskuussa virtauskuvion yleisten vaihteluiden mukaisesti. Tätä taustaa vasten vuosi 2021 valittiin tuulivoimapuiston vaikutusten tutkimiseksi hydrodynamiikkaan ja puiston rakentamisen vaikutusten tutkimiseksi sedimentin leviämiseen.

7.5. Todentaminen

Alueellisen mallin todentaminen perustuu simuloitujen ja mitattujen, julkisesti saatavilla olevien tietojen vertailuun vuodelta 2021. Huomioon otetaan seuraavat parametrit:

- havaitut vedenkorkeudet
- havaittu virtaus
- havaitut pintalämpötilan ja suolapitoisuuden aikasarjat
- havaitut CTD-mittaukset.

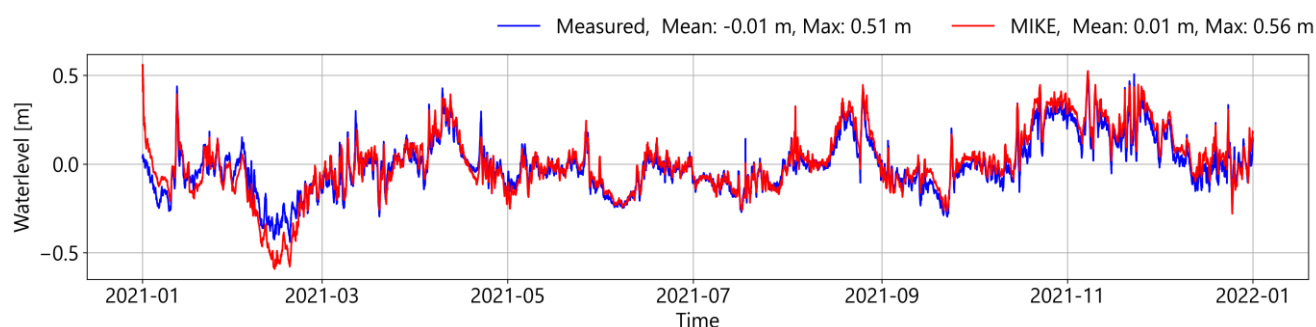
Lisäksi hankealueelta syyskuussa 2022 kerätyt ADCAP- ja CTD-mittaukset analysoidaan erikseen.

7.5.1. Vedenkorkeudet

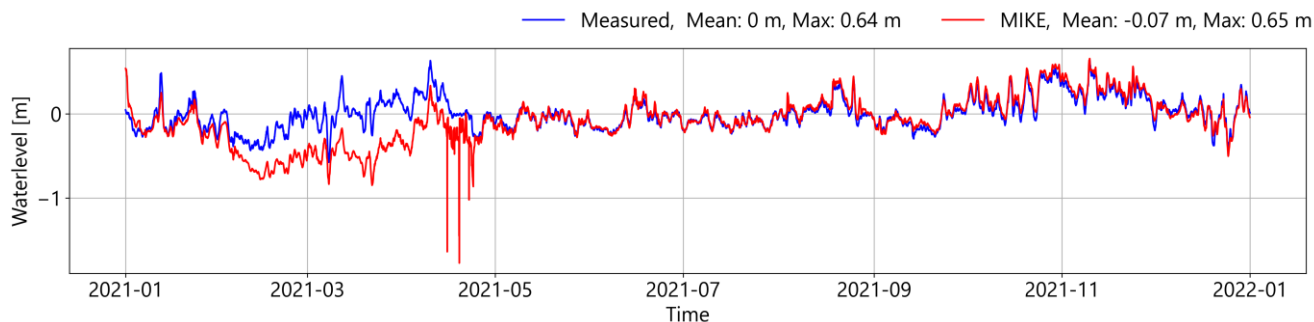
Laskettujen vedenkorkeuksien visuaalinen vertailu vuonna 2021 havaittuihin vedenkorkeuksiin (Kuva 7.3–Kuva 7.5) sekä kaikkien asemien kokonaiskatsaus liitteessä Appendix 14 osoittavat, että vastaavuus on hyvä kaikkien asemien osalta toukokuun puolivälistä marraskuun puoliväliin korrelaatiokertoimien vaihdella välillä 0,88–0,95 (heinäkuu, Appendix 14) ja 0,89–0,97 (syyskuu, Appendix 14).

Laskettujen ja mitattujen vedenkorkeuksien välinen vastaavuus lounaisilla asemilla FORSMARK (Kuva 7.3), BÖNAN SJÖV LJUSNE SJÖV, SPIKARNA ja SKAGSUDDE SJÖV (ks. Appendix 14) on verrattain hyvä koko vuoden ajan korrelaatiokertoimilla 0,93–0,95 (Taulukko 7-1), kun taas muilla asemilla havaitaan alhaisempia korrelaatiokertoimia.

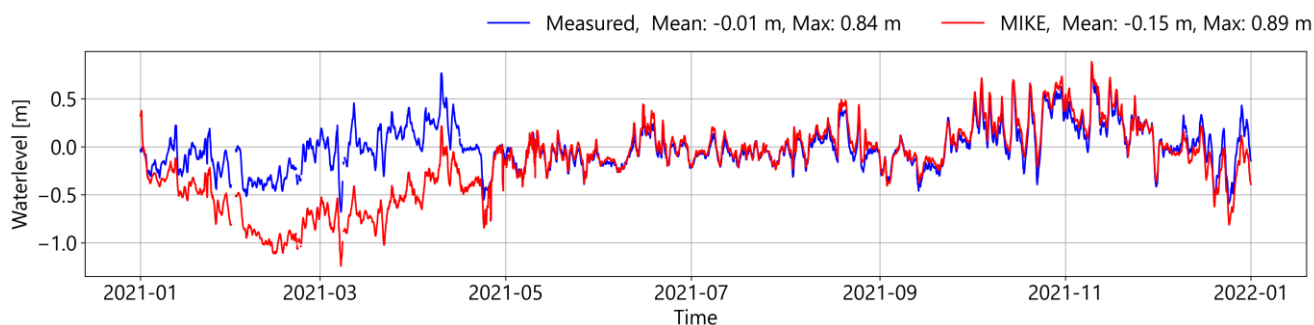
Visuaalinen vertailu (Appendix 14) paljastaa, että malli aliarvioi vedenkorkeuden joulou-toukokuussa. Mitä kauempana pohjoisessa tai idässä asema sijaitsee, sitä selvempi ero on. Esimerkiksi RATAN-aseman maaliskuussa laskettujen vedenkorkeuksien keskimääräinen virhe oli -0,49 metriä (Kuva 7.4), kun taas KALIX-KARLSBORG SJÖV -asemalla (Kuva 7.5) se oli -0,73 metriä (ks. Appendix 14). Kuten jääpeitteisten asemien (Kuva 6.23 ja Kuva 6.24) sijainnin vertailu osoittaa, mallissa on korrelaatio jääpeitteen ja alhaisen vedenkorkeuden välillä mittauksiin verrattuna (koska ero esiintyy pääasiassa asemilla ja ajanjaksolla, jolloin jääpeite on dokumentoitu). Aliarviointi selittyy sillä, että jään paksuus ei sisälly MIKEN vedenkorkeuteen.



Kuva 7.3: FORSMARKin (SMHI:n asema) havaitun mMSL:ssä mitatun vedenkorkeuden (sininen viiva) ja mallinnetun vedenkorkeuden (punainen viiva) välinen vertailu.



Kuva 7.4: RATANin (SMHI:n asema) havaitun mMSL:ssä mitatun vedenkorkeuden (sininen viiva) ja mallinnetun vedenkorkeuden (punainen viiva) välinen vertailu.



Kuva 7.5: KALIX-KARLSBORG SJÖVin (SMHI:n asema) havaitun mMSL:ssä mitatun vedenkorkeuden (sininen viiva) ja mallinnetun vedenkorkeuden (punainen viiva) välinen vertailu.

Taulukko 7-1: HD-mallin suorituskykymittarit vedenkorkeuksien osalta (vuonna 2021)

Nimi	ME [m]	MAE [m]	RMSE [m]	Jäännösten vakio [m]	Korrelaatiokertoimet [-]
FORSMARK	0,01	0,05	0,06	0,06	0,95
BÖNAN SJÖV	-0,01	0,04	0,06	0,06	0,95
LJUSNE SJÖV	-0,02	0,05	0,07	0,06	0,94
SPIKARNA	-0,01	0,04	0,06	0,06	0,95
SKAGSUDDE SJÖV	-0,03	0,06	0,09	0,08	0,93
Holmsund	-0,07	0,10	0,17	0,15	0,82
RATAN	-0,08	0,12	0,20	0,19	0,73
FURUÖGRUND	-0,16	0,20	0,32	0,28	0,66
STRÖMÖREN SJÖV	-0,20	0,24	0,36	0,30	0,66
KALIX-KARLSBORG SJÖV	-0,15	0,20	0,32	0,28	0,68
Kemi Ajos	-0,09	0,18	0,27	0,25	0,69
Oulu Toppila	-0,11	0,20	0,28	0,25	0,69
Raahe Lapaluoto	-0,07	0,16	0,25	0,24	0,68
Pietarsaari Leppäluoto	-0,06	0,12	0,20	0,19	0,77

7.5.2. Virtaus

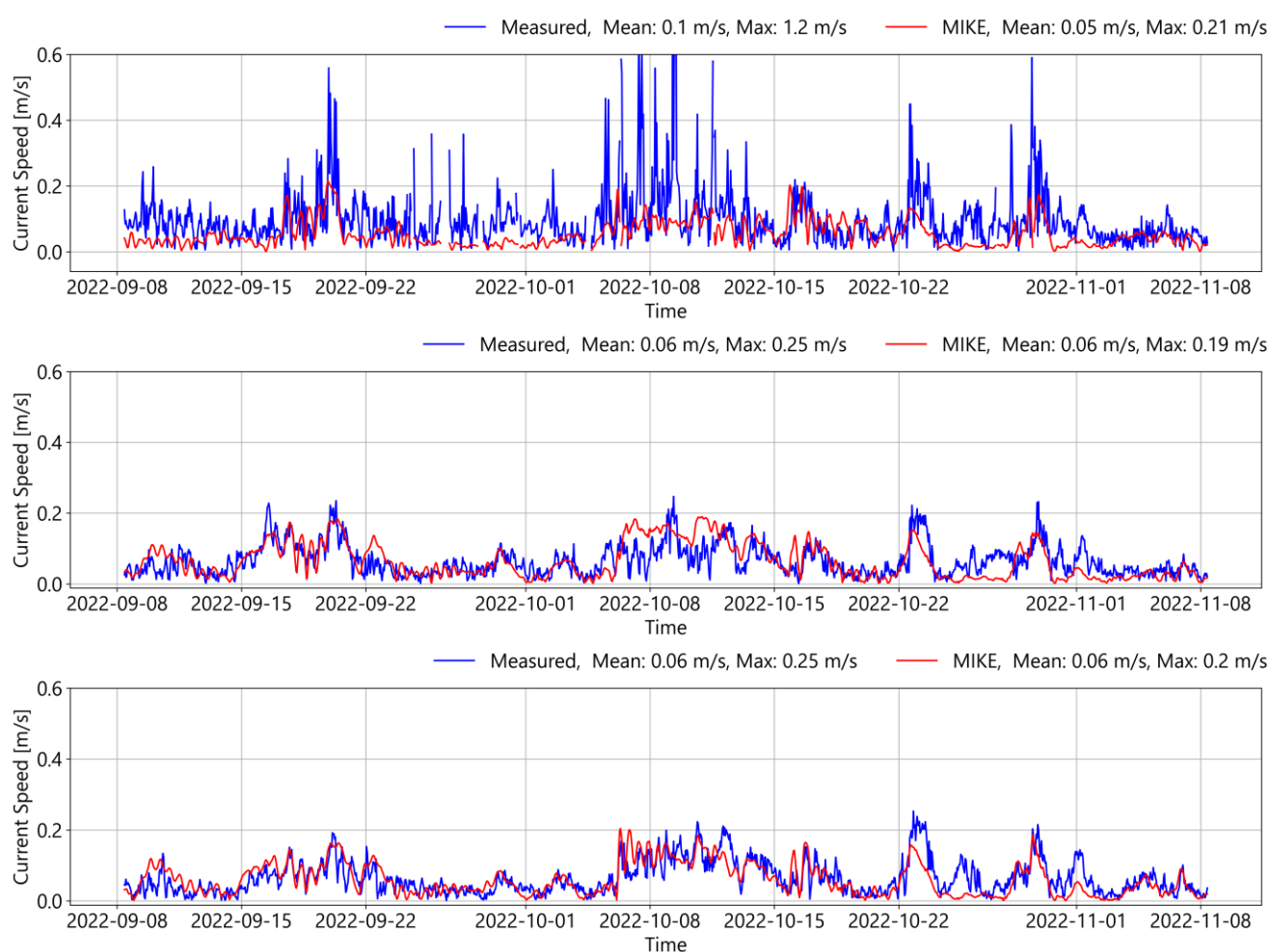
Koska julkinen mittausasema ei sijaitse optimaalisesti (avoimen mallirajan välittömässä läheisyydessä (Understen BS) tai rannikolla (NORRBYN BOY)), mallinnettuja virtauksia verrataan vain tuulivoimapuistoalueen mittauksiin (OX2:n ADCP-mittaukset syyskuussa 2022).

7.5.2.1. Vuoden 2022 ADCP-mittaukset

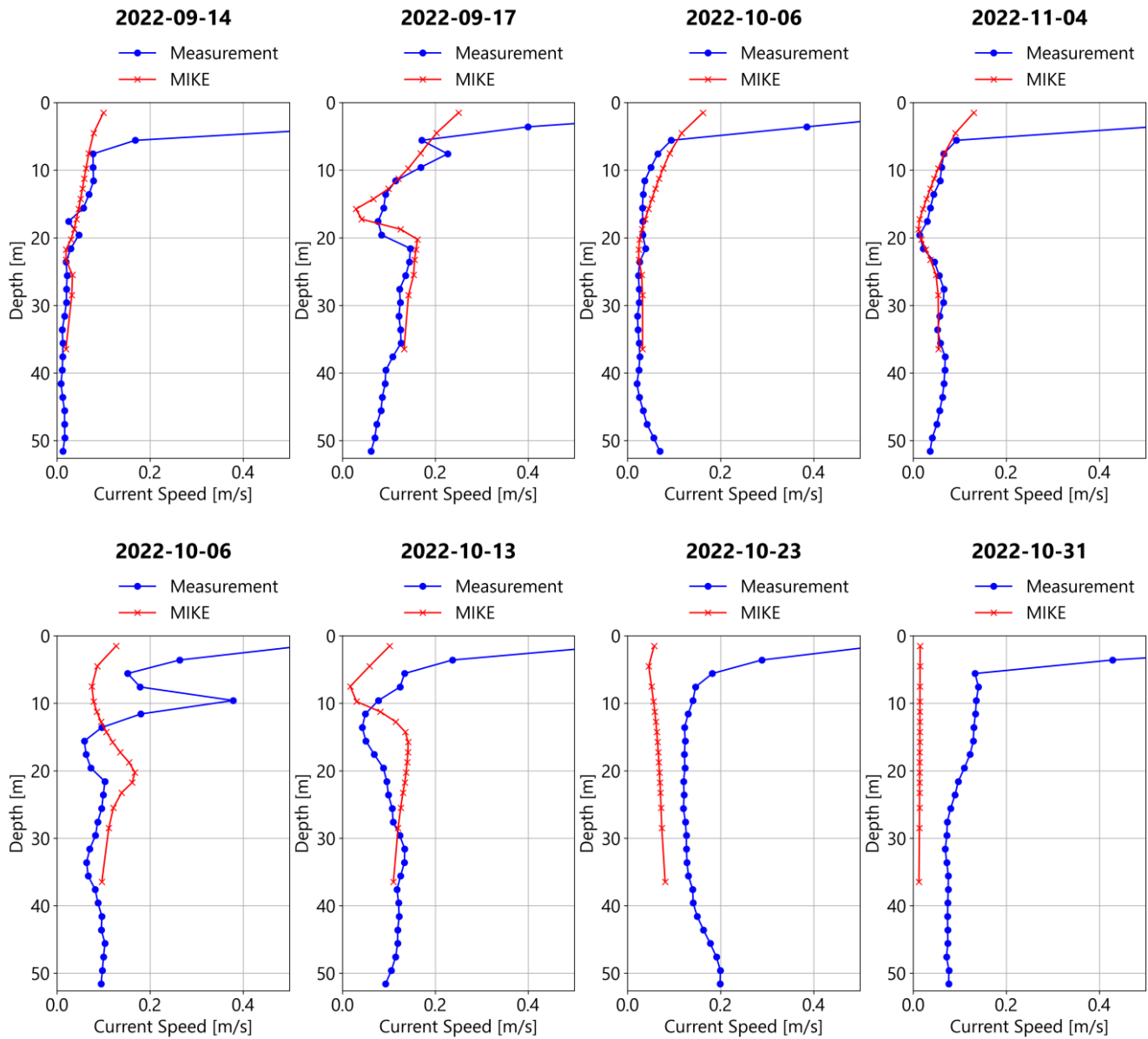
Mallinnettujen virtausten vertailua ADCAP-mittauksiin hankealueen ulkolaidalla käsitellään syyskuun 2022 tietojen avulla. Koska aallot vaikuttavat nopeusmittauksen aikana ylemmissä vesikerroksissa (vertaa luvun 6.3.2.2 selityksiä), laskettuja ja mitattuja nopeuksia verrataan vain 15 metrin syvyydestä.

Nopeus: Ylemmissä vesikerroksissa mitattuja virtausnopeuksia (vrt. pystyprofiilit Kuva 7.7 ja Appendix 15) ei voida toistaa, koska aallot näyttävät vaikuttavan niihin. Mallinnettujen virtausnopeuksien vastaavuus kasvaa kuitenkin syvyyden kasvaessa (Kuva 7.6 ja Appendix 15).

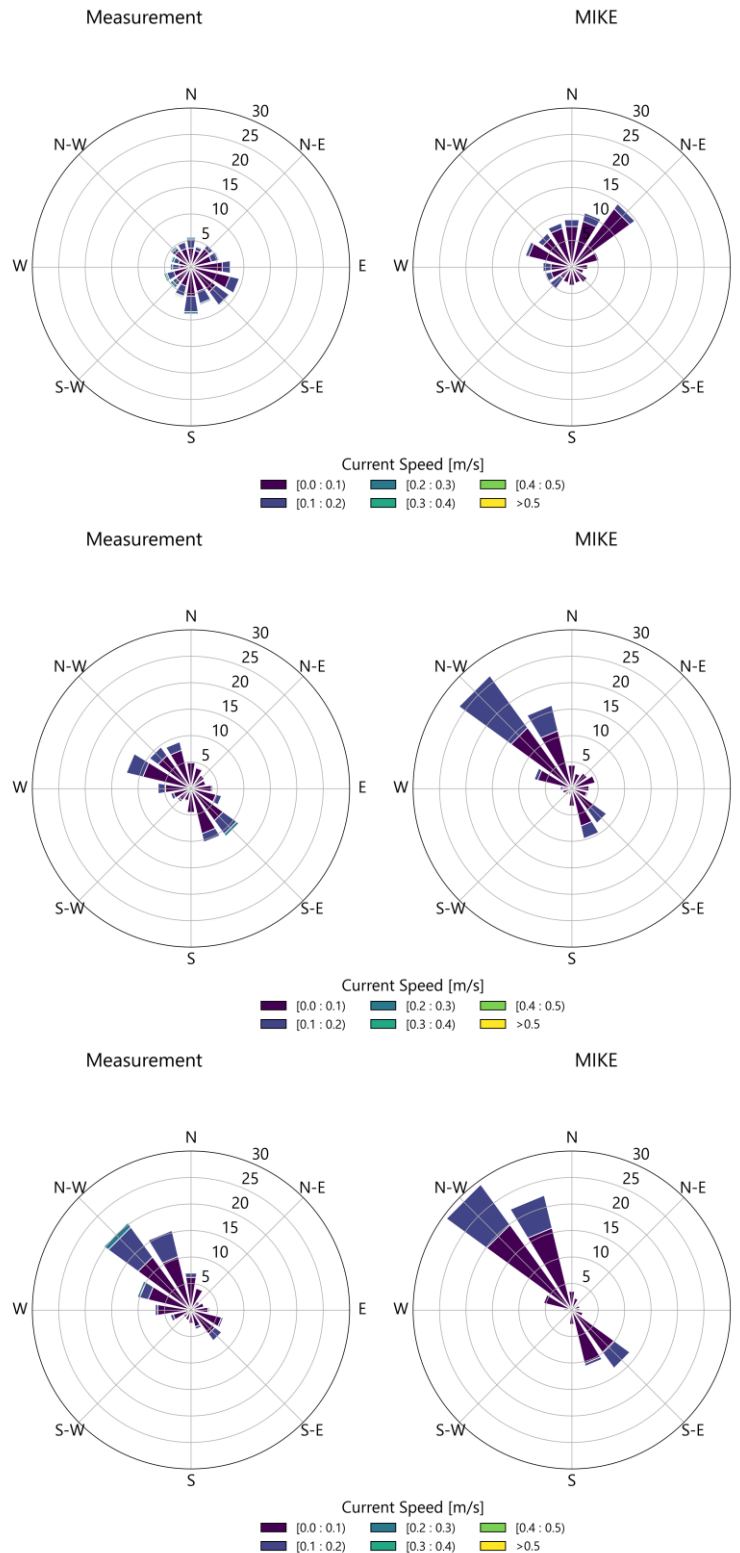
Suunta: Mallinnettujen ja havaittujen virtaussuuntien (Kuva 7.8 ja Appendix 15) vertailu osoittaa, että syvyydestä riippuva erilainen virtausjakauma voidaan pääosin toistaa mallilla.



Kuva 7.6: Havaittujen (siniset viivat) ja mallinnettujen (punaiset viivat) virtausnopeuksien vertailu 9, 21 ja 35 metrin syvyydessä (ylhäältä alas) Halla 1:ssä.



Kuva 7.7: Pystyprofieileja, joissa verrataan havaittuja (sinisiä viivoja) ja mallinnettuja (punaisia viivoja) vaakasuuntaisen virtauksen nopeuksia Halla 1:ssä (yläriin esimerkeissä näkyy hyvä vastaavuus, kun taas alarivin esimerkkien nopeuksissa on merkittävä ero).



Kuva 7.8: Virtauskuviot, jotka edustavat MIKE:n (oikealla) mallintamien havaittujen virtausten (vasemmalla) sekä virtaussuuntien ja -nopeuksien jakaumaa 9, 21 ja 35 metrissä (ylhäältä alas) Halla 1:ssä.

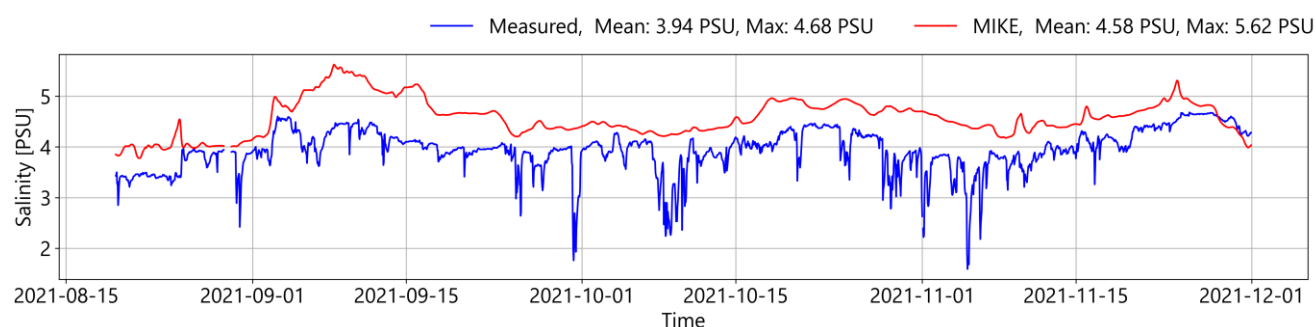
7.5.3. Suolapitoisuus

Mallin suorituskky suhteessa suolapitoisuuden ajalliseen kehitykseen esitetään NORRBYN BOJ- ja Understen BS -asemilla käytettävissä olevien mittaustietojen perusteella (ks. sijainnit Kuva 6.4). Malli yleensä aliarvioi suolapitoisuuden eteläisellä Understen BS -asemalla (Kuva 7.10, keskimääräinen virhe -0,49 PSU, ks. Taulukko 7-2) ja yliarvioi pohjoisella NORRBYN BOJ -asemalla (Kuva 7.9, keskimääräinen virhe +0,64 PSU, ks. Taulukko 7-2). Perämeren suolapitoisuuden yliarviointi näkyy myös SMHI:n Itämeri-mallin aineistossa. (Copernicus, Baltic Sea Physics Analysis and Forecast, 2x2km, 2022)

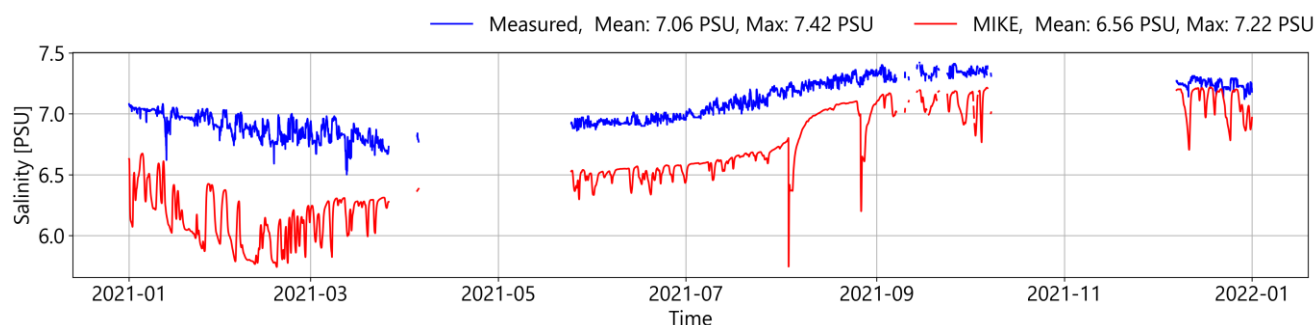
Ajallisesti puutteellisten mittaustietojen ja mittauspaikkojen harvan alueellisen jakauman vuoksi vertailun merkitys on rajallinen, ja CTD-mittausten suuren määrän vuoksi näiden kahden aseman suolapitoisuuden ajallista kehitystä koskevasta yksityiskohtaisesta analyysistä luovutaan.

Taulukko 7-2: HD-mallin suorituskkyymittarit suolapitoisuuden osalta (vuonna 2021, kun otetaan huomioon käytettävissä olevat mittausjaksot).

Nimi	ME [PSU]	MAE [PSU]	RMSE [PSU]	Jäännösten vakio [PSU]	Korrelaatiokertoimet [-]
NORRBYN BOJ	0,64	0,65	0,75	0,40	0,51
Understen BS	-0,49	0,49	0,56	0,26	0,87



Kuva 7.9: NORRBYN BOJ -aseman (SMHI:n asema) havaitun suolapitoisuuden (sininen viiva) ja mallinnetun suolapitoisuuden (punainen viiva) välinen vertailu.



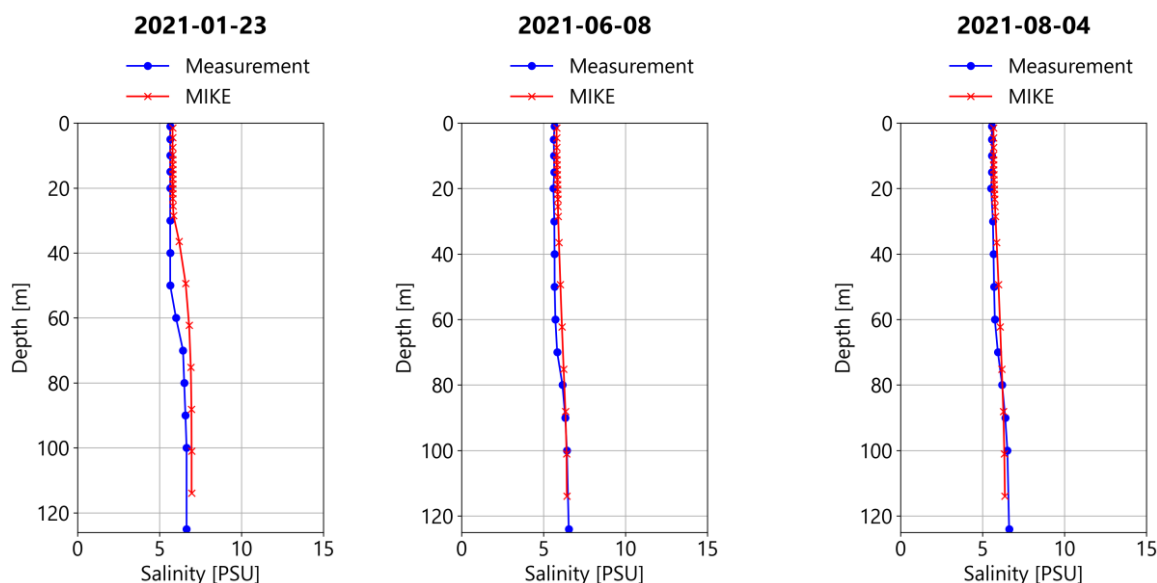
Kuva 7.10: Understen BS -aseman (SMHI:n asema) havaitun suolapitoisuuden (sininen viiva) ja mallinnetun suolapitoisuuden (punainen viiva) välinen vertailu.

7.5.4. Suolapitoisuusprofiilit

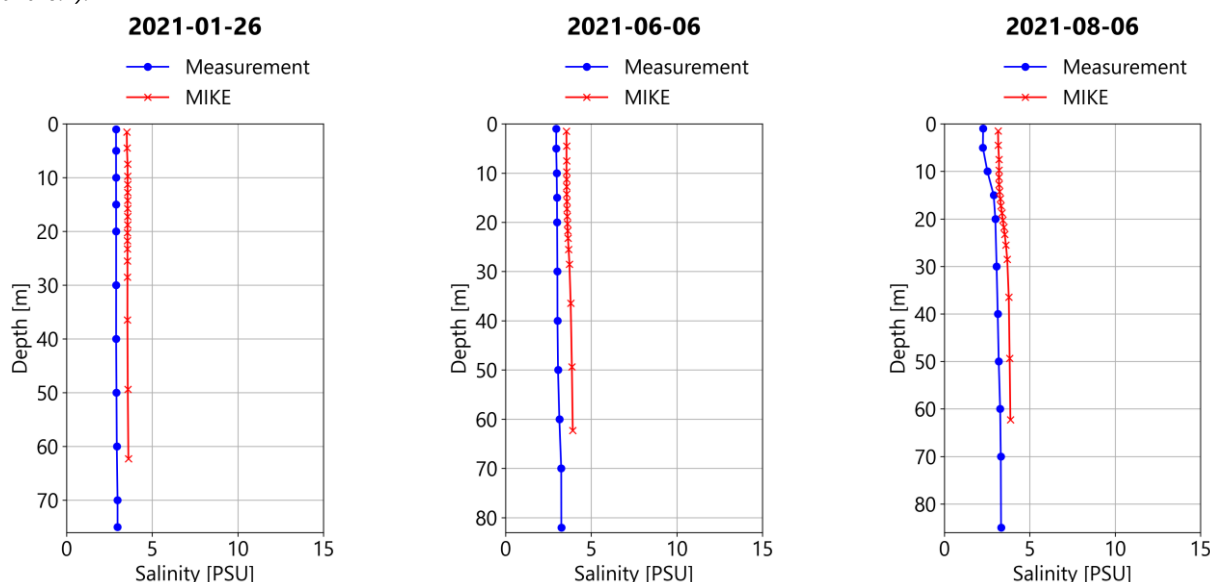
Vertailua CTD-mittauksiin vuoden 2021 julkisesti saatavilla olevien mittausten ja OX2:n hankealueella syyskuussa 2022 kirjaamien profiilien osalta käsitellään erikseen.

7.5.4.1. Julkisesti saatavilla olevat tiedot vuodelta 2021

Laskettujen ja mitattujen suolapitoisuutta koskevien pystyprofiilien (Kuva 7.11 ja Kuva 7.12 sekä kuvat liitteessä Appendix 16) vertailu osoittaa, että suurin osa profileista vastaa hyvin toisiaan. Kesää kohti tapahtuva lievä kerrostuminen voidaan toistaa mallilla. MIKE-malli on taipuvainen kuitenkin yliarvioimaan suolapitoisuuden pohjoisen mittauspisteissä ja syvyyden kasvaessa (esim. vertaa Kuva 7.11 (sijaitsee etelässä) vs. Kuva 7.12 (sijaitsee pohjoisessa)).



Kuva 7.11: Mallinnettujen ja mitattujen suolapitoisuusprofiilien välinen vertailu sijainnissa SR5 (lähde: merihavainnot.fi, sijainti ks. Kuva 6.4).

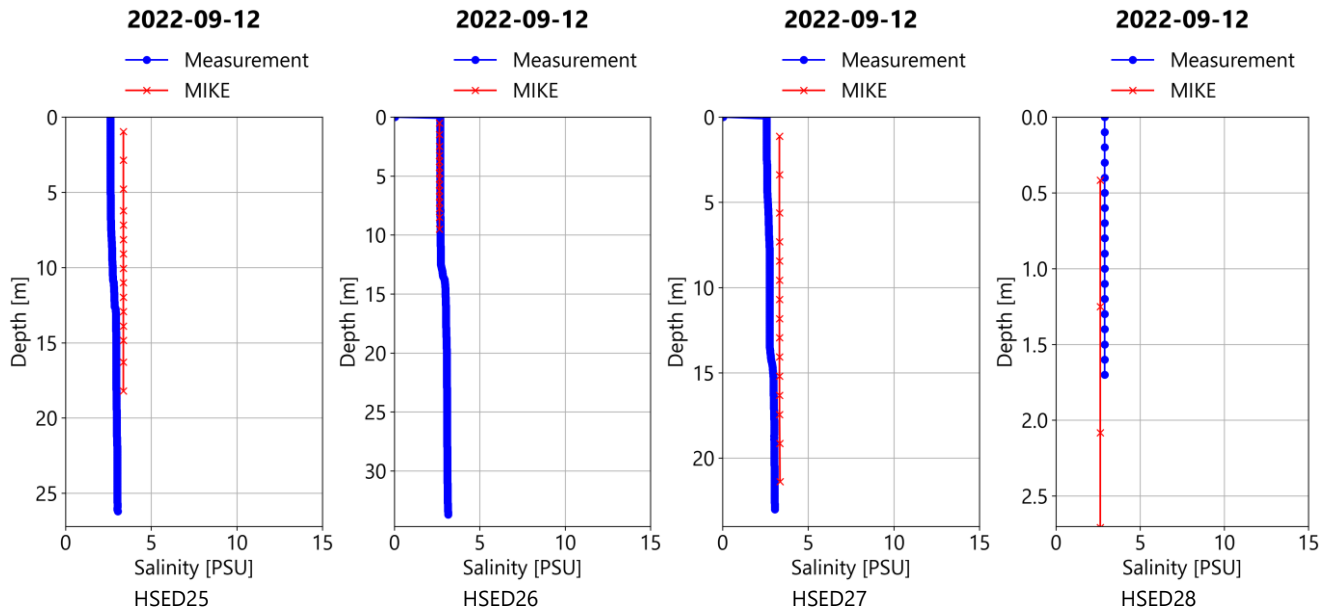


Kuva 7.12: Mallinnettujen ja mitattujen suolapitoisuusprofiilien välinen vertailu sijainnissa F2 (lähde: merihavainnot.fi, sijainti ks. Kuva 6.4).

7.5.4.2. Mittaukset OX2:sta vuonna 2022

Mallin laadun arvioimiseksi hankealueen ulkolaidan pystysuuntaisen suolapitoisuuden jakauman osalta käytettävissä on 42 profiilia (kirjattu syyskuussa 2022), joita verrataan mallinnettuihin profiileihin (ks. Appendix 17).

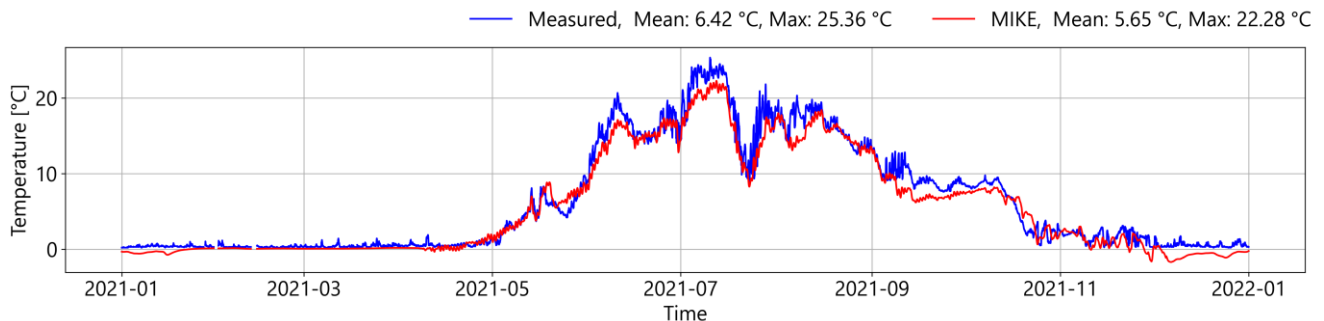
Mallilla ei voida toistaa syyskuussa 2022 mittauskampanjassa noin 23 paikassa dokumentoitua vähäistä suolapitoisuuden kerrostumista (pinnalla alhaisemmat suolapitoisuudet). Mallinnettujen profiilien suolapitoisuuden suuruus on kuitenkin yhdenmukainen mittausten suolapitoisuuden kanssa (ks. esim. Appendix 17).



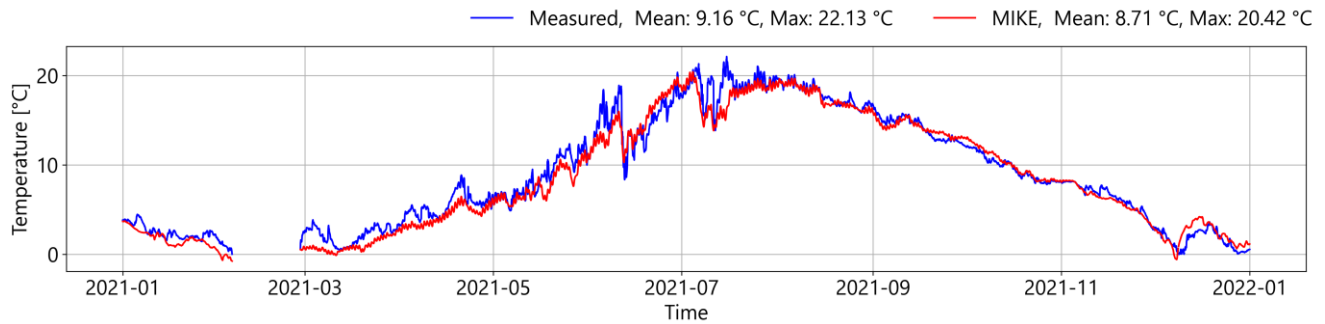
Kuva 7.13: Mallinnettujen ja mitattujen suolapitoisuusprofiilien välinen vertailu 12. syyskuuta 2022 (lähde: OX2).

7.5.5. Veden lämpötila

MIKE-mallin arvioimiseksi pintalämpötilan osalta on käytettävissä 17 mittausasemaa (Kuva 7.14 ja Kuva 7.15 sekä Appendix 18). Mallilla lasketut pintalämpötilat, joiden korrelaatiokertoimet ovat välillä 0,91–0,99 ja keskimääräinen virhe -2,4...+1,2° (Taulukko 7-3, Kuva 7.14 ja Kuva 7.15), vastaavat hyvin (osittain epätäydellisiä) mitattuja arvoja alueellisesta sijainnista ja vuodenajasta riippumatta.



Kuva 7.14: Pintaveden havaitun lämpötilan (sininen viiva) ja mallinnetun lämpötilan (punainen viiva) välinen vertailu KALIX-KARLSBORG SJÖV -asemalla (SMHI:n asema).



Kuva 7.15: Pintaveden havaitun lämpötilan (sininen viiva) ja mallinnetun lämpötilan (punainen viiva) välinen vertailu FORSMARK-asemalla (SMHI:n asema).

Taulukko 7-3: HD-mallin suorituskykykymittarit pintalämpötilan osalta (vuonna 2021)

Nimi	ME [°C]	MAE [°C]	RMSE [°C]	Jäännösten vakio [°C]	Korrelaatiokertoimet [°C]
FORSMARK	-0,45	0,85	1,17	1,08	0,99
BÖNAN SJÖV	0,10	1,11	1,43	1,43	0,98
FINNGRUNDET WR BOJ	0,82	1,04	1,37	1,10	0,98
LJUSNE SJÖV	-0,23	1,02	1,57	1,56	0,98
NORRBYN SST	-0,05	1,91	2,63	2,63	0,94
NORRBYN BOJ	0,86	1,08	1,23	0,88	0,97
Holmsund	-2,26	2,29	2,55	1,18	0,99
STRÖMÖREN SJÖV	-0,38	1,88	2,12	2,08	0,98
KALIX-KARLSBORG SJÖV	-0,77	1,04	1,41	1,19	0,99
Oulu Santapankki	0,27	0,77	0,97	0,93	0,99
Perämeri aaltopoiju	1,15	1,47	1,74	1,31	0,97
Kalajoki Maakalla	1,05	1,70	2,14	1,86	0,93
Maalahti Storskäret	0,80	1,15	1,32	1,05	0,98
Selkämeri aaltopoiju	0,64	1,07	1,50	1,36	0,98
Pori Kaijakari	0,34	1,52	2,12	2,10	0,91
Uusikaupunki Vekara	0,26	1,19	1,56	1,54	0,94

7.5.6. Lämpötilaprofiilit

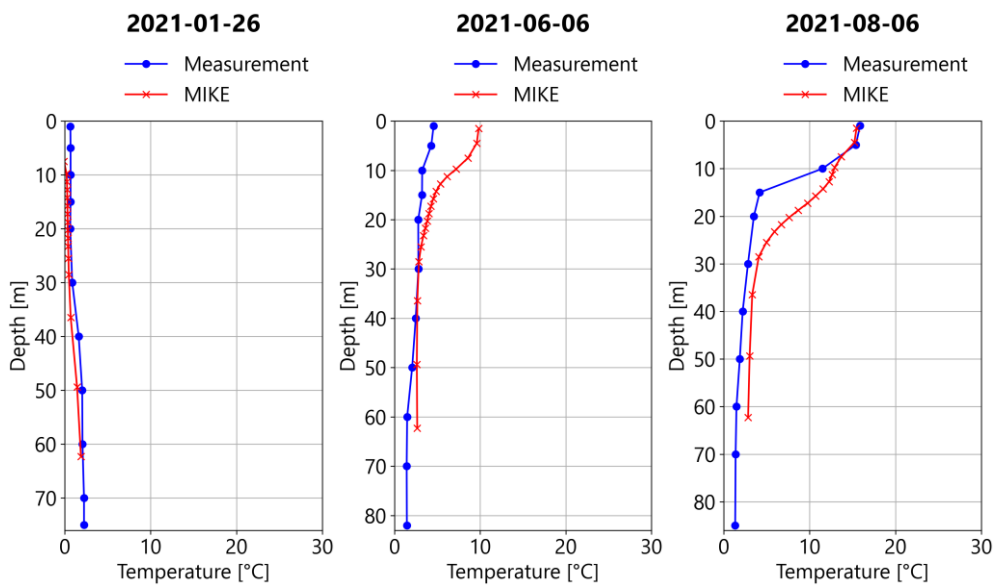
Vertailua CTD-mittauksiin käsitellään erikseen julkisesti saatavilla olevien mittausten osalta vuodelta 2021 ja OX2:n hankealueella syyskuussa 2022 kirjaamien profiilien osalta.

7.5.6.1. Julkisesti saatavilla olevat tiedot vuodelta 2021

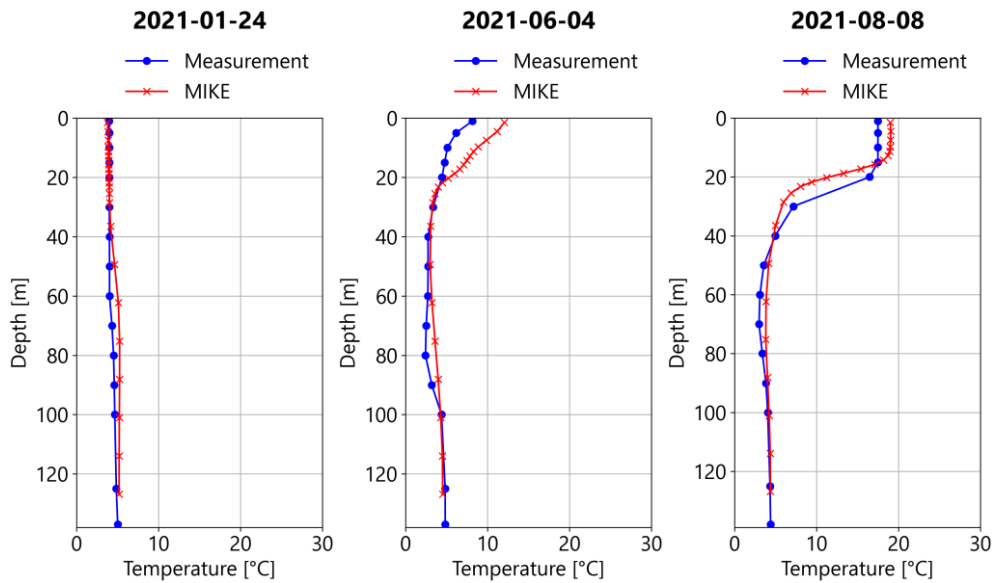
Sen lisäksi, että yli 60 mallinnetun ja mitatun lämpötilan pystyprofiilin vertailu (Appendix 19) osoittaa mallin kyvyn toistaa Pohjanlahden veden lämpötilan ajallinen kehitys, siitä käy ilmi myös se, että pystyprofiilit toistuvat

yleisesti tyydyttävästi. Mallinnettujen ja mitattujen profiilien yleisestä hyvästä vastaavuudesta huolimatta mallissa voidaan havaita seuraavat rajoitukset:

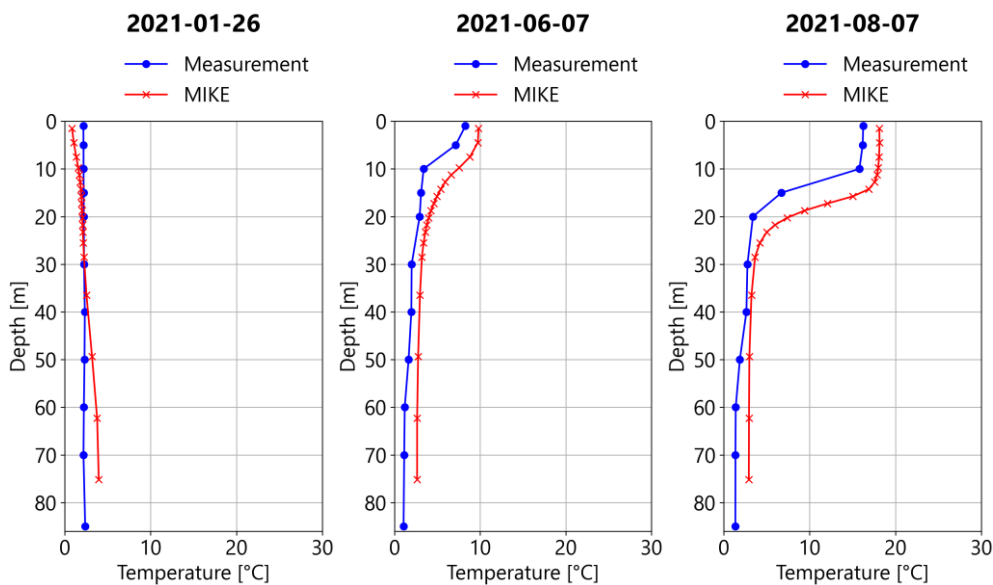
- kerrostuneisuuden yliarviointi (ts. ylempien vesikerrosten lämpenemisen yliarviointi, seoksen aliarviointi) kesäkuussa noin kahdeksalla asemalla (esim. F26, MS3, F18, BO3, RR3, CV, CVI ja F2 (esim. Kuva 7.16 ja Kuva 7.17))
- elokuussa lämpenevän veden syvyyden aliarviointi (vaikuttaa pääasiassa eteläisiin kohteisiin, esim. MS6)
- elokuussa lämpenevän veden syvyyden yliarviointi (vaikuttaa pääasiassa pohjoisiin kohteisiin, esim. US7, CV (Kuva 7.18) ja RR7).



Kuva 7.16: Mallinnettujen ja mitattujen lämpötilaprofiilien välinen vertailu sijainnissa F2 (lähde: merihavainnot.fi, sijainti ks. Kuva 6.4).



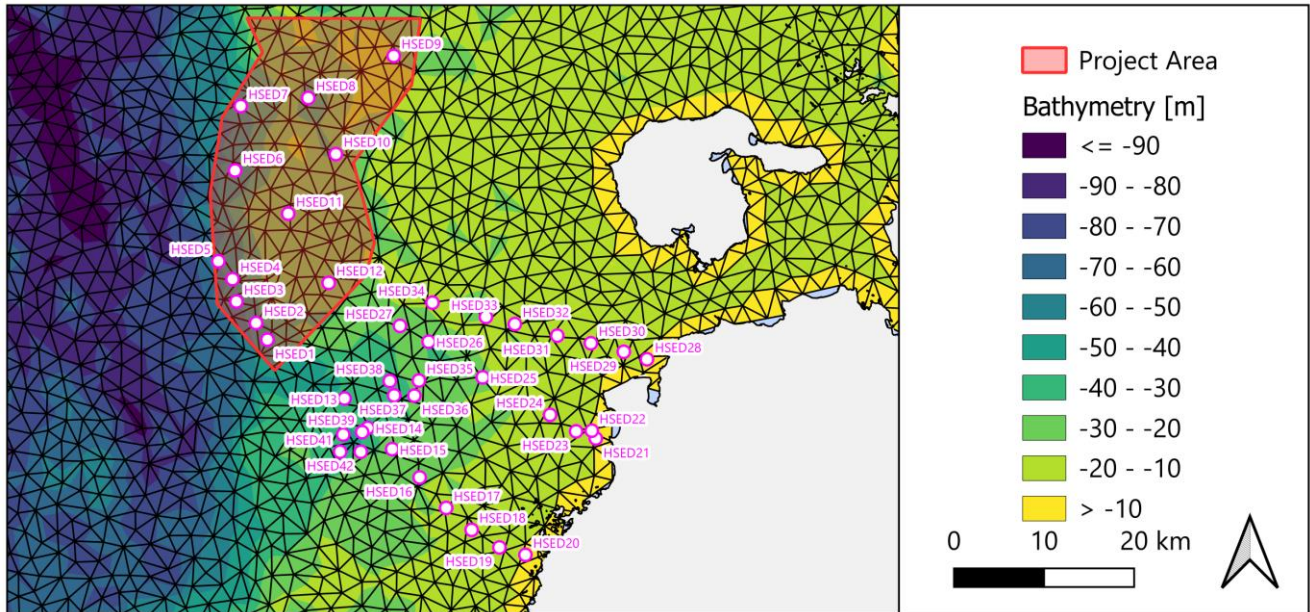
Kuva 7.17: Mallinnettujen ja mitattujen lämpötilaprofiilien välinen vertailu sijainnissa F26 (lähde: merihavainnot.fi, sijainti ks. Kuva 6.4).



Kuva 7.18: Mallinnettujen ja mitattujen lämpötilaprofiilien välinen vertailu sijainnissa CV (lähde: merihavainnot.fi, sijainti ks. Kuva 6.4).

7.5.6.2. Mittaukset OX2:lta vuonna 2022

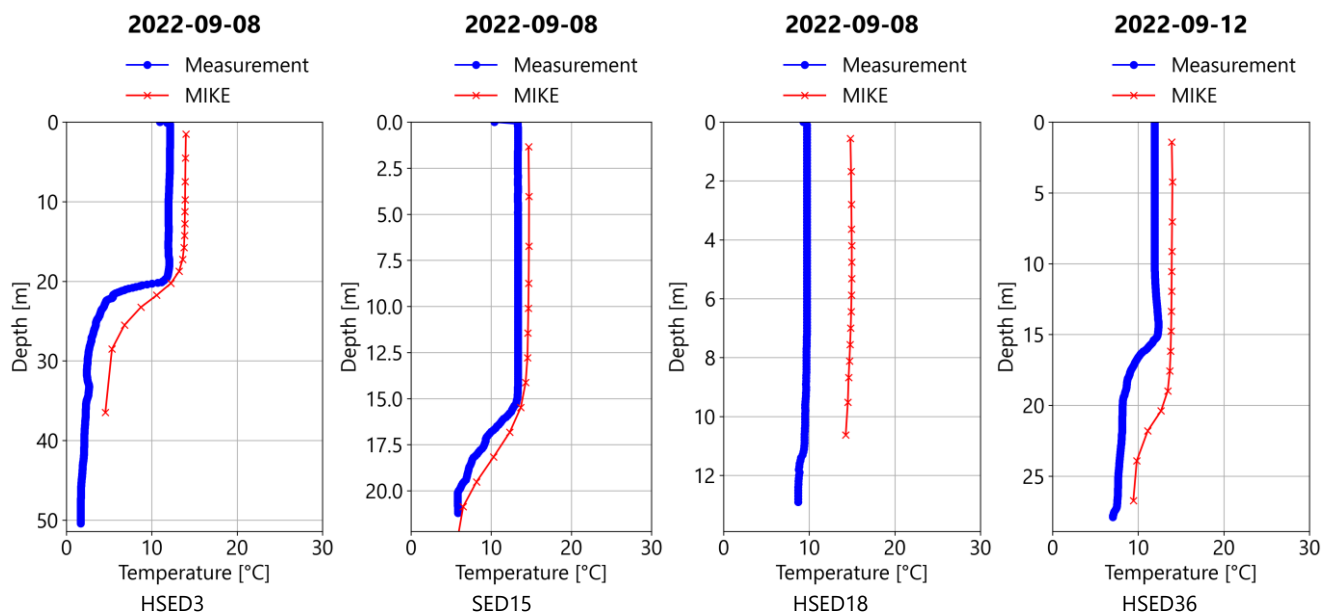
Sijainnista riippuen (Kuva 7.19) mitatut lämpötilaprofiilit esittävät erilaisia kuvioita (Kuva 7.20 ja Appendix 20). On huomattava, että mallin laatua arvioidaan karkean verkon perusteella (Kuva 7.19). Pienen mittakaavan prosesseja, joihin mitattujen CTD-profiilien suuri tiheys voi vaikuttaa, ei toisteta karkean verkkoresoluution vuoksi.



Kuva 7.19: Yksityiskohtainen kartta OX2:n CTD-mittauskohteista taustalla verkko. Käytetään alueellisessa mallissa (batymetrinen tietojen lähde (EMODnet, Bathymetry, 2023)).

Mitattujen ja laskettujen profiilien vertailusta käyvät ilmi seuraavat seikat:

- Profiilit 6, 11 ja 15 sijaitsevat vesissä, joiden syvyys on yli 20 metriä. Niissä näkyy kirkas termokliini, joka voidaan toistaa hyvin mallilla.
- Profiilit 18–29 sijaitsevat lähellä rannikkoa matalissa vesissä, joissa malli yleensä yliarvioi lämpötilan.
- Muiden profiilien osalta mallilla on taipumus yliarvioida pintalämpötila ja termokliinin syvyys.



Kuva 7.20: Esimerkkejä mallinnettujen (punainen) ja mitattujen (sininen) lämpötilaprofiilien välisestä vertailusta vuonna 2022 (lähde: OX2). Huomaa, että punaisilla viivoilla olevat rastit edustavat mallin yksittäisten kerrosten keskipisteitä. Veden kokonaissyvyys on siis hieman syvempi kuin kuvissa.

7.5.7. Yhteenveto – mallin todentaminen

Kokonaiskuva osoittaa, että malli pystyy toistamaan vedenkorkeuden, virtauksen, suolapitoisuuden ja lämpötilan eri vuodenaikoina sekä vaaka- että pystysuunnassa tasolle, jolla malli on linjassa mitattujen tietojen ja siten asiaankuuluvien prosessien kanssa arvioitaessa hankkeen vaikutuksia hydrografiaan.

8. Sedimentin leviämismalli

Sedimenttimallin syöttötiedot kuvataan tämän luvun kolmessa ensimmäisessä osassa ja mallin tulokset kahdessa viimeisessä osassa.

8.1. Sedimenttilähteet ja kulkeutumisennuste

8.1.1. Tuulivoimapuistoalue

Tuulivoimapuistoalueella tarkastellaan kahta tapausta (15 MW ja 20 MW), joissa kummassakin on neljäntyyppisiä lähteitä:

- 1) Painovoimaan perustuvien alusrakenteiden ja merisähköasemien ruoppaus ruoppauskapasiteetin ollessa 1000 m³/tunti ja 5 % vuodosta levinnyt juuri merenpohjan yli (vapautunut 2 metriä merenpohjan yläpuolelle). Karkea sedimenttifraktio laskeutuu Painovoimaperustus-rakenteen (Gravity Base Structure eli WTG ja OSS) viereen, ja hienorakeisempi kulkeutuu ympäröiviin vesiin.
- 2) 10 % kaikista ruopatuista sedimenteistä oletetaan valuvan yli proomusta ja vapautuvan pintaan sekä kulkeutuvan ympäröiviin vesiin.
- 3) 30 % vuotaa, kun proomu sijoittaa sedimentin läjitysalueen yläpuolella olevalle pinnalle.
- 4) Yhdyskaapelin upottaminen Vesipainepuhalluksella 1,5 x 2 metrin kaivantoon, jossa kaikkien hienorakeisten sedimenttien oletetaan suspendoituvan ja vapautuvan 2 metriä merenpohjan yläpuolelle.

Tarkasteltavat kaksi tapausta:

- 1) 15 MW:n tapaus, jossa jokainen 160 WTG:stä voi tuottaa 15 MW ja painovoimaperustuksessa on pohjalaatta, jonka halkaisija on 45 metriä, jolloin kaivamista on 12 723 m³ kutakin painovoimaperustusestakohden.
- 2) 20 MW:n tapaus, jossa jokainen 120 WTG:stä voi tuottaa 20 MW ja painovoimaperustuksessa on pohjalaatta, jonka halkaisija on 52 metriä, jolloin kaivamista on 16 990 m³ kutakin painovoimaperustusestakohden.

Merisähköasemien sijoittelut ovat samat kummassakin tapauksessa.

Kummankin tapauksen asennusohjelmat on kuvattu kohdissa Taulukko 8-1 ja Taulukko 8-2 alkaen painovoimaperustuksen ja merisähköasemien ruoppauksesta sekä perustusten rinnakkaisasennuksesta ja voimaloiden välisten kaapeleiden (IAC) asettamisesta.

Taulukko 8-1: 15 MW:n tapauksen asennusohjelma, joka alkaa 1. toukokuuta ja päättyy 25 viikkoa myöhemmin eli 18. lokakuuta.

Setup, Activity	Amount	Unit	Capacity	Unit	Days	Start	End
1 OSS, dredging	458044	m3	1000	m3/hour+0.5 day/OSS	22	01/05/2030	23/05/2030
1 OSS, dumping	389338	m3	1000	m3/hour+0.5 day/OSS	19	01/05/2030	23/05/2030
1 OSS, installation	6	#	3.00	days/(FOU, ballast, scour protection+topside)	18	01/05/2030	19/05/2030
1 GBS installation	80	#	1.875	days/FOU + 0.25 day/FOU	170	01/05/2030	18/10/2030
1 GBS seabed preparation	1017876	m3	1000	m3/hour + 0.5 day/FOU	82	01/05/2030	22/07/2030
1 GBS dumping	865195	m3	1000	m3/hour + 0.5 day/FOU over 30 min.	82	01/05/2030	22/07/2030
1 Infield cable, laying + pull in	152681	m	300	m/hour + 6 hours/pull in	41	06/09/2030	18/10/2030
1 Infield cable, burial	152681	m	150	m/hour + 6 hours/WTG	62	16/08/2030	18/10/2030
2 GBS installation	80	#	1.875	days/FOU + 0.25 day/FOU	170	01/05/2030	18/10/2030
2 GBS seabed preparation	1017876	m3	1000	m3/hour + 0.5 day/FOU	82	01/05/2030	22/07/2030
2 GBS dumping	865195	m3	1000	m3/hour + 0.5 day/FOU over 30 min.	82	01/05/2030	22/07/2030
2 Infield cable, laying + pull in	152681	m	300	m/hour + 6 hours/pull in	41	06/09/2030	18/10/2030
2 Infield cable, burial	152681	m	150	m/hour + 6 hours/WTG	62	16/08/2030	18/10/2030

Taulukko 8-2: 20 MW: n tapauksen asennusohjelma, joka alkaa 1. toukokuuta ja päättyy 18 viikkoa myöhemmin eli 5. syyskuuta.

Setup, Activity	Amount	Unit	Capacity	Unit	Days	Start	End
1 OSS, dredging	458044	m3	1000	m3/hour+0.5 day/OSS	22	01/05/2030	23/05/2030
1 OSS, dumping	389338	m3	850	m3/hour+0.5 day/OSS	22	01/05/2030	23/05/2030
1 OSS, installation	6	#	3.00	days/(FOU, ballast, scour protection+topside)	18	01/05/2030	19/05/2030
1 GBS installation	60	#	1.875	days/FOU + 0.25 day/FOU	128	01/05/2030	05/09/2030
1 GBS seabed preparation	1019384	m3	1000	m3/hour + 0.5 day/FOU	72	01/05/2030	12/07/2030
1 GBS dumping	866476	m3	850	m3/hour + 0.5 day/FOU over 30 min.	72	01/05/2030	12/07/2030
1 Infield cable, laying + pull in	152908	m	300	m/hour + 6 hours/pull in	36	31/07/2030	05/09/2030
1 Infield cable, burial	152908	m	150	m/hour + 6 hours/WTG	57	10/07/2030	05/09/2030
2 GBS installation	60	#	1.875	days/FOU + 0.25 day/FOU	128	01/05/2030	05/09/2030
2 GBS seabed preparation	1019384	m3	1000	m3/hour + 0.5 day/FOU	72	01/05/2030	12/07/2030
2 GBS dumping	866476	m3	850	m3/hour + 0.5 day/FOU over 30 min.	72	01/05/2030	12/07/2030
2 Infield cable, laying + pull in	152908	m	300	m/hour + 6 hours/pull in	36	31/07/2030	05/09/2030
2 Infield cable, burial	152908	m	150	m/hour + 6 hours/WTG	57	10/07/2030	05/09/2030

8.1.2. Vientikaapelit

Vientikaapelin osalta otetaan huomioon kolme pääreittiä (A, B ja C), joista sekä B:llä että C:llä on kaksi mahdollista meriläjitysaluetta. Näiden lisäksi harkitaan kahta mahdollista asennusmenetelmää:

- 1) Vesipainepuhalluskoko kaapelin pituudelta
- 2) Kaapeleiden vesipainepuhallussyvemässä vedessä kuin 15 metriä muussa ruoppauksessa.

Kohdassa Taulukko 8.3 esitetään yksityiskohtaiset tiedot kummastakin Vesipainepuhalluksesta, ja kohdassa Taulukko 8.4 yhdistetystä paalutus/ruoppaus-tilanteesta.

Taulukko 8.3: Tapaus 1, Vientikaapelin asennusohjelma.

Setup, Activity	Nos	Length	Unit	Capacity	Unit	Days	Start	End
A	10	22080	m	500	m/hour	18.4	2030-05-01	2030-05-19
Ax	10	13882	m	500	m/hour	11.6	2030-05-19	2030-05-31
B2	5	20685	m	500	m/hour	8.6	2030-06-01	2030-06-12
B2x	5	13109	m	500	m/hour	5.5	2030-06-12	2030-06-21
B1x	5	4993	m	500	m/hour	2.1	2030-06-21	2030-06-26
C2	5	17483	m	500	m/hour	7.3	2030-09-01	2030-09-11
C2x	5	18217	m	500	m/hour	7.6	2030-09-11	2030-09-21
C1x	5	3822	m	500	m/hour	1.6	2030-08-01	2030-08-05

Taulukko 8.4: Tapaus 2, Vientikaapelin asennusohjelma.

Setup, Activity	Nos	Amount	Unit	Capacity	Unit	Days	Start	End
A	10	22080	m	500	m/hour	18.4	2030-05-01	2030-05-19
Ax	10	138820	m3	500	m3/hour	115.7	2030-05-01	2030-08-24
B2	5	20685	m	500	m/hour	8.6	2030-06-01	2030-06-09
B2x	5	131090	m3	500	m3/hour	54.6	2030-06-01	2030-07-25
B1x	5	49930	m3	500	m3/hour	20.8	2030-08-01	2030-08-22
C2	5	17483	m	500	m/hour	7.3	2030-09-01	2030-09-08
C2x	5	182170	m3	500	m3/hour	75.9	2030-09-01	2030-11-15
C1x	5	38220	m	500	m/hour	15.9	2030-08-01	2030-08-16

8.2. Sedimenttityyppi

Oletetut sedimenttityypit määritellään pitkin kaapeleita 200 metrin välein ja alusrakenteissa EMODnetin kuvaamalla tavalla yhdessä hankkeessa kerättyjen sedimenttinäytteiden ja takaisinsirontanäytteen kanssa. Jokainen sedimenttityyppi yhdistetään alueellisesti sedimenttinäytteisiin ja lasketaan keskimääräinen raejakauma sedimenttityypeittäin luvussa 6.8 kuvatulla tavalla.

Sedimenttimalli on lisä hydrodynamiikkaan, joten virtaustiedot ja vedenkorkeustiedot siirretään aikavaiheittain sedimentin advektiiviseen kulkeutumiseen ja pohjan lähellä olevien sedimenttien laskeumaan/resuspensioon.

Itse sedimenttimalli sisältää seuraavat tiedot:

- 1) Sedimenttityypit jaetaan viiteen luokkaan raakokojen ja laskeutumisnopeuksien perusteella, Appendix 1.
- 2) Eroosion osalta kriittinen leikkausjännitys, esimerkiksi $0,3 \text{ N/m}^2$ (DHI/IOW Consortium, 2013).
- 3) Leviäminen sekä vaaka- että pystysuunnassa.
- 4) Kuvaus sedimenttilähteestä ajallisesti ja paikallisesti.

Mallissa käytetyt sedimenttitiedot on lueteltu liitteessä Appendix 1.

8.3. Arvioitu vuoto

Yhteensä vuodon arvioidaan olevan 15 MW:n tapauksessa $3\,194\,226 \text{ m}^3$ ja 20 MW:n tapauksessa $3\,197\,975 \text{ m}^3$, ks. Taulukko 8-5 ja Taulukko 8-6.

Taulukko 8-5: Kokonaisvuoto 15 MW:n tapauksessa.

Sediment →	coarse	fine sand	coarse silt	medium silt	fine silt	Clay	Sum
Activity ↓	m^3	m^3	m^3	m^3	m^3	m^3	m^3
Dump-OSS-15MW-bottom_1	1,613	12,247	43,828	6,834	5,831	7,505	77,858
Dump-OSS-15MW-surface_1	807	6,124	21,914	3,417	2,915	3,753	38,929
Dump-WTG-15MW-bottom_1	4,328	30,305	95,986	14,710	13,304	16,542	175,175
Dump-WTG-15MW-bottom_2	1,995	20,794	101,977	16,468	12,386	17,230	170,850
Dump-WTG-15MW-surface_1	2,164	15,152	47,993	7,355	6,652	8,271	87,587
Dump-WTG-15MW-surface_2	998	10,397	50,988	8,234	6,193	8,615	85,425
IAC-15MW_1	10,820	78,701	264,815	40,945	35,953	45,489	476,723
IAC-15MW_2	5,426	56,755	279,033	45,070	33,870	47,142	467,297
SPILL-OSS-15MW-bottom_1	476	3,610	12,919	2,014	1,719	2,212	22,949
SPILL-OSS-15MW-surface_1	951	7,220	25,837	4,029	3,437	4,424	45,899
SPILL-WTG-15MW-bottom_1	1,290	9,030	28,600	4,383	3,964	4,929	52,196
SPILL-WTG-15MW-bottom_2	594	6,196	30,386	4,907	3,691	5,134	50,907
SPILL-WTG-15MW-surface_1	2,579	18,060	57,201	8,766	7,928	9,858	104,392
SPILL-WTG-15MW-surface_2	1,189	12,392	60,771	9,814	7,381	10,268	101,815
Sum	35,230	286,982	1,122,246	176,946	145,225	191,373	1,958,002
Proportion	2%	15%	57%	9%	7%	10%	100%

Taulukko 8-6: Kokonaisvuoto 20 MW:n tapauksessa.

Sediment →	coarse	fine sand	coarse silt	medium silt	fine silt	Clay	Sum
Activity ↓	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
Dump-OSS-20MW-bottom_1	851	9,248	46,689	7,560	5,629	7,881	77,858
Dump-OSS-20MW-surface_1	426	4,624	23,345	3,780	2,815	3,940	38,929
Dump-WTG-20MW-bottom_1	4,099	29,259	95,628	14,724	13,112	16,452	173,275
Dump-WTG-20MW-bottom_2	2,234	21,917	102,634	16,501	12,618	17,371	173,275
Dump-WTG-20MW-surface_1	2,049	14,630	47,814	7,362	6,556	8,226	86,637
Dump-WTG-20MW-surface_2	1,117	10,959	51,317	8,251	6,309	8,686	86,637
IAC-20MW_1	7,470	58,375	217,011	34,004	28,524	37,093	382,478
IAC-20MW_2	5,117	52,663	255,880	41,285	31,154	43,249	429,349
SPILL-OSS-20MW-bottom_1	251	2,726	13,762	2,228	1,659	2,323	22,949
SPILL-OSS-20MW-surface_1	502	5,452	27,524	4,457	3,319	4,646	45,899
SPILL-WTG-20MW-bottom_1	1,217	8,690	28,402	4,373	3,894	4,886	51,463
SPILL-WTG-20MW-bottom_2	663	6,509	30,483	4,901	3,747	5,159	51,463
SPILL-WTG-20MW-surface_1	2,435	17,380	56,804	8,746	7,788	9,773	102,926
SPILL-WTG-20MW-surface_2	1,327	13,019	60,965	9,802	7,495	10,319	102,926
Sum	29,758	255,452	1,058,259	167,973	134,619	180,004	1,826,065
Proportion	2%	14%	58%	9%	7%	10%	100%

Vuoto kahdesta vientikaapelin upotustapauksesta, mukaan lukien vaihtoehdot, on esitetty kohdissa Taulukko 8-7 ja Taulukko 8-8.

Taulukko 8-7: Kokonaisvuoto pitkin vientikaapeleita, tapaus 1.

Sediment →	coarse	fine sand	coarse silt	medium silt	fine silt	Clay	Sum
Activity ↓	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
A_1	43,637	43,983	8,092	3,640	5,821	5,617	110,790
Ax_1	43,080	15,519	5,635	1,489	1,252	2,823	69,798
B2_1	17,592	24,980	4,451	849	1,926	2,111	51,908
B2x_1	10,780	20,262	367	2	214	1,345	32,970
B1x_1	7,081	4,018	319	-	-	1,266	12,684
C2_1	20,548	16,420	3,442	1,414	850	1,230	43,904
C2x_1	16,923	27,829	379	69	-	535	45,735
C1x_1	695	8,558	304	55	-	146	9,758
Sum	160,336	161,570	22,990	7,517	10,063	15,072	377,548
Proportion	42%	43%	6%	2%	3%	4%	100%

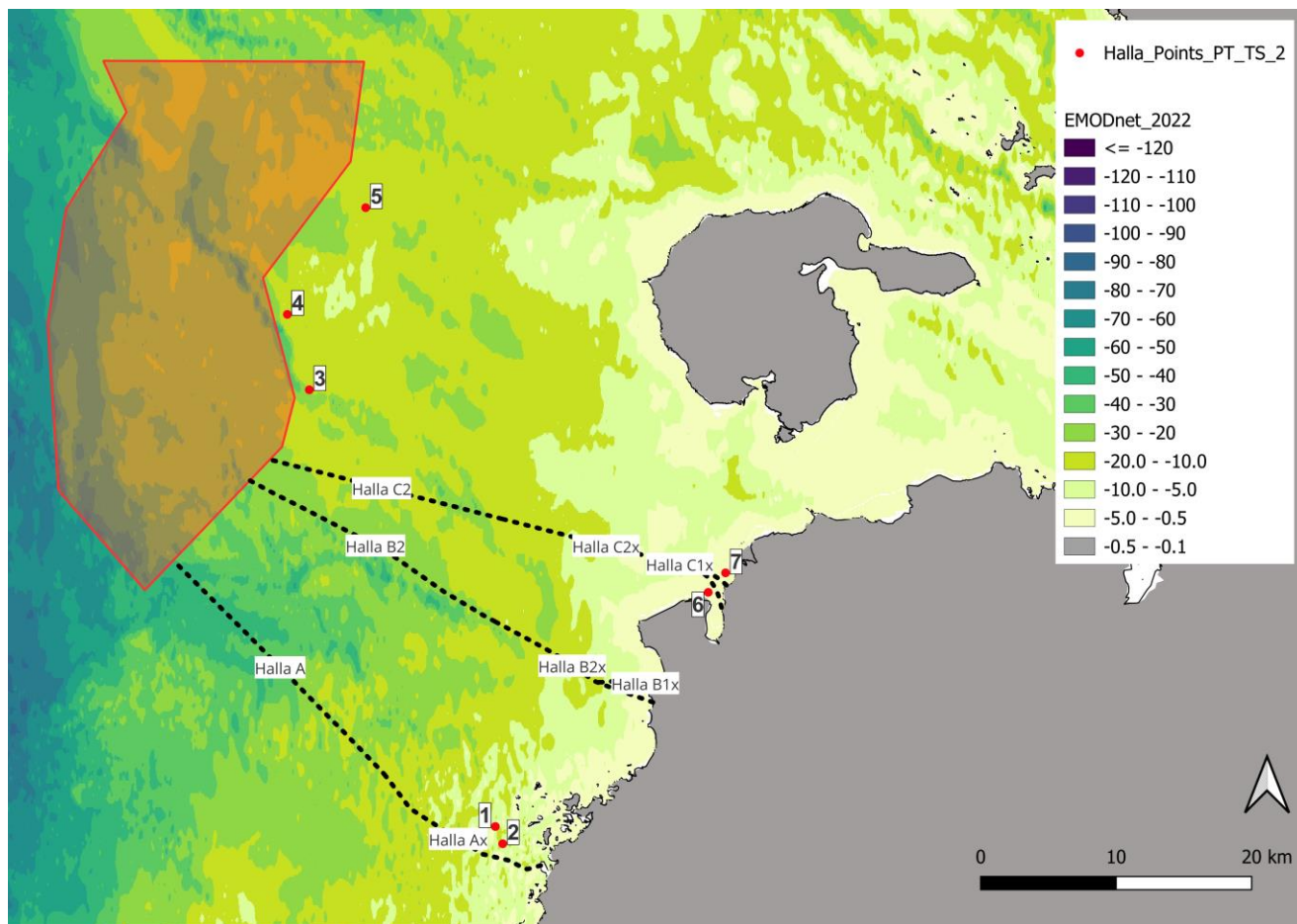
Taulukko 8-8: Kokonaisvuoto pitkin vientikaapeleita, tapaus 2.

Sediment →	coarse	fine sand	coarse silt	medium silt	fine silt	Clay	Sum
Activity ↓	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
A_2	43,637	43,983	8,092	3,640	5,821	5,617	110,790
Ax_bottom_2	43,084	15,349	5,517	1,459	1,226	2,802	69,437
Ax_surface_2	86,168	30,698	11,033	2,919	2,452	5,604	138,874
Ax_dump-bottom_2	146,488	52,122	18,712	4,951	4,159	9,518	235,950
Ax_dump-surface_2	73,244	26,061	9,356	2,475	2,079	4,759	117,975
B2_2	17,592	24,980	4,451	849	1,926	2,111	51,908
B2x_bottom_2	10,669	20,212	367	2	214	1,322	32,786
B2x_surface_2	21,337	40,425	734	5	428	2,643	65,571
B2x_dump-bottom_2	36,231	68,703	1,248	8	727	4,485	111,401
B2x_dump-surface_2	18,115	34,352	624	4	364	2,242	55,701
B1x_bottom_2	6,972	3,968	319	-	-	1,242	12,501
B1x_surface_2	13,944	7,935	638	-	-	2,484	25,002
B1x_dump-bottom_2	23,663	13,471	1,085	-	-	4,214	42,434
B1x_dump-surface_2	11,832	6,735	543	-	-	2,107	21,217
C2_2	20,548	16,420	3,442	1,414	850	1,230	43,904
C2x_bottom_2	16,921	27,660	372	67	-	532	45,553
C2x_surface_2	33,842	55,320	744	135	-	1,065	91,105
C2x_dump-bottom_2	57,531	93,980	1,261	228	-	1,809	154,810
C2x_dump-surface_2	28,765	46,990	631	114	-	905	77,405
C1x_bottom_2	692	8,385	298	54	-	143	9,572
C1x_surface_2	1,384	16,771	595	108	-	286	19,144
C1x_dump-bottom_2	2,352	28,446	1,009	183	-	485	32,475
C1x_dump-surface_2	1,176	14,223	505	91	-	243	16,238
Sum	716,189	697,189	71,575	18,706	20,246	57,847	1,581,752
Proportion	45%	44%	5%	1%	1%	4%	100%

8.4. Arvioidut sedimenttipitoisuudet ja niihin liittyvät kestot

Simulaation perusteella odotettavissa olevia sedimenttipitoisuuksia ja niihin liittyviä kokonaisajanjaksoja, joiden aikana pitoisuudet saavutetaan tai ylitetään (ei välttämättä peräkkäisiä ajanjaksoja), käsitellään erikseen jäljempänä.

Pitoisuuksien aikasarjat on esitetty tapauskohtaisesti erillisissä liitteissä kuvassa (Kuva 8.1) esitettyjen sijaintien osalta.



Kuva 8.1: Niiden pisteiden sijainti, joissa sedimenttipitoisuuden aikasarjat esitetään.

8.4.1. 15 MW:n tapaus

Tulokset, jotka liittyvät sedimentin jakautumisen arviointiin 15 MW:n tapauksessa, esitetään kohdissa Kuva 8.2–Kuva 8.4, Taulukko 8-9, Appendix 21 ja Appendix 23, ja ne osoittavat sedimenttien kulkeutumisen muutaman kilometrin päähän paikasta. Pitoisuudet ovat yleensä korkeimpia läjitysalueen yläpuolella, jonne suurin osa sedimentistä vapautuu.

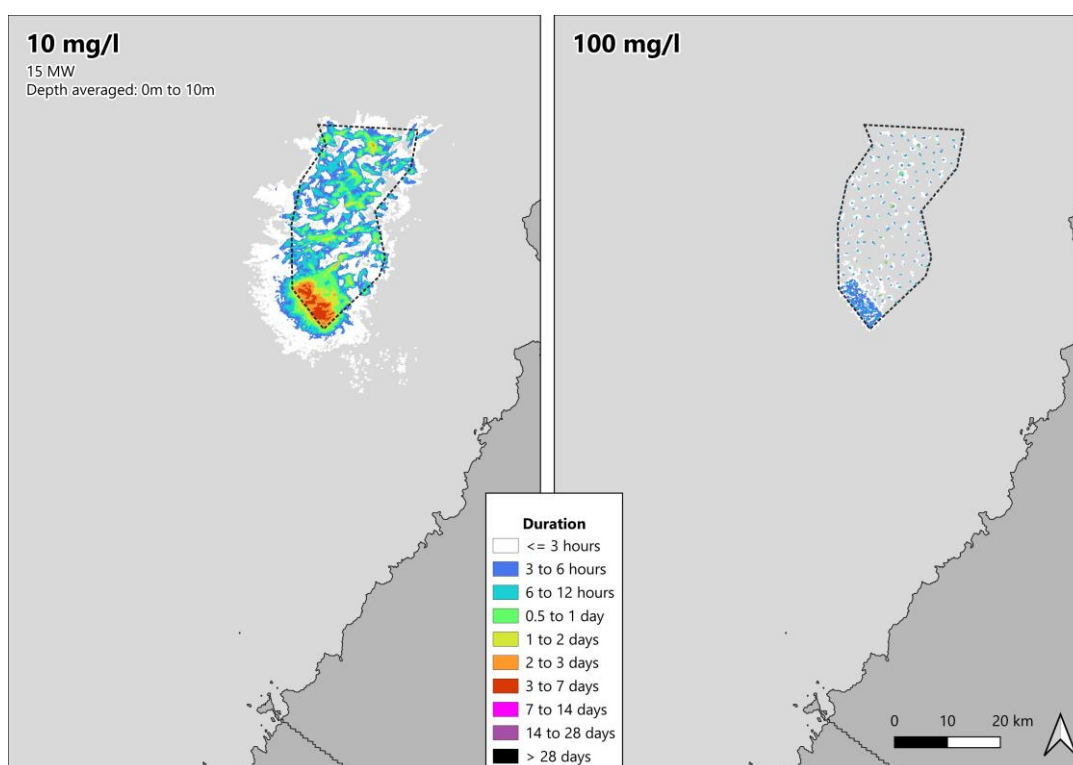
Sedimenttipitoisuuksien aikasarjat keskiarvoina 0–5 metriä merenpohjan yläpuolella ja 0–10 metriä pinnan alapuolella on esitetty valittujen sijaintien osalta liitteessä Appendix 22.

Pinta: Rakentamisajan kokonaiskesto, jonka aikana sedimenttipitoisuudet pintakerroksessa saavuttavat 10 mg/l tai ylittävät 100 mg/l, on esitetty kuvassa (Kuva 8.2). Esitetty sedimentti on peräisin toisaalta proomun ylivuodosta (tuulivoimapuistoalueella) ja toisaalta sedimentin sijoittamisesta läjitysalueen yläpuolella olevalle pinnalle. Alue on selvästi tunnistettavissa läjitysalueeksi, sillä siellä pitoisuus 10 mg/l saavutetaan tai ylittyy yli seitsemän päivän ajan (82 päivästä, jolloin kaatamista tapahtuu) ja pitoisuus 100 mg/l saavutetaan tai ylittyy yhtenä päivänä. Vapautuneet sedimentit kulkeutuvat ja leviävät pintavirtausten mukana samalla, kun ne uppoavat vesipatsaan läpi. Tämä prosessi, joka johtaa sedimenttipitoisuuden pienenemiseen pinnalla, mitä suurempi etäisyys lähteestä on, näkyy plyymeinä kuvassa (Kuva 8.2) ja selittää, miksi:

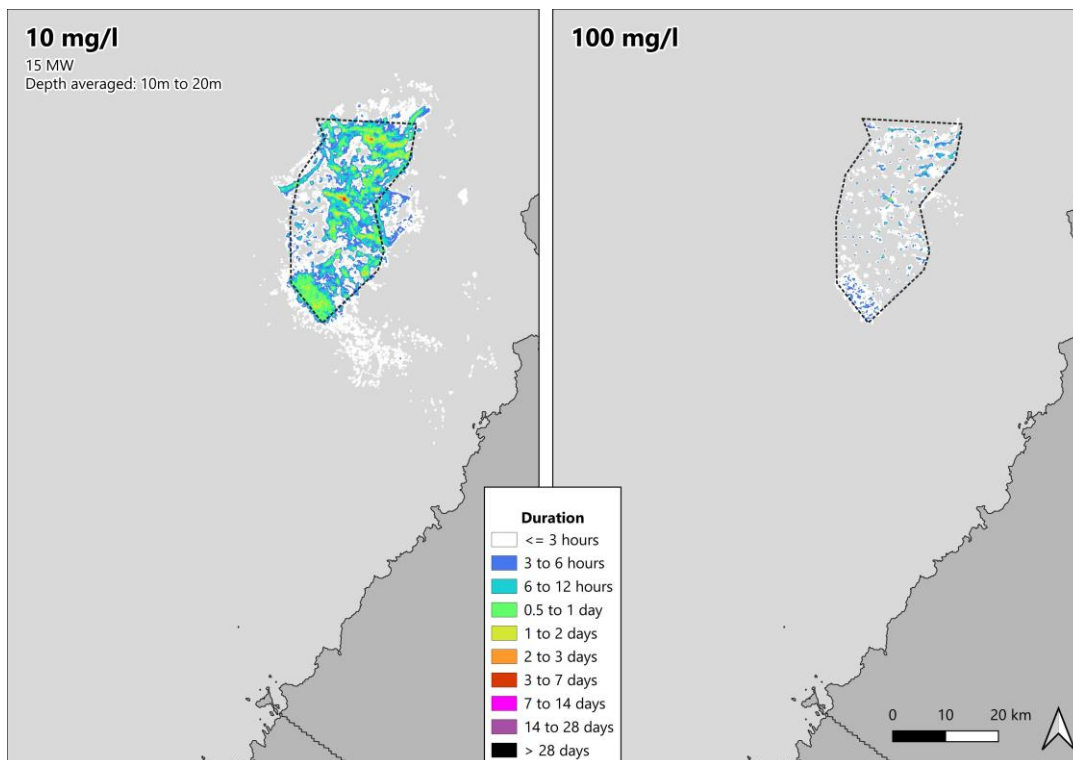
- pitoisuus 100 mg/l havaitaan vain tuulivoimapuiston alueella ja läjitysalueella, kun taas pitoisuudet 10 mg/l jakautuvat laajemmalle alueelle (esim. 32 000 ha vs. 1 500 ha (6 tunnin aikana), ks. Taulukko 8-9) ja niitä havaitaan myös Suomen itärannikolla.
- viimeistään seitsemän päivän kuluttua sedimenttipitoisuus laskee koko alueella arvoon alle 10 mg/l.

Vesipatsaan varrella: Sedimenttiplyymi on suurimmillaan (ks. Kuva 8.3) 10–30 metrin syvyydessä, jossa pitoisuus 10 mg/l kuuden tunnin ajan on dokumentoitu noin 28 000 hehtaarin alueella (Taulukko 8-9). 20–30 metrin syvyydessä saavutetaan tai ylitetään pitoisuus 100 mg/l hieman yli 1 000 hehtaarin alueella, kun taas pitoisuus ≥ 100 mg/l voidaan havaita 10 hehtaarin alueella kahden päivän ajan (Taulukko 8-9).

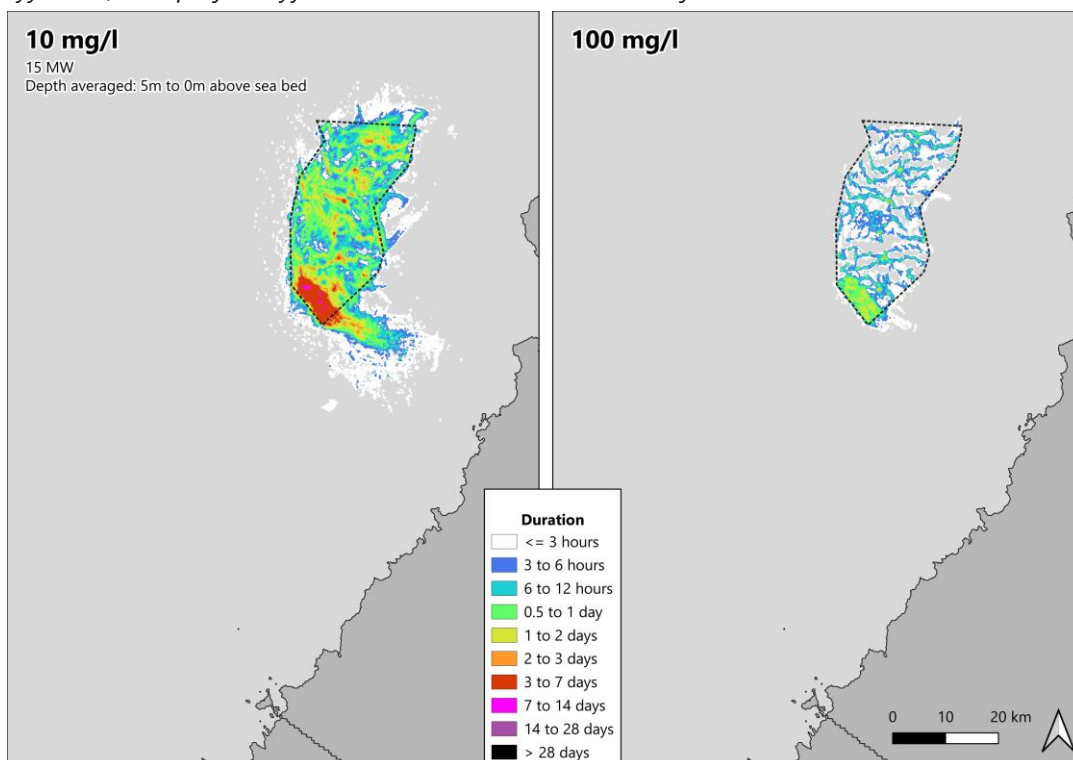
Pohjassa: Sedimenttiä vapautuu pohjan läheisyyteen ruopattaessa painovoimaan perustuvia alusrakenteita ja merisähköasemia sekä upotettaessa voimaloiden välinen kaapeli vesipainepuhalluksella. Lisäksi pinnalle vapautuvat sedimentit saavuttavat pohjan sedimentaatioprosessien kautta ennen laskeutumista. Verrattuna päällekkäisiin vesikerroksiin (vertaa Kuva 8.4 ja Kuva 8.3) sedimenttiplyymin laajuus on suurempi ja pitoisuuksia yli 100 mg/l on dokumentoitu lähes pelkästään tuulivoimapuiston alueella ja läjitysalueella.



Kuva 8.2: 15 MW – Kesto, jonka sedimenttipitoisuus on 10 mg/l (vasemmalla) ja 100 mg/l (oikealla), saavutetaan tai ylitetään vesipatsaan ylemmällä 10 metrillä (merenpohja näkyy vaaleanharmaana osoittaen alueet, joilla ei havaita vuotaneita sedimenttejä).



Kuva 8.3: 15 MW – Kesto, jonka sedimenttipitoisuus on 10 mg/l (vasemmalla) ja 100 mg/l (oikealla), saavutetaan tai ylitetään 10–20 m syvyydessä (merenpohja näkyy vaaleanharmaana osoittaen alueet, joilla ei havaita vuotaneita sedimenttejä).



Kuva 8.4: 15 MW – Kesto, jonka sedimenttipitoisuus on 10 mg/l (vasemmalla) ja 100 mg/l (oikealla), saavutetaan tai ylitetään vesipatsaan alimmassa 5 metrissä, 5 metriä merenpohjan yläpuolella (merenpohja näkyy vaaleanharmaana osoittaen alueet, joilla ei havaita vuotaneita sedimenttejä).

Taulukko 8-9: Alue (ha), jonka sedimenttipitoisuus on vähintään 10, 50, 100, 500 ja 1000 mg/l eripituisina aikoina ja eri syvyyksillä 15 MW:n tapauksessa. Tiedoksi: 100 ha = 1 km².

	Concentration	Duration							
		6 h	12 h	24 h	2 d	7 d	14 d	21 d	28 d
0 - 10 m	10 mg/l	32,256	16,348	6,766	3,358	-	-	-	-
	50 mg/l	4,960	867	92	25	-	-	-	-
	100 mg/l	1,581	206	63	16	-	-	-	-
	500 mg/l	3	-	-	-	-	-	-	-
	1000 mg /l	-	-	-	-	-	-	-	-
10 - 20 m	10 mg/l	28,041	13,268	2,544	152	-	-	-	-
	50 mg/l	3,416	680	75	19	-	-	-	-
	100 mg/l	1,017	143	31	10	-	-	-	-
	500 mg/l	2	-	-	-	-	-	-	-
	1000 mg /l	-	-	-	-	-	-	-	-
20 - 30 m	10 mg/l	41,990	26,473	9,028	972	-	-	-	-
	50 mg/l	11,351	3,192	405	56	-	-	-	-
	100 mg/l	4,613	932	97	26	-	-	-	-
	500 mg/l	51	1	-	-	-	-	-	-
	1000 mg /l	0	-	-	-	-	-	-	-
30 - 40 m	10 mg/l	24,587	17,861	8,888	3,231	16	-	-	-
	50 mg/l	7,144	3,169	1,291	57	-	-	-	-
	100 mg/l	3,204	1,049	96	-	-	-	-	-
	500 mg/l	4	-	-	-	-	-	-	-
	1000 mg /l	-	-	-	-	-	-	-	-
5 m above seabed	10 mg/l	60,983	43,301	20,134	6,332	262	1	-	-
	50 mg/l	23,804	10,482	3,873	927	-	-	-	-
	100 mg/l	13,214	5,307	1,471	43	-	-	-	-
	500 mg/l	124	6	-	-	-	-	-	-
	1000 mg /l	-	-	-	-	-	-	-	-

8.4.2. 20 MW:n tapaus

Sedimenttipitoisuuksia tutkivien simulaatioiden tulokset 20 MW:n tapauksessa esitetään kohdissa Kuva 8.5–Kuva 8.7, Taulukko 8-10, Appendix 24 ja Appendix 26. Vaikka 20 MW:n tapauksessa voimaloita on 40 vähemmän kuin 15 MW:n tapauksessa (Taulukko 6-1), kaivetut ja vapautuneet määrät ovat samaa suuruusluokkaa (ks. Taulukko 8-5 ja Taulukko 8-6). Tämä johtuu voimaloiden suuremmista halkaisijoista (esim. pohjan halkaisija 52 m vs. 45 m, Taulukko 6-1) 20 MW:n tapauksessa. Samanlaisten määrien ansiosta prosessit ovat periaatteessa hyvin vertailukelpoisia. Siten vapautunut sedimentti kulkeutuu 15 MW:n tapauksen tapaan muutaman kilometrin päähän tuulivoimapuistoalueen ulkopuolelle. Pitoisuudet ovat yleensä korkeimmat läjitysalueen yläpuolella, missä suurin osa sedimentistä vapautuu.

Sedimenttipitoisuuksien aikasarjat keskiarvoina 0–5 metriä merenpohjan yläpuolella ja 0–10 metriä pinnan alapuolella on esitetty valittujen sijaintien osalta liitteessä Appendix 25.

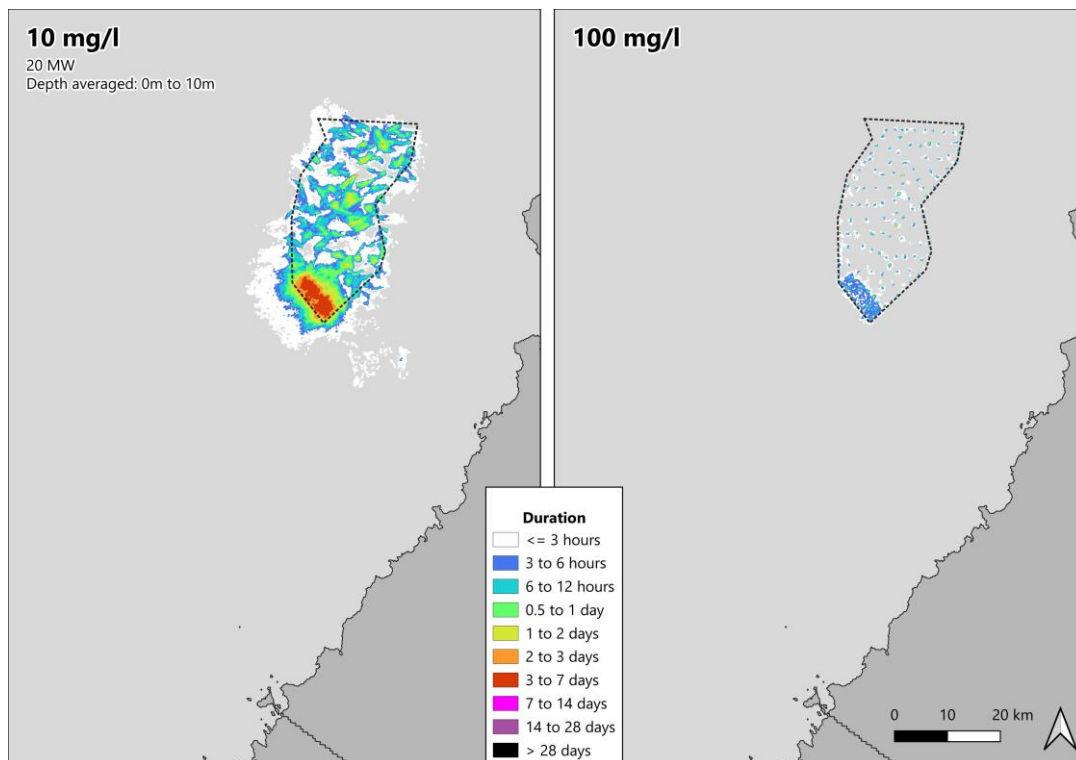
Pinta: Rakentamisajan kokonaiskesto, jonka aikana sedimenttipitoisuudet pintakerroksessa saavuttavat 10 mg/l tai ylittävät 100 mg/l, on esitetty kuvassa (Kuva 8.5). Esitetty sedimentti on peräisin toisaalta proomun ylivuodosta (tuulivoimapuistoalueella) ja toisaalta sedimentin sijoittamisesta läjitysalueen yläpuolella olevalle pinnalle.

Alue on selvästi tunnistettavissa läjitysalueeksi, sillä siellä pitoisuus 10 mg/l saavutetaan tai ylittyy yli seitsemän päivän ajan (72 päivästä, jolloin kaatamista tapahtuu) ja pitoisuus 100 mg/l saavutetaan tai ylittyy kuudeksi tunniksi. Vapautuneet sedimentit kulkeutuvat ja leviävät pintavirtausten mukana samalla, kun ne uppoavat vesipatsaan läpi. Tämä prosessi, joka johtaa sedimenttipitoisuuden pienenemiseen pinnalla, mitä suurempi etäisyys lähteestä on, näkyy plyymeinä kuvassa (Kuva 8.2) ja selittää, miksi:

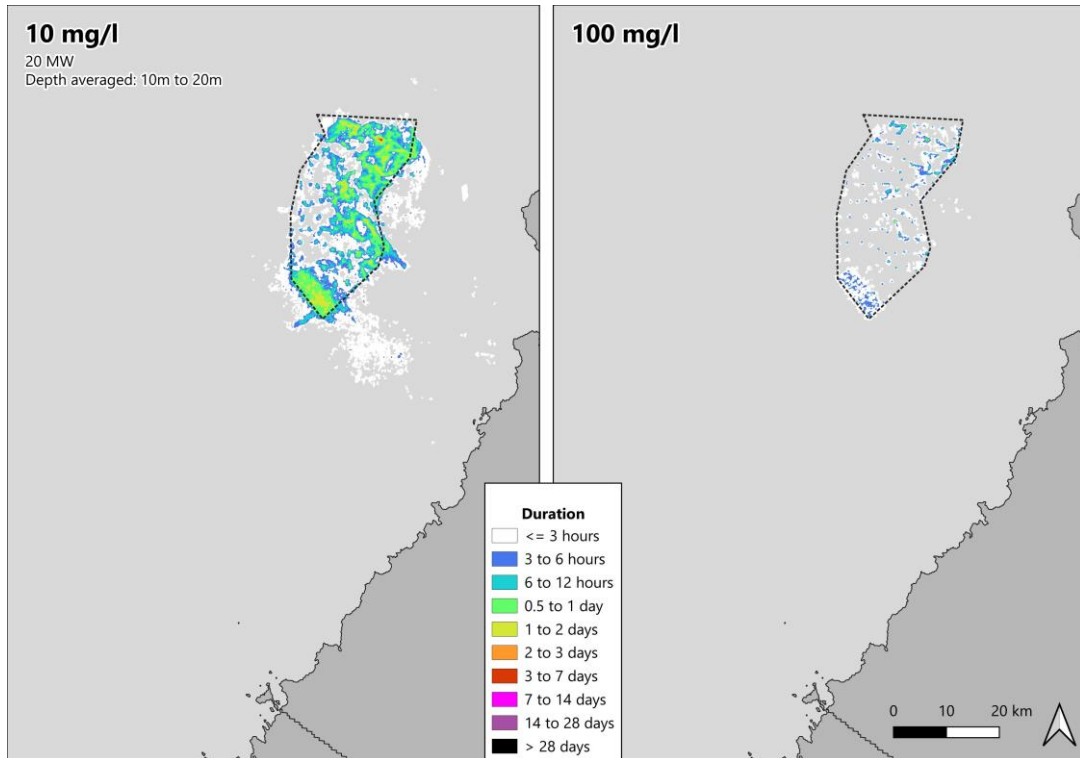
- pitoisuus 100 mg/l havaitaan vain tuulivoimapuiston alueella ja läjitysalueella, kun taas pitoisuudet 10 mg/l jakautuvat laajemmalle alueelle (esim. 31 868 ha vs. 3 719 ha (6 tunnin aikana), ks. Taulukko 8-10).
- kahden päivän kuluttua sedimenttipitoisuus yli 10 mg/l havaitaan vain 3 557 hehtaarin alueella ja 7 päivän kuluttua 0 hehtaarin alueella.

Vesipatsaan varrella: Sedimenttiplyymi on suurimmillaan (ks. Kuva 8.6) 10–20 metrin syvyydessä, jossa pitoisuus 10 mg/l kuuden tunnin ajan on dokumentoitu yli 25 000 hehtaarin alueella (Taulukko 8-10). 20–30 metrin syvyydessä saavutetaan tai ylitetään pitoisuus 100 mg/l yli 3 813 hehtaarin alueella. Sedimenttipitoisuudet laimenevat, joten pitoisuuksia ≥ 100 mg/l ei voida havaita seitsemän päivän jälkeen (Taulukko 8-10).

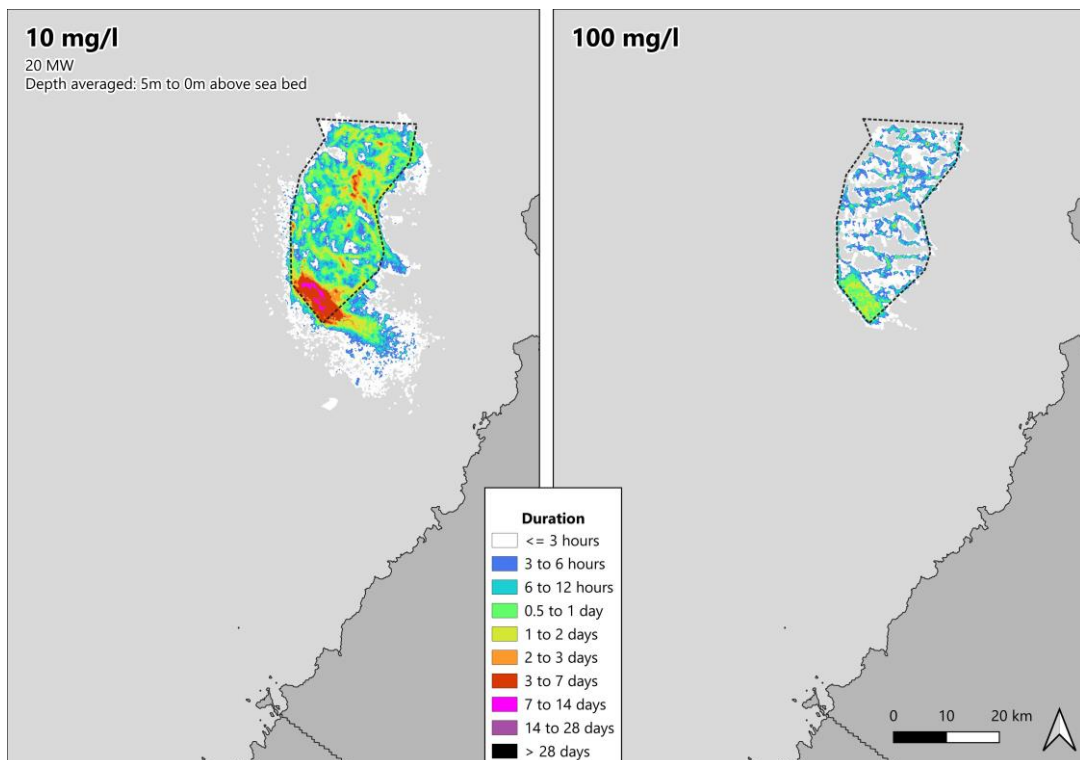
Pohjassa: Sedimenttiä vapautuu pohjan läheisyyteen ruoppaamalla painovoimaan perustuvia alusrakenteita ja merisähköasemia sekä hautaamalla yhdyskaapeli vesipainepuhalluksen avulla. Lisäksi pinnalle vapautuvat sedimentit saavuttavat lähes pohjan sedimentaatioprosessien kautta ennen laskeutumista. Verrattuna päällekkäisiin vesikerroksiin (vertaa Kuva 8.7 ja Kuva 8.6) sedimenttiplyymin laajuus on suurempi ja pitoisuuksia yli 100 mg/l on dokumentoitu tuulivoimapuiston lisäksi myös läjitysalueesta kaakkoon 10–20 kilometrin päässä.



Kuva 8.5: 20 MW – Kesto, jonka sedimenttipitoisuus on 10 mg/l (vasemmalla) ja 100 mg/l (oikealla), saavutetaan tai ylitetään vesipatsaan ylemmällä 10 metrillä (merenpohja näkyy vaaleanharmaana osoittaen alueet, joilla ei havaita vuotaneita sedimenttejä).



Kuva 8.6: 20 MW – Kesto, jonka sedimenttipitoisuus on 10 mg/l (vasemmalla) ja 100 mg/l (oikealla), saavutetaan tai ylitetään 10–20 m syvyydessä (merenpohja näkyy vaaleanharmaana osoittaen alueet, joilla ei havaita vuotaneita sedimenttejä).



Kuva 8.7: 20 MW – Kesto, jonka sedimenttipitoisuus on 10 mg/l (vasemmalla) ja 100 mg/l (oikealla), saavutetaan tai ylitetään vesipatsaan alimmassa 5 metrissä, 5 metriä merenpohjan yläpuolella (merenpohja näkyy vaaleanharmaana osoittaen alueet,

joilla ei havaita vuotaneita sedimenttejä).

Taulukko 8-10: Alue (ha), jonka sedimenttipitoisuus on vähintään 10, 50, 100, 500 ja 1000 mg/l eripituisina aikoina ja eri syvyyksillä 20 MW:n tapauksessa. Tiedoksi: 100 ha = 1 km².

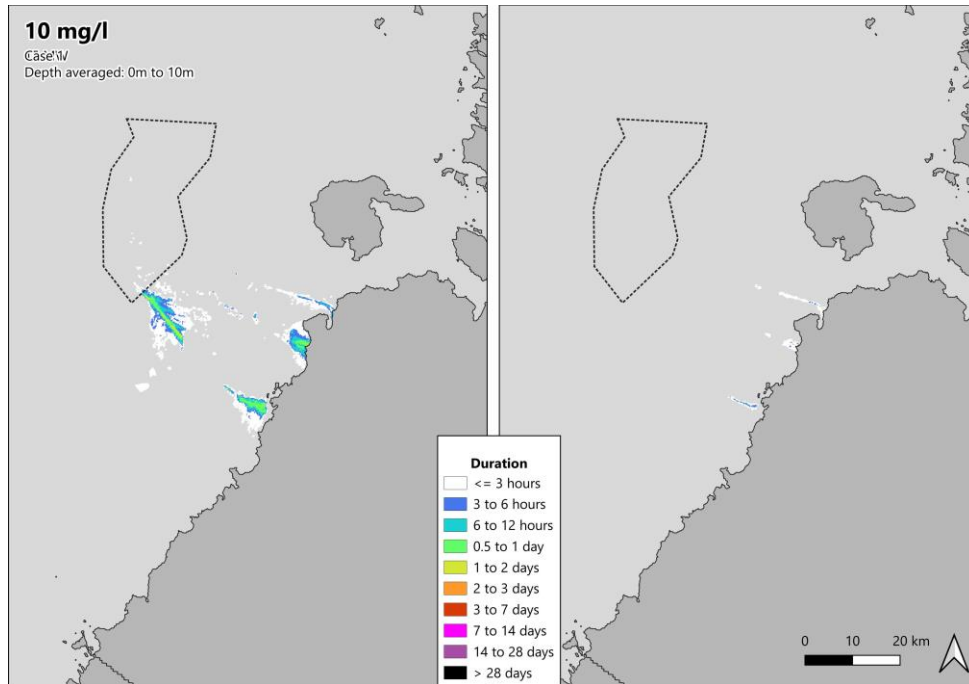
	Concentration	Duration							
		6 h	12 h	24 h	2 d	7 d	14 d	21 d	28 d
0 - 10 m	10 mg/l	31,868	16,823	7,397	3,557	-	-	-	-
	50 mg/l	5,217	1,180	112	29	-	-	-	-
	100 mg/l	1,719	426	78	21	-	-	-	-
	500 mg/l	6	-	-	-	-	-	-	-
	1000 mg /l	-	-	-	-	-	-	-	-
10 - 20 m	10 mg/l	26,258	14,196	3,067	65	-	-	-	-
	50 mg/l	3,650	700	55	12	-	-	-	-
	100 mg/l	1,051	174	22	8	-	-	-	-
	500 mg/l	0	-	-	-	-	-	-	-
	1000 mg /l	-	-	-	-	-	-	-	-
20 - 30 m	10 mg/l	38,418	24,052	8,566	945	-	-	-	-
	50 mg/l	9,174	2,467	264	31	-	-	-	-
	100 mg/l	3,813	773	71	15	-	-	-	-
	500 mg/l	56	11	3	-	-	-	-	-
	1000 mg /l	-	-	-	-	-	-	-	-
30 - 40 m	10 mg/l	23,534	15,908	8,558	3,772	34	-	-	-
	50 mg/l	6,414	3,190	1,337	67	-	-	-	-
	100 mg/l	3,186	1,097	84	11	-	-	-	-
	500 mg/l	25	9	5	1	-	-	-	-
	1000 mg /l	-	-	-	-	-	-	-	-
5 m above seabed	10 mg/l	56,814	39,460	19,341	6,698	491	-	-	-
	50 mg/l	21,071	9,477	3,764	827	-	-	-	-
	100 mg/l	11,723	5,041	1,359	49	-	-	-	-
	500 mg/l	180	9	1	-	-	-	-	-
	1000 mg /l	2	-	-	-	-	-	-	-

8.4.3. Vientikaapeli, tapaus 1

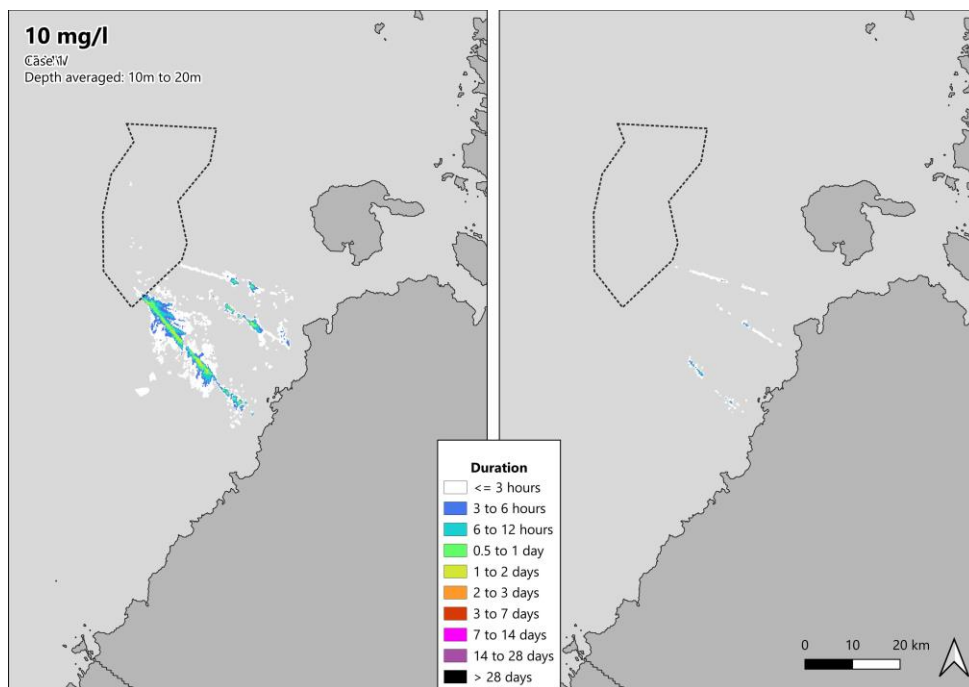
Simuloitujen sedimenttipitoisuuksien tulokset koskien vientikaapelia tapauksessa 1, joka koostuu kolmesta pääkäytävästä, ja koskien kahta pohjoista käytävää, joissa kummassakin on kaksi mahdollista meriläjitäysaluetta, esitetään kohdissa Kuva 8.8–Kuva 8.10 ja Appendix 27 valittujen pitoisuustasojen keston osalta.

Kesto pitoisuuden ollessa yli 10 mg/l on enintään yksi päivä sekä pinta- että pohjakerroksessa. Pitoisuutta yli 100 mg/l esiintyy, mutta pääasiassa +/- 500 metrin etäisyydellä enintään 12 tunnin ajan.

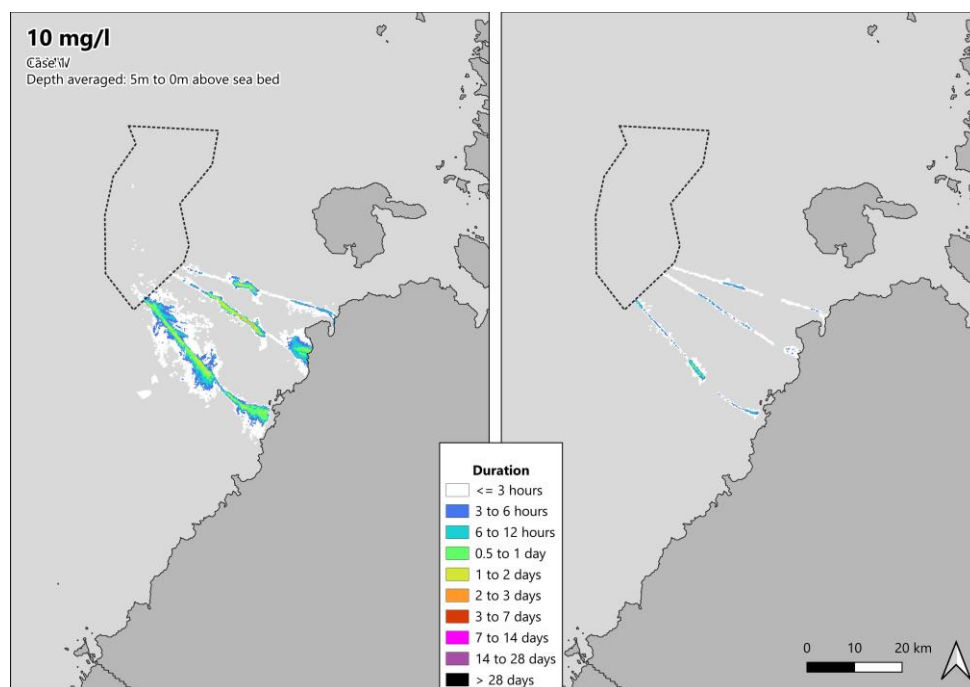
Sedimenttipitoisuuksien aikasarjat keskiarvoina 0–5 metriä merenpohjan yläpuolella ja 0–10 metriä pinnan alapuolella, on esitetty valittujen sijaintien osalta liitteessä Appendix 27.



Kuva 8.8: Vientikaapeli, tapaus 1 – Kesto, jonka sedimenttipitoisuus on 10 mg/l (vasemmalla) ja 100 mg/l (oikealla), saavutetaan tai ylitetään vesipatsaan ylemmällä 10 metrillä (merenpohja näkyy vaaleanharmaana osoittaen alueet, joilla ei havaita vuotaneita sedimenttejä).



Kuva 8.9: Vientikaapeli, tapaus 1 – Kesto, jonka sedimenttipitoisuus on 10 mg/l (vasemmalla) ja 100 mg/l (oikealla), saavutetaan tai ylitetään 10–20 m syvyydessä (merenpohja näkyy vaaleanharmaana osoittaen alueet, joilla ei havaita vuotaneita sedimenttejä).

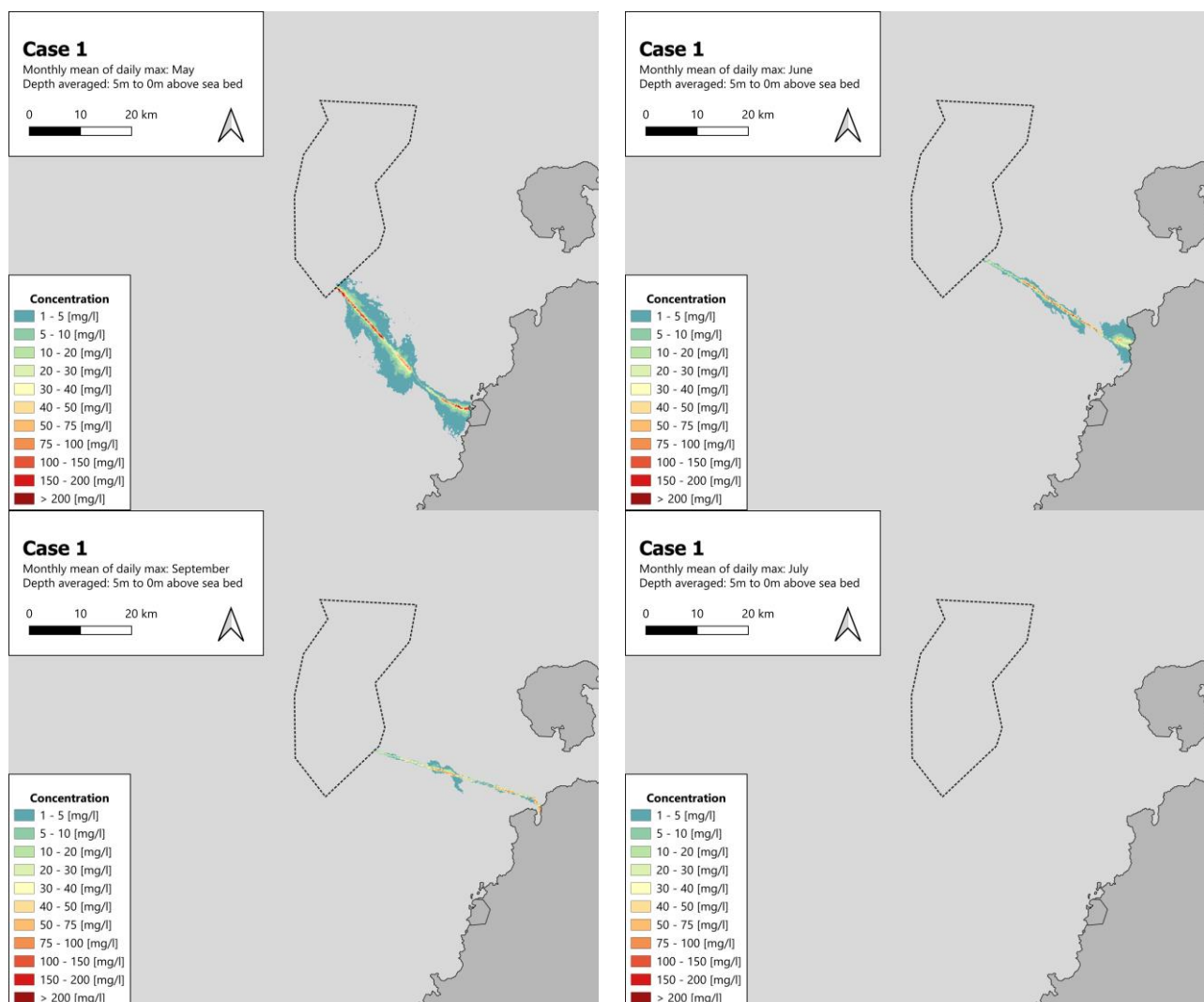


Kuva 8.10: Vientikaapeli, tapaus 1 – Kesto, jonka sedimenttipitoisuus on 10 mg/l (vasemmalla) ja 100 mg/l (oikealla), saavutetaan tai ylitetään vesipatsaan alimmissa 5 metrissä, 5 metriä merenpohjan yläpuolella (merenpohja näkyy vaaleanharmaana osoittaen alueet, joilla ei havaita vuotaneita sedimenttejä).

Päivittäisen maksimipitoisuuden kuukausikeskiarvo 0–5 metrin syvyydessä merenpohjan yläpuolella esitetään kuvassa (Kuva 8.11) eri kaapelivaihtoehtojen osalta:

- Toukokuu: kaapeliosuudet A ja Ax.
- Kesäkuu: kaapeliosuudet B2+B2x ja B1x.
- Syyskuu: kaapeliosuudet C2 ja C2x.
- Elokuu: kaapeliosuus C1x.

Kaapelien lukumäärän ja sijainnin eroista huolimatta pitoisuus on suurimmillaan lähellä rantaa (johtuen matalammasta vedestä). Kaikissa tapauksissa maksimi on noin 1000 mg/l ja haihtuvuus noin 5 mg/l muutaman kilometrin matkalla. Kaapeliosuudella A, johon on asennettu 10 kaapelia (muiden käytävien 5 kaapelin sijaan), haihtuvuus 5 mg/l tapahtuu kuitenkin lähempänä 10 kilometrin matkaa. Vesipatsaan muiden osien keskimääräinen päivittäinen maksimi on esitetty liitteessä Appendix 29. On huomattava, että kuukausittainen keskiarvo, joka sisältää päiviä ilman vuotoa, on hyvin alhainen, kuten kuvassa (Kuva 8.11) alhaalla oikealla näkyy, koska C1x:n upottaminen kestää vain muutaman päivän.



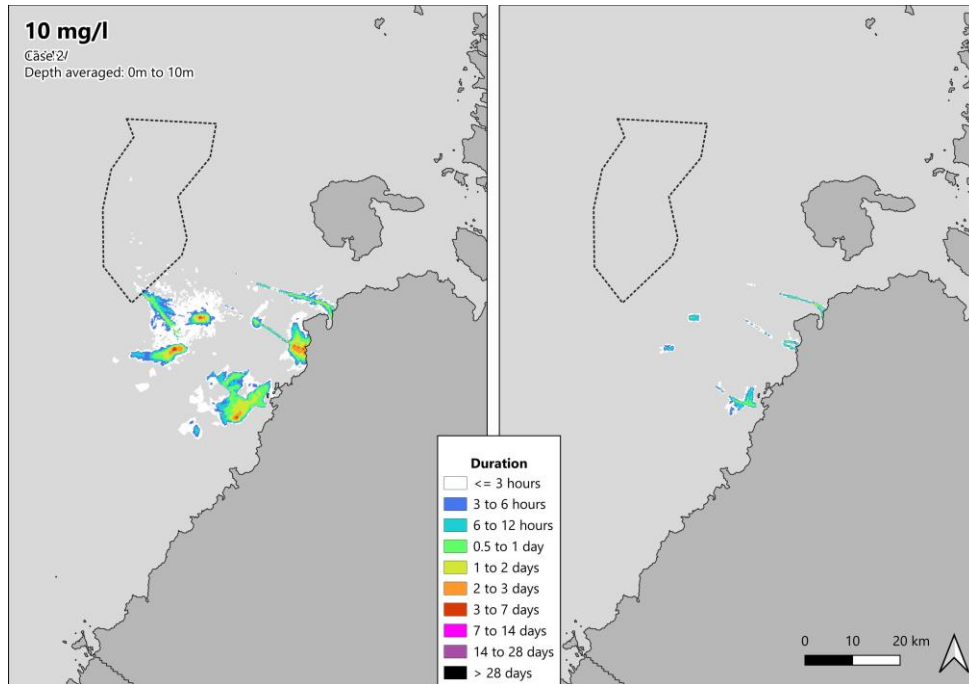
Kuva 8.11: Syvyys 0–5 metriä merenpohjan yläpuolella – keskimääräinen päivittäinen maksimi, ylhäällä oikealla: kaapeli A+Ax, ylhäällä vasemmalla: kaapeli B2+B2x+B1x, alhaalla oikealla: kaapeli C1x, alhaalla vasemmalla: kaapeli C2+C2x.

8.4.4. Vientikaapeli, tapaus 2

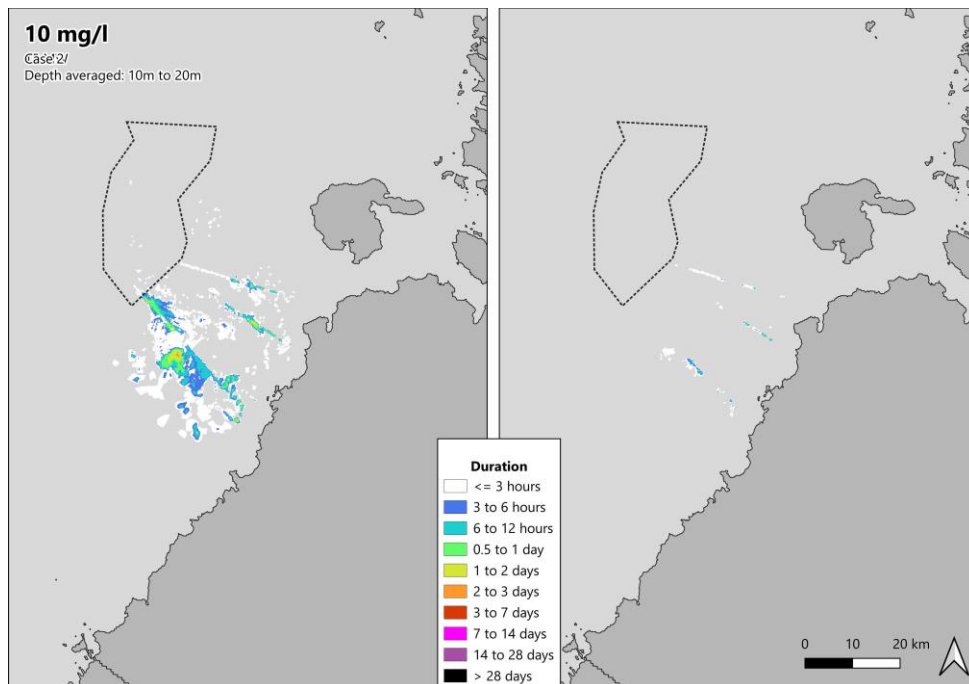
Simuloitujen sedimenttipitoisuuksien tulokset koskien vientikaapelia tapauksessa 2, joka koostuu kolmesta pääkäytävästä, ja koskien kahta pohjoista käytävää, joissa kummassakin on kaksi mahdollista meriläjitysaluetta, esitetään kohdissa Kuva 8.12–Kuva 8.14 ja Appendix 30 valittujen pitoisuustasojen keston osalta.

Kesto pitoisuuden ollessa yli 10 mg/l on enintään seitsemän päivää sekä pinta- että pohjakerroksessa. Välissä on maksimikesto kolme päivää eteläisellä läjitysalueella. Pitoisuutta yli 100 mg/l esiintyy, mutta pääasiassa +/- 500 metrin etäisyydellä kaapelikäytävistä enintään yhden päivän ajan.

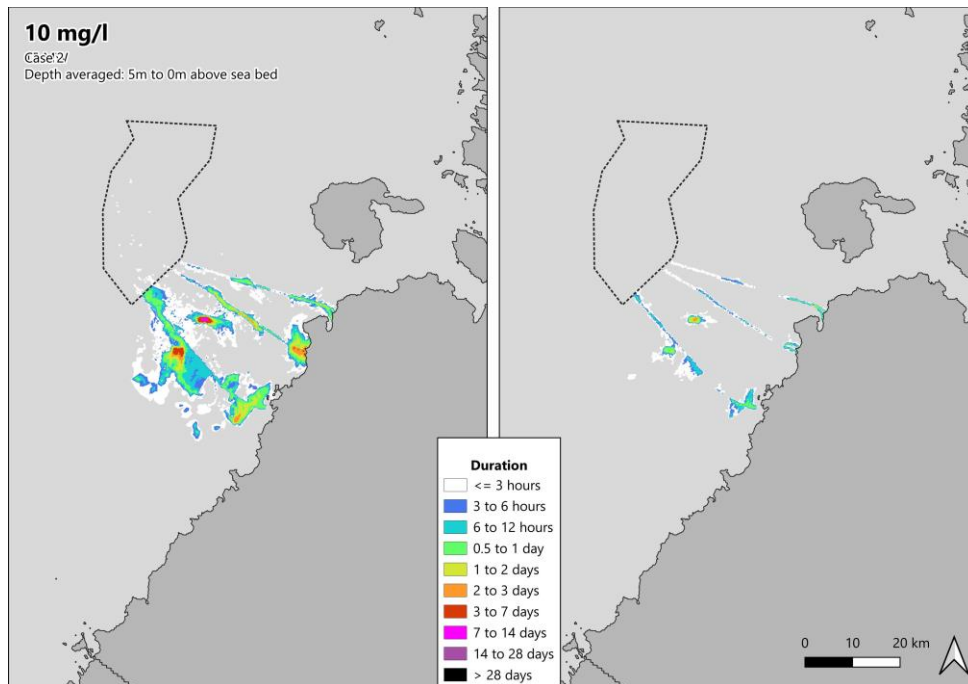
Sedimenttipitoisuuksien aikasarjat keskiarvoina 0–5 metriä merenpohjan yläpuolella ja 0–10 metriä pinnan alapuolella, on esitetty valittujen sijaintien osalta liitteessä Appendix 31.



Kuva 8.12: Vientikaapeli, tapaus 2 – Kesto, jonka sedimenttipitoisuus on 10 mg/l (vasemmalla) ja 100 mg/l (oikealla), saavutetaan tai ylitetään vesipatsaan ylemmällä 10 metrillä (merenpohja näkyy vaaleanharmaana osoittaen alueet, joilla ei havaita vuotaneita sedimenttejä).



Kuva 8.13: Vientikaapeli, tapaus 2 – Kesto, jonka sedimenttipitoisuus on 10 mg/l (vasemmalla) ja 100 mg/l (oikealla), saavutetaan tai ylitetään 10–20 metrin syvyydessä (merenpohja näkyy vaaleanharmaana osoittaen alueet, joilla ei havaita vuotaneita sedimenttejä).

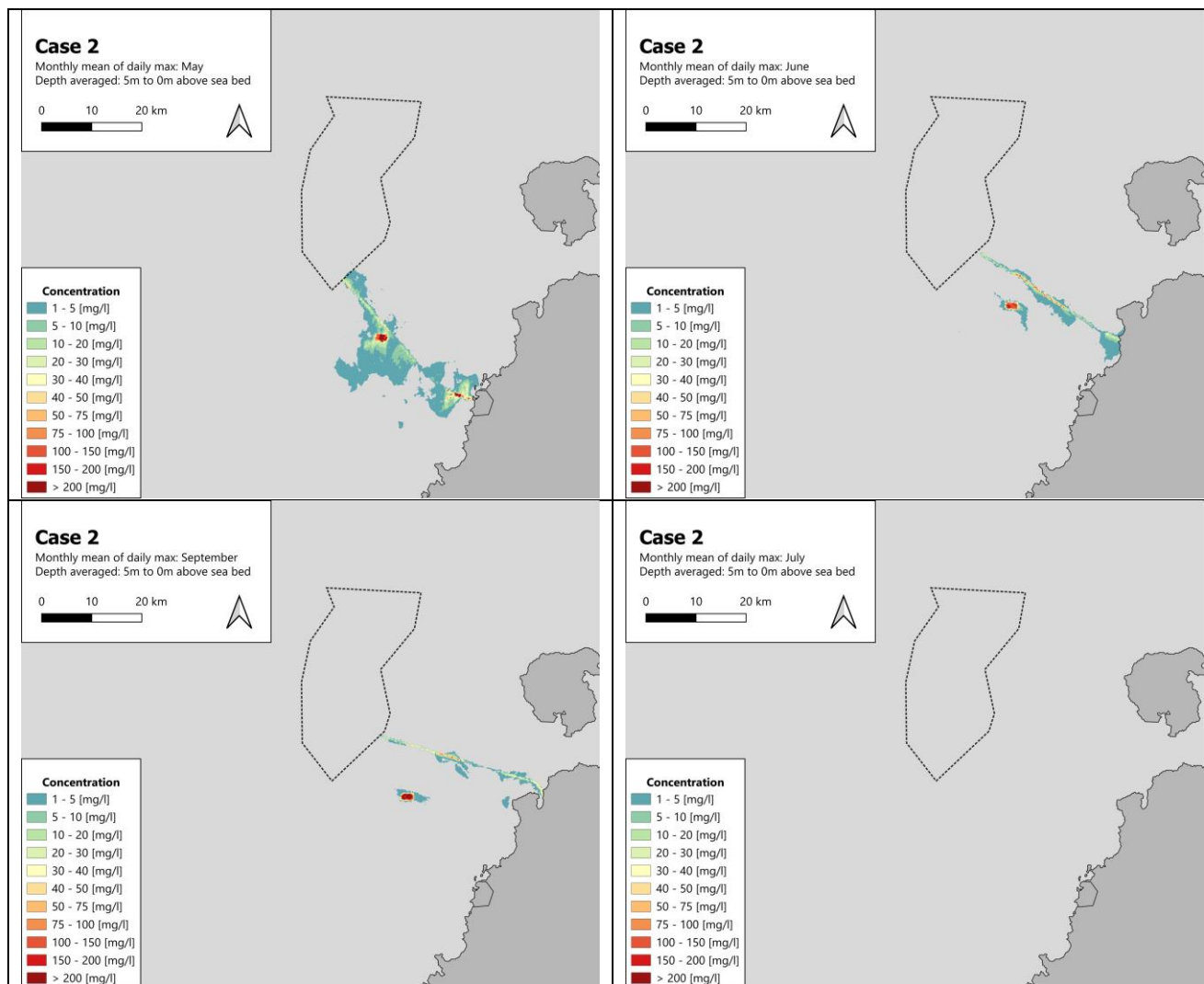


Kuva 8.14: Vientikaapeli, tapaus 2 – Kesto, jonka sedimenttipitoisuus on 10 mg/l (vasemmalla) ja 100 mg/l (oikealla), saavutetaan tai ylitetään vesipatsaan alimmassa 5 metrissä, 5 metriä merenpohjan yläpuolella (merenpohja näkyy vaaleanharmaana osoittaen alueet, joilla ei havaita vuotaneita sedimenttejä).

Päivittäisen maksimipitoisuuden kuukausikeskiarvo 0–5 metrin syvyydessä merenpohjan yläpuolella esitetään eri kaapelivaihtoehtojen osalta:

- toukokuu–elokuun loppu: kaapeliosuudet A ja Ax
- kesäkuu–heinäkuu: kaapeliosuudet B2 ja B2x
- syyskuu–marraskuun puoliväli: kaapeliosuudet C2 ja C2x.
- elokuu: kaapeliosuudet B1x ja C1x

Kaapeleiden lukumäärän ja sijainnin eroista huolimatta maksimipitoisuus on suurimmillaan noin 1000 mg/l paalutetuilla osuuksilla sekä yli 1000 mg/l ruopatuilla osuuksilla ja läjitysalueella, minkä jälkeen pitoisuus laskee noin arvoon 5 mg/l muutaman kilometrin etäisyydellä. Kaapeliosuudella A, johon on asennettu 10 kaapelia (muiden käytävien 5 kaapelin sijaan), haihtuvuus 5 mg/l tapahtuu kuitenkin lähempänä 10 kilometrin matkaa, ks. Kuva 8.15. Vesipatsaan muiden osien keskimääräinen päivittäinen maksimi on esitetty liitteessä Appendix 32.



Kuva 8.15: Syvyys 0–5 metriä merenpohjan yläpuolella – keskimääräinen päivittäinen maksimi, ylhäällä oikealla: kaapeli A+Ax, ylhäällä vasemmalla: kaapeli B2+B2x+B1x, alhaalla oikealla: kaapeli C1x, alhaalla vasemmalla: kaapeli C2+C2x.

8.5. Arvioitu sedimentaatio

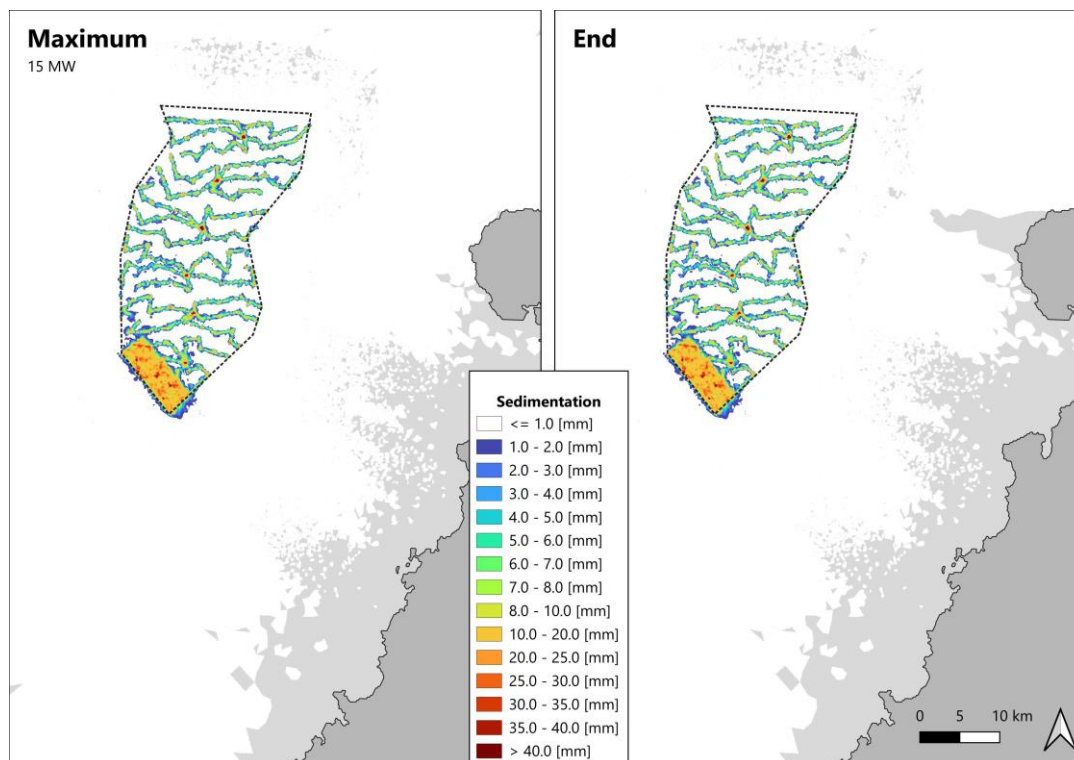
Sedimenttipitoisuuden mukaisesti sedimentaatiota koskevia kahden tapauksen (15 MW ja 20 MW) tuloksia käsitellään erikseen. Sama koskee myös kahta vientikaapelitapausta. Sedimentit ovat peräisin painovoimaperustuksien ja merisähköasemien ruoppauksesta, voimaloiden välisten kaapelien upottamisesta vesipainepuhalluksella, vientikaapeleiden upottamisesta vesipainepuhalluksella ruoppauksella sekä sedimentin ylivuodosta ja leviämisestä läjitysalueelle.

8.5.1. 15 MW:n tapaus

Sedimentaation tulokset 15 MW:n tapauksessa on esitetty kohdissa Kuva 8.16, Taulukko 8-11 ja Appendix 33. Simulointitulosten (Kuva 8.16) mukaan yli 1 mm:n sedimentaatio rajoittuu läjitysalueen läheisyyteen ja tuulivoimapaistossa yhdyskaapeleiden läheisyyteen.

Voimakkainta sedimentaatiota havaitaan läjitysalueella, jonne sijoitetaan suurin määrä sedimenttiä. Yli 100 mm:n sedimentaatiota esiintyy noin 1 hehtaarin alueella (Taulukko 8-11). 477 hehtaarin sedimentaatiokorkeus on 25–50 mm. Sitä vastoin sedimentaatio voimaloiden välisten kaapelien alueella on paljon vähäisempi.

Suurempi sedimentaatio on 30 mm, ja se on seurausta pääasiassa tuulivoimaloiden perustusten ruoppauksesta ja merisähköasemien asennuksista.



Kuva 8.16: 15 MW – Sedimentaatio (vasemmalla: suurin kirjattu sedimentaatio (10 minuutin arvo), oikealla: simulaatiojakson loppu).

Taulukko 8-11: Alue (ha), jolla esiintyy sedimentaatiota sedimentin hävittämisen vuoksi 15 MW:n tapauksessa. Tiedoksi: 100 ha = 1 km².

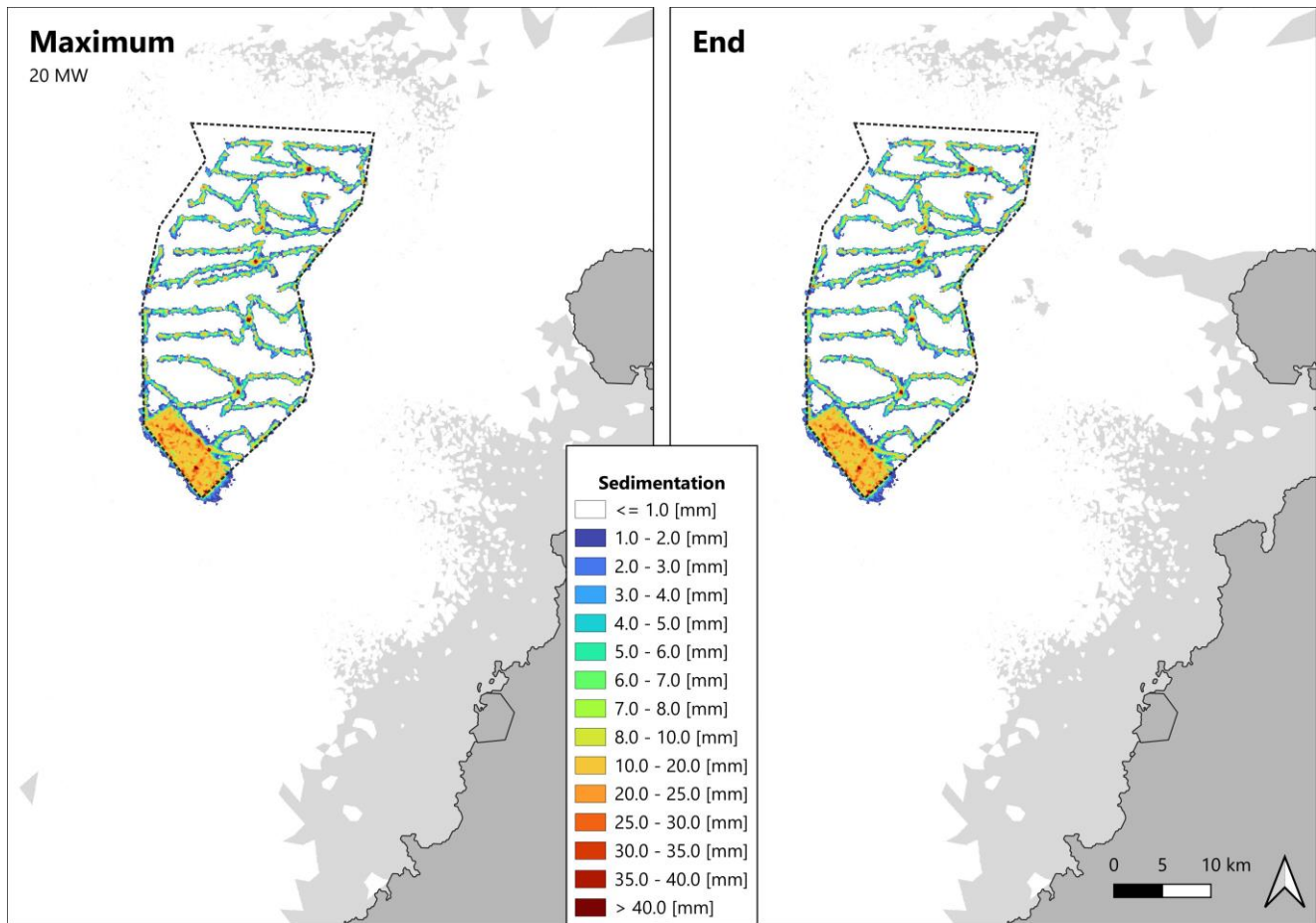
	Sedimentation [mm]								
	1	2	5	10	25	50	100	250	500
Maximum	23,694	19,094	12,197	5,616	477	30	1	-	-
End	23,694	19,094	12,197	5,616	477	30	1	-	-

8.5.2. 20 MW:n tapaus

Sedimentaation tulokset 20 MW:n tapauksessa on esitetty kohdissa Kuva 8.17, Taulukko 8-12 ja Appendix 34. Simulointitulosten mukaan (Kuva 8.16), jotka ovat linjassa 15 MW:n tapauksen tulosten kanssa, sedimentaatio rajoittuu läjitysalueen läheisyyteen ja tuulivoimapaistossa voimaloiden välisten kaapelien läheisyyteen.

Voimakkainta sedimentaatiota havaitaan läjitysalueella, jolla on 50 mm sedimenttiä 35 hehtaarilla. (Taulukko 8-12). Yli 100 mm:n sedimentaatiota voidaan havaita yli yhden hehtaarin alueella (Taulukko 8-11).

Sedimentaatio tuulivoimapaiston alueella on paljon vähäisempää. Suurempi sedimentaatio on 40 mm sähköasemien ympärillä ja muutoin alle 10 mm voimaloiden välisten kaapelien varrella. Se on seurausta pääasiassa tuulivoimaloiden perustusten ruoppauksesta ja merisähköasemien asennuksista.



Kuva 8.17: 20 MW – Sedimentaatio (vasemmalla: suurin kirjattu sedimentaatio (10 minuutin arvo), oikealla: simulaatiojakson loppu).

Taulukko 8-12: Alue (ha), jolla esiintyy sedimentaatiota sedimentin hävittämisen vuoksi 20 MW:n tapauksessa. Tiedoksi: 100 ha = 1 km².

	Sedimentation [mm]								
	1	2	5	10	25	50	100	250	500
Maximum	21,207	17,321	11,224	5,458	502	35	1	-	-
End	21,204	17,320	11,223	5,457	502	35	1	-	-

8.5.3. Vientikaapeli, tapaus 1

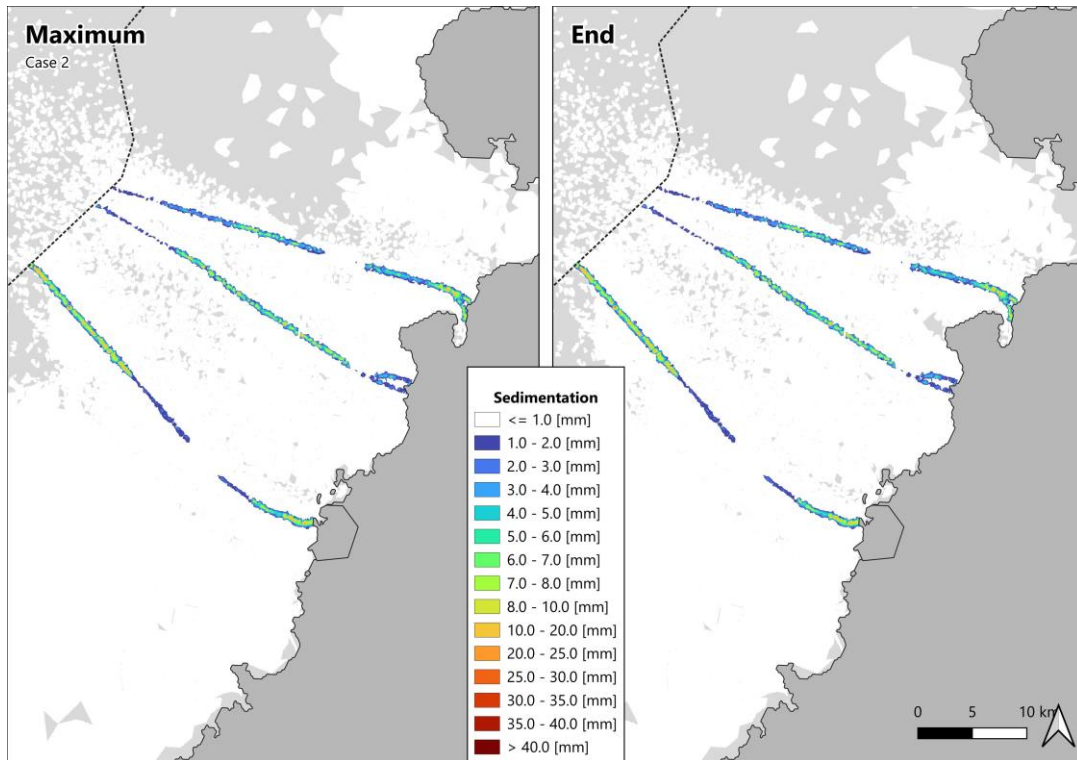
Mahdollisen vientikaapeleiden vesipainepuhalluksenaiheuttaman sedimentaation tulokset esitetään kohdissa

Kuva 8.18 ja Appendix 35.

Sedimentaatio korreloi sedimenttityypin ja liikkuneen aineksen määrän kanssa. Sekä kaapelin A että C osalta lyhyt osuus, jossa sedimentaatio on alle 1 mm, johtuu karkeammasta aineksesta. Sama koskee kaapelia B, joka

on lähellä rantaa, jossa kaksi mahdollista meriläjitysaluetta on erillään tuulivoimapuistoon kytketystä kaapelista, Appendix 1.

Yleisesti ottaen kolmen vaihtoehdon välillä ei ole suuria eroja lukuun ottamatta sitä, että kaapeliosuus A koostuu kymmenestä kaapelista ja kaapeliosuudet B ja C viidestä kaapelista, ja että kaapeliosuuden A hienorakeisen aineksen määrä lähellä tuulivoimapuistoa on huomattavasti suurempi kuin muilla kaapeliosuuksilla. Suurin sedimentaatio on noin 20 mm, ja +/- 400 metrin etäisyydellä leveimmässä kohdassa sedimentaatio on 1 mm.

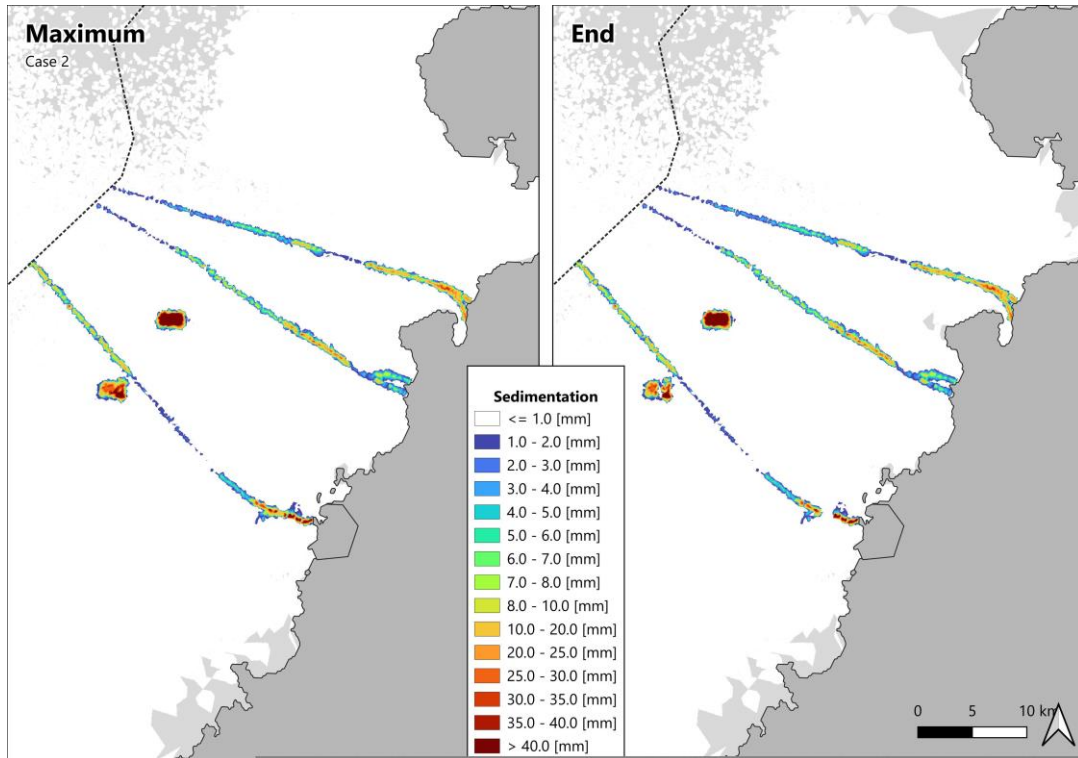


Kuva 8.18: Tapaus 1 – Sedimentaatio (vasemmalla: suurin kirjattu sedimentaatio (10 minuutin arvo), oikealla: simulaatiojakson loppu).

8.5.4. Vientikaapeli, tapaus 2

Mahdollisen vientikaapeleiden vesipainepuhalluksen ja ruoppauksen aiheuttaman sedimentaation tulokset esitetään kohdissa Kuva 8.19 ja Appendix 36.

Kuva poikkeaa tapauksesta 1 ruopattujen osuuksien kohdalla, jossa sedimentaatiota on enemmän (+/-500 m) kuin 1 mm. Syynä ovat läjitysalueet, joilla sedimentaatio on laajaa. Lisäksi kaapeleiden B ja C meriläjitysaluevaihtoehtojen välillä ei havaita merkittäviä eroja.



Kuva 8.19: Tapaus 2 – Sedimentaatio (vasemmalla: suurin kirjattu sedimentaatio (10 minuutin arvo), oikealla: simulaatiojakson loppu).

9. Lähialueen hydrodynaaminen vaikutus (CFD)

9.1. Mallin määrittäminen

Tällaisessa tapauksessa CFD-malli koostuu periaatteessa kahdesta seikasta:

- 1) vedenjohtokanavan verkosta, mukaan lukien painovoimaperustus ja ulostulo, ja
- 2) Ratkaisin, joka kuvaa nesteenvirtausongelmaa, esimerkiksi taustavirtaa ja tiheys-/lämpötilaeroja.

9.1.1. Painovoimaperustus-malli

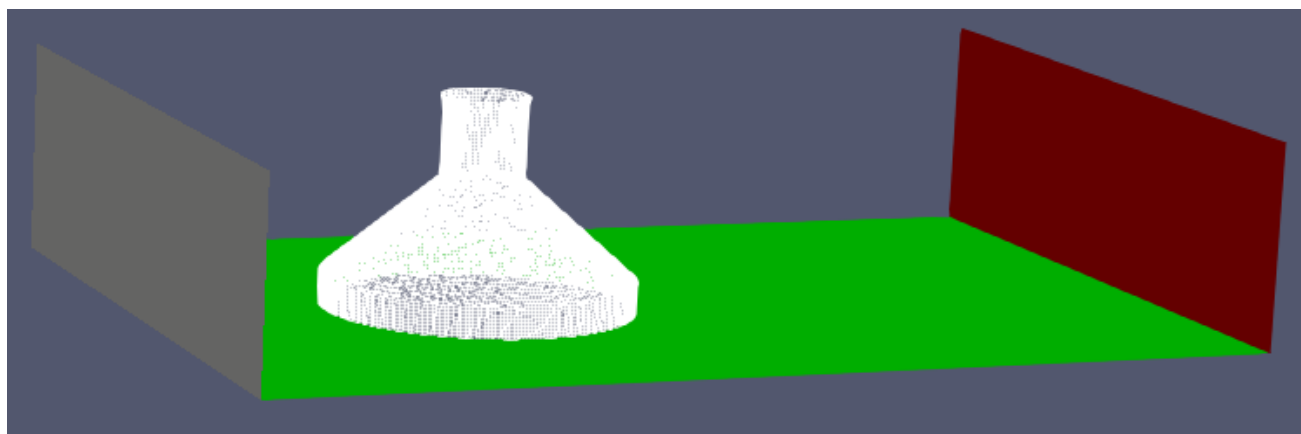
Käytettävissä olevien tietojen perusteella oletetaan, että 15 MW:n voimalan painovoimainen perustus 30 metriä syvässä vedessä on luvun 6.1.2 mukainen, ja ulostulo on juuri siellä, missä akseli ja kartiomainen osa kohtaavat eli noin 12 metriä pinnan alapuolella. Taustavirta on 2 cm/s (varovainen arvio => vähemmän leviämistä), veden tiheys 1002 kg/m³ ja lämpötila 2 °C. Suolaveden ja jäähdytysveden tiheys on 1005 kg/m³ ja lämpötila 25 °C.

9.1.2. Koeallas

Koealtaan päätarkoitus on pitää ympäröivä vesi ja maatilkut rajaolosuhteiden määrittelyä varten.

9.1.3. Rajat ja verkko

Tässä matalan taustavirran tapauksessa koealtaan laajuus virtaussuuntaan on -50:stä 100 metriin, pystysuuntaan +/- 50 metriä ja syvyys 30 metriä. Tämä on riittävästi tilaa virtauksen alkamiselle ylävirtaan, eikä alavirta vaikuta siihen, ja myös mahdollinen tukkeutuminen vältetään.



Kuva 9.1: Painovoimaperustuksen CFD-verkko sekä sisäänmeno- ja ulostuloraja (harmaa/punainen) ja merenpohja (vihreä).

9.2. Ratkaisin

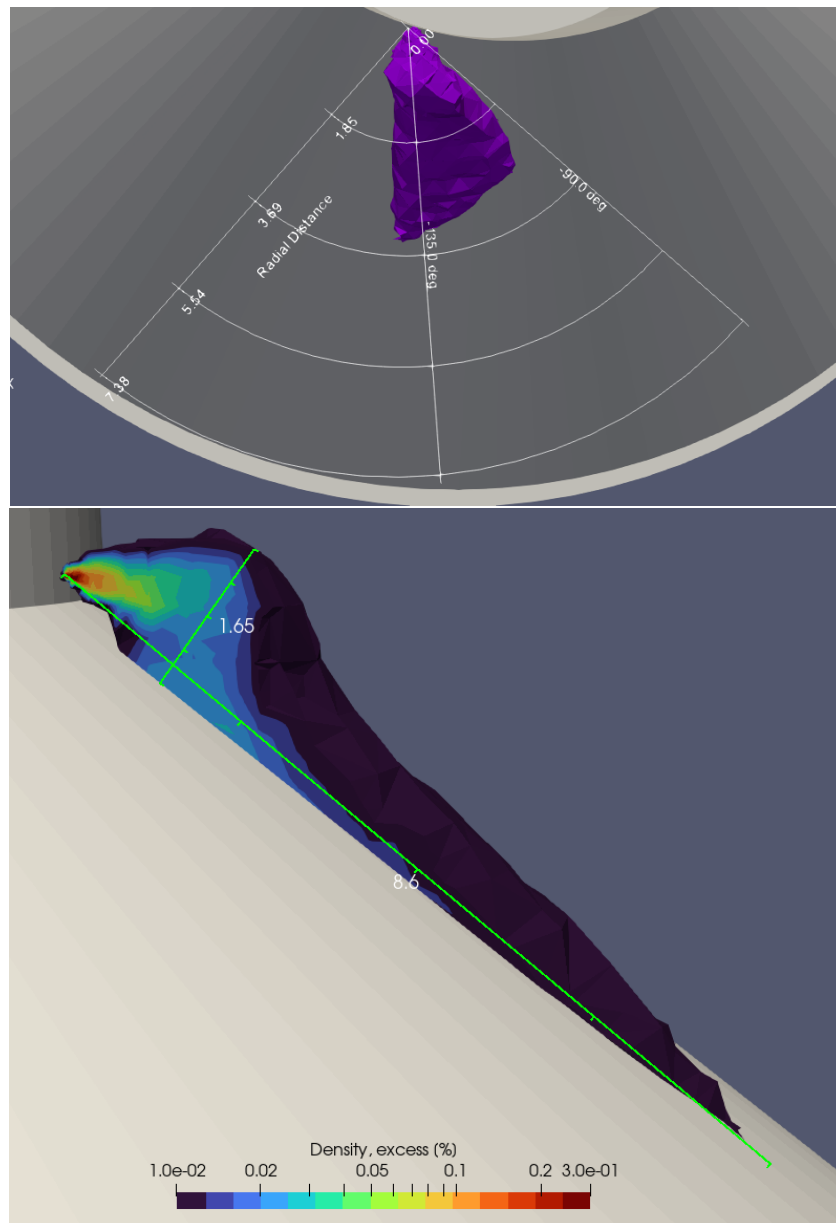
OpenFOAM (Open Field Operation and Manipulation) on avoimen lähdekoodin laskennallinen virtaussimulointiohjelmisto (CFD), jonka avulla käyttäjät voivat simuloida ja analysoida monimutkaisia nesteenvirtausongelmia. Yksi OpenFOAMin ominaisuuksista on monikomponenttisten nesteiden mallinnus, esimerkiksi eritiheyksisten vesien sekoittaminen, jossa tiheys on lämpötilan funktio käyttäen Boussinesq-approksimaatiota kuvaamaan tiheyttä lämpötilan funktiona.

Monikomponenttisilla nesteillä tarkoitetaan seoksia, jotka koostuvat useista erillisistä kemiallisista lajeista. Tällaisia ovat esimerkiksi kaasuseokset, nestemäiset liuokset ja monifaasivirtaukset. OpenFOAM tarjoaa puitteet tällaisten nesteiden käyttäytymisen simulointiin käyttämällä erilaisia matemaattisia malleja ja numeerisia tekniikoita.

OpenFOAMissa monikomponenttisten nesteiden mallinnuksessa otetaan huomioon yksittäisten komponenttien kulkeutuminen ja keskinäinen vaikutus seoksessa. Tähän sisältyy massansiirron, lajien diffuusion ja kemiallisten reaktioiden huomioon ottaminen, mukaan lukien kunkin komponentin ominaisuudet ja käyttäytyminen, kuten tiheys, viskositeetti, diffuusio ja reaktiokinetiikka.

9.3. Tulokset

Mallinnuksen tulokset osoittavat, että liian suolapitoisen ja lämpimän veden ptyymi liukenee lyhyessä ajassa ja saavuttaa tasapainotilan, jonka laajuus on noin 8 metriä ja ylitiehyys 1 %, kuten kuvasta (Kuva 9.2) käy ilmi. Tässä esimerkissä taustavirta on 2 cm/s ja sillä on siten minimaalinen vaikutus sekoittumiseen.



Kuva 9.2: Pyymin laajuus liuenntu 1 %:iin / 600 s. Ylhäällä: vaakasuuntainen laajuus, alhaalla: poikkileikkaus Painovoimaperustusta pitkin. Etäisyydet ovat metrejä.

Tämä osoittaa, että poistunut vesi on täysin sekoittunut lyhyen matkan päässä ulostulokohdasta, ja se on siten simuloitava MIKE 3D HD:llä käyttämällä karkeampaa verkkoa.

10. Alueellinen hydrodynaaminen vaikutus (MIKE3 HD)

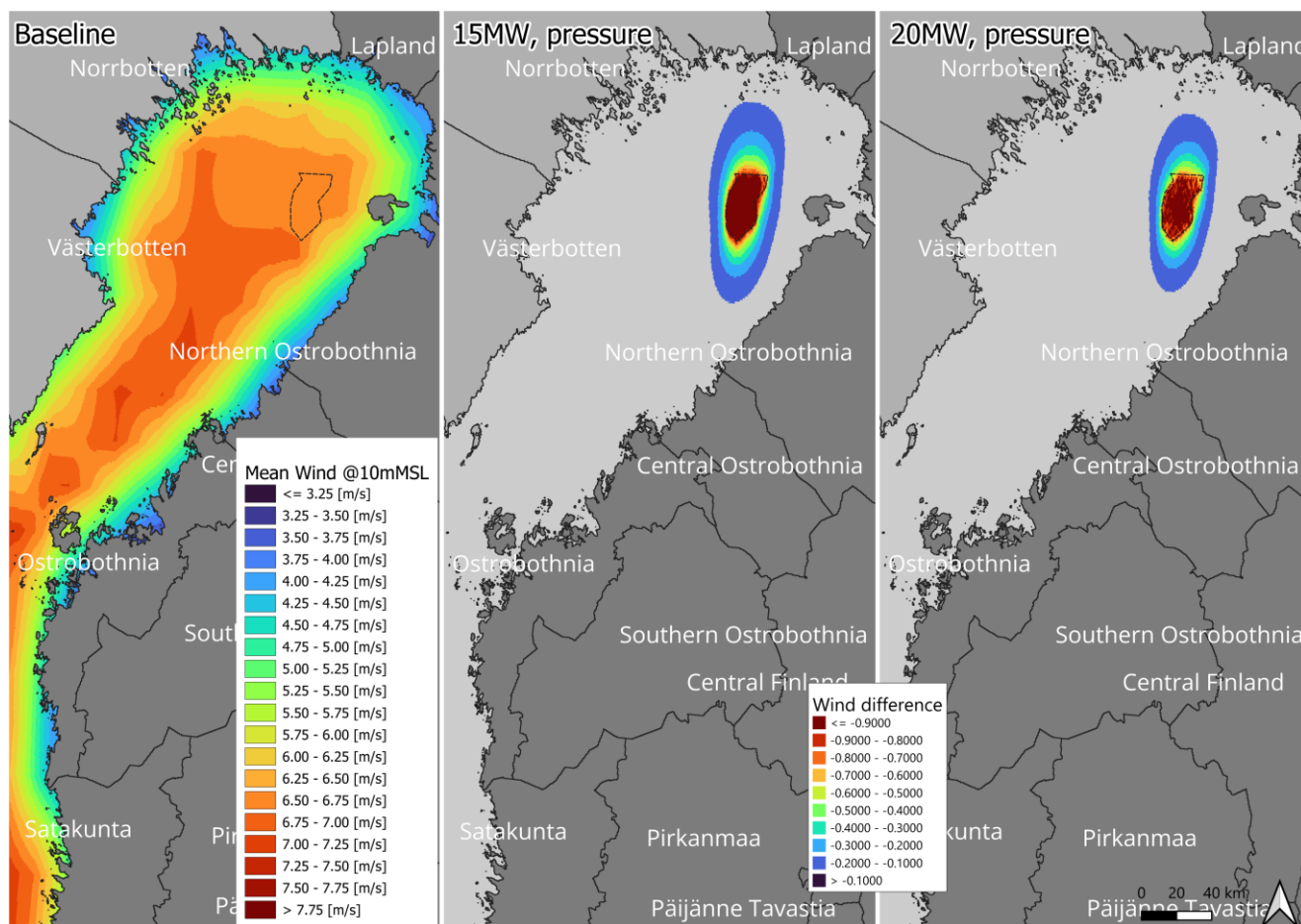
10.1. Mallin määrittäminen

Tuulivoimapuiston olemassaolosta aiheutuvan vaikutuksen simuloimiseksi hydrodynamiikkaan kohdistuva paine (kierto ja kerrostumiskuviot) on mallinnettu lisäämällä lähtötilanteen malliin perustus, vedyntuotannon ulostulo ja tuulikentän pieneneminen:

- i. Tuuli voimat: Tuulivoimapuiston alapuolista tuulikenttää on muutettu käyttämällä herätystoimintoa (Jensen, N.O., 1983) ottaen huomioon epätasaisuus (0,001 m), navan korkeus ja roottorin halkaisija taulukossa (Taulukko 6-1) esitetyllä tavalla sekä työntökerroin (c_t) tuulen nopeuksille, jotka ovat alle 5 ja 5–11 ja yli 15 m/s kussakin voimalaasennossa siten, että käynnistys on nopeudessa 3 m/s ja sammutus nopeudessa 25 m/s. Voimaloiden olemassaolon kuvaamiseksi tuulikenttien resoluutiota muutettiin 0,25°:sta 0,01°:seen (noin 0,65 km) ja herätysilmiön vaikutus merkittiin tuulen suunnan perusteella 5°:n askelin.
- ii. Jotta WAsP:llä simuloitu herätys olisi linjassa, kerroin k oli muutettava merituulivoimapuistojen suositellusta 0,04:stä 0,13:een.
- iii. Alusrakenne: Hydrodynaamisessa mallissa alusrakenteiden aiheuttama tukkeutuminen kuvataan yksinkertaisella vastuslailla vastuksen lisäämiseksi kussakin asennossa.
- iv. Ulostulo: Vedyntuotannosta peräisin olevaa suolavettä ja lämmintä vettä pidetään lähteinä taulukon (Taulukko 6-4) tietojen perusteella.

Tuulen nopeuden ja näistä kahdesta tapauksesta johtuvan tuulen nopeuden alenemisen havainnollistamiseksi vuotuinen keskimääräinen tuulennopeus vuonna 2021 (ECMWF, 2022) ja vähennykset esitetään kuvassa (Kuva 10.1).

Tällä hetkellä vuotuinen keskituulennopeus Hallan merituulivoimapuiston keskiosassa on noin 6,7 m/s 10 mMSL:ssä, ennustettu aleneminen 15 MW:n tapauksesta on 0,1 m/s 40 km etelään ja pohjoiseen sekä 0,1 m/s 10 km itään ja länteen. Tämä on suunnilleen sama 20 MW:n tapauksessa, mutta hieman pienemmässä määrin.



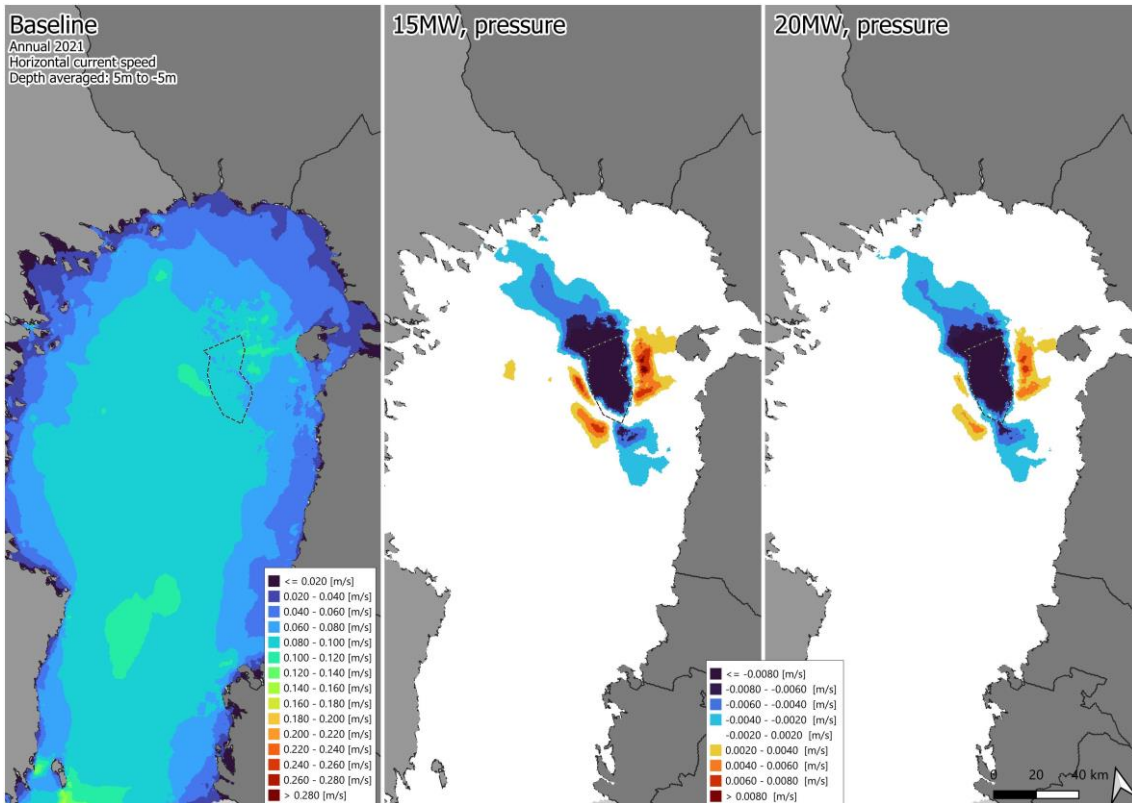
Kuva 10.1: Vuoden 2021 vuotuinen keskituulennopeus 10 mMSL:ssä. Vasemmalla: lähtötilanne, keskellä: aleneminen 15 MW:n tapauksessa, oikealla: aleneminen 20 MW:n tapauksessa.

10.2. Virtaus

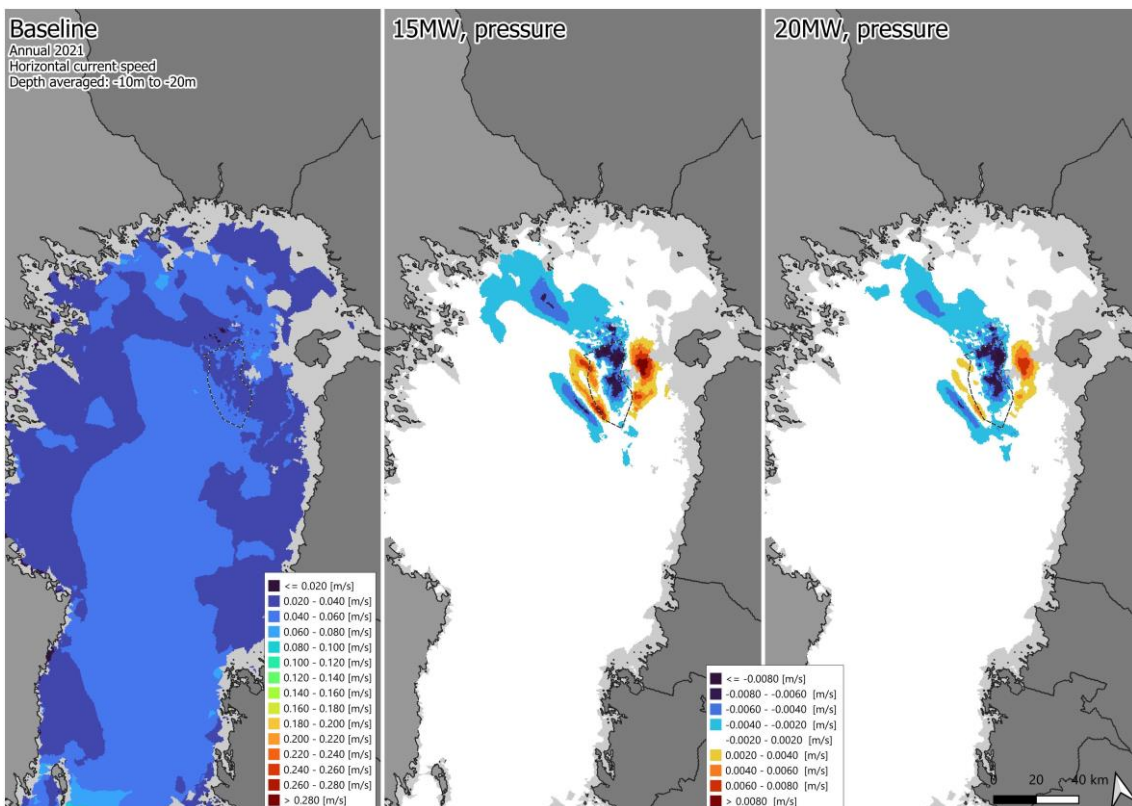
Suunnitellun tuulivoimapuiston vaikutus vuotuisiin virtauskuvioiden on esitetty kuvissa (Kuva 10.2–Kuva 10.4) eri syvyyksien osalta ja liitteessä Appendix 37 erikseen yksittäisten kuukausien osalta.

10.2.1. Lähtötilanne

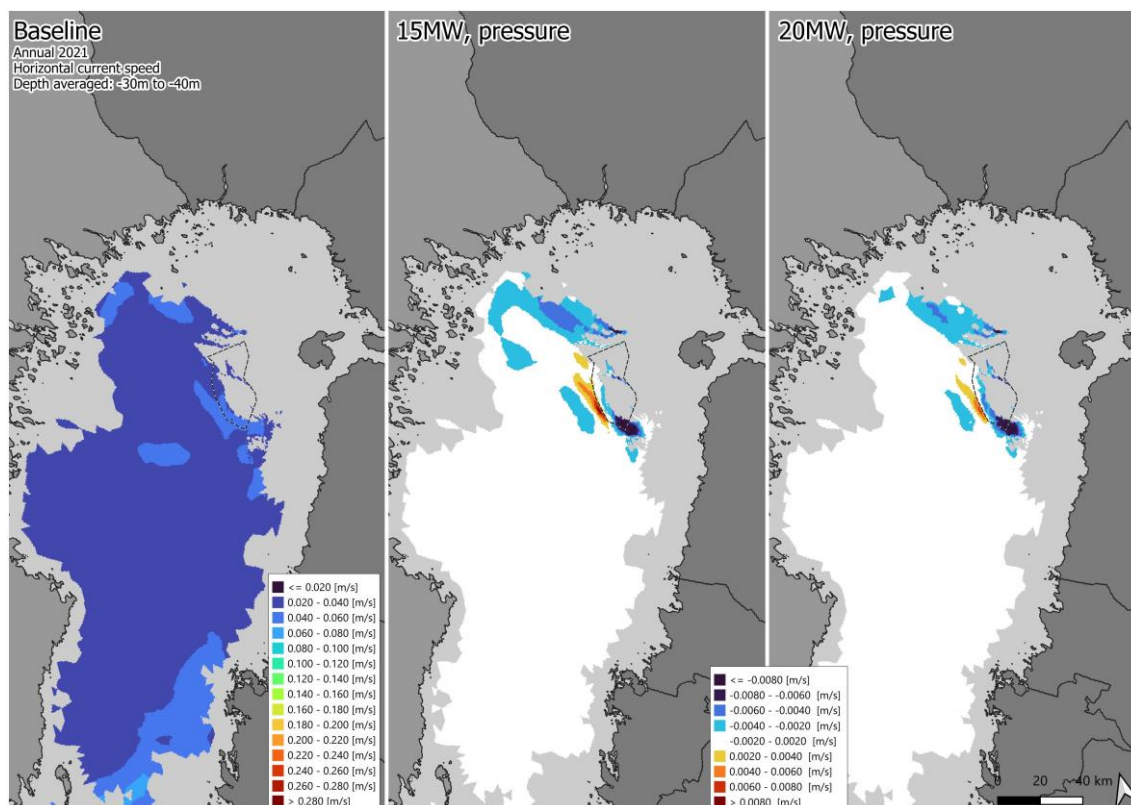
Virtausnopeudet vuoden 2021 keskimääräisissä olosuhteissa ovat yleisesti alhaisia Perämerellä, koska Itämerellä ei ole vuorovesiä (ks. Kuva 10.2–Kuva 10.4 ja Appendix 37). Esimerkiksi keskimääräiset pintavirtaukset välillä 0...–5 metriä (Kuva 10.2) vaihtelevat välillä 0,05–0,1 m/s ja pienenevät syvyyden myötä (Kuva 10.3 ja Kuva 10.4). Kun otetaan huomioon yksittäiset kuukaudet, kausivaihtelu on tunnistettavissa. Sille on ominaista voimakkaammat virtaukset kesäkuukausina (touko-syyskuu), ja vaihtelu on voimakkainta pinnalla ja vähenee syvyyden myötä.



Kuva 10.2: Vasemmalla: vuotuinen (2021) keskimääräinen virtausnopeus ylimmässä 5 metrissä. Keskellä ja oikealla: 15 MW:n (120 voimalaa) ja 20 MW:n (160 voimalaa) tapauksista johtuva virtausnopeuksien muutos.



Kuva 10.3: Vasemmalla: vuotuinen (2021) keskimääräinen virtausnopeus -10 ja -20 metrin välillä. Keskellä ja oikealla: 15 MW:n (160 voimalaa) ja 20 MW:n (120 voimalaa) tapauksista johtuva virtausnopeuksien muutos.



Kuva 10.4: Vasemmalla: vuotuinen (2021) keskimääräinen virtausnopeus –20 ja –30 metrin välillä (valkoiset alueet osoittavat syvyyden olevan vähemmän kuin –20 metriä, pohja). Keskellä ja oikealla: 15 MW:n (160 voimalaa) ja 20 MW:n (120 voimalaa) tapauksista johtuva virtausnopeuksien muutos.

10.2.2. 15 MW:n tapauksen paine

Suunnitellun tuulivoimapuiston 120 voimalaa pienentävät tuulivoimapuiston vuotuisia keskimääräisiä pintavirtausnopeuksia puiston etelä- ja pohjoispuolella (noin 0,008 m/s, mikä vastaa noin 10:tä prosenttia). Pintavirtauksen heikkeneminen on havaittavissa Ruotsin rannikkoalueella asti. Samalla tuulivoimapuiston itä- ja länsipuolella voidaan havaita virtauksen kiihtymistä. Vaikutus pienenee suuruudeltaan ja laajuudeltaan syvyyden myötä.

Kuten liitteestä Appendix 37 käy ilmi, vaikutus ei ole yhtä voimakas koko vuoden ajan, joten suurimmat muutokset virtauskuviossa ovat odotettavissa heinäkuusta syyskuuhun. Esimerkiksi syyskuussa voidaan havaita virtauksen laajamittaista kiihtymistä tuulivoimapuiston lounaispuolella.

10.2.3. 20 MW:n tapauksen paine

Yleisesti ottaen vaikutuksen suuruudessa ja 15 MW:n ja 20 MW:n tapauksien alueellisissa kuvioissa ei ole merkittävää eroa. 20 MW:n tapauksen vaikutus on yleensä pienempi, koska voimaloita on vähemmän (120 voimalaa) verrattuna 15 MW:n tapaukseen (160 voimalaa). Ero ei kuitenkaan ole selvempi, koska 20 MW:n tapauksessa suunnitellaan suurempia tuulivoimaloita, jotka aiheuttavat erikseen voimakkaamman vaikutuksen tuuleen (ks. Kuva 10.1) ja ovat suurempia esteitä virtauksille (roottorin halkaisija 276 m vs. 236 m, pohjan halkaisija 52 m vs. 42 m Taulukko 6-1).

10.3. Suolapitoisuus

Suunnitellun tuulivoimapuiston vaikutus vuotuisiin suolapitoisuuskuvioihin on esitetty kohdissa Kuva 10.5–Kuva 10.7 eri syvyyksien osalta ja Appendix 38 erikseen yksittäisten kuukausien osalta.

10.3.1. Lähtötilanne

Pintakerroksen (0–10 m) keskimääräinen suolapitoisuus vaihtelee välillä 0,1–4,5 PSU arvojen ollessa korkeammat Perämeren eteläosassa (Kuva 10.5). Suolapitoisuus on matalin rannikolla (johtuen jokipäästöistä) ja pohjoisosassa (johtuen suuremmasta etäisyydestä Pohjanmereen). Selkeää kausivaihtelua ei ole havaittavissa.

10.3.2. 15 MW:n tapauksen paine

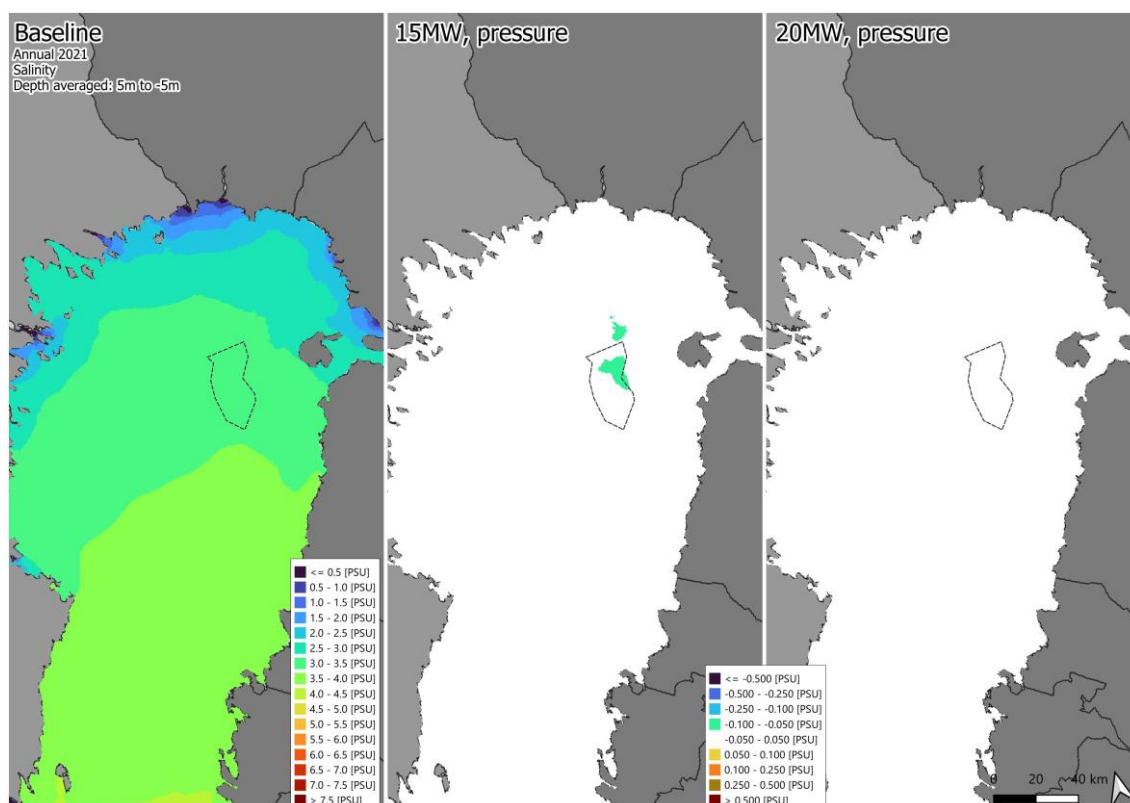
Vedyntuotannon seurauksena veden suolapitoisuus on lisääntynyt 10 metrin syvyydessä (ks. Taulukko 6-4). Simulointitulosten mukaan pinnan suolapitoisuuden voidaan odottaa laskevan enintään 0,05 PSU suhteessa vuotuisen keskiarvoon. Samaan aikaan voidaan havaita saman suuruusluokan suolapitoisuuden nousu 10 ja 20 metrin välillä.

Kun otetaan huomioon yksittäiset kuukaudet, Pohjanlahden pohjoisosassa on oletettavissa muutoksia suolapitoisuudessa, jolloin ei voida havaita hallitsevaa suolapitoisuuden nousua tai laskua. Vaikutus pienenee syvyyden myötä.

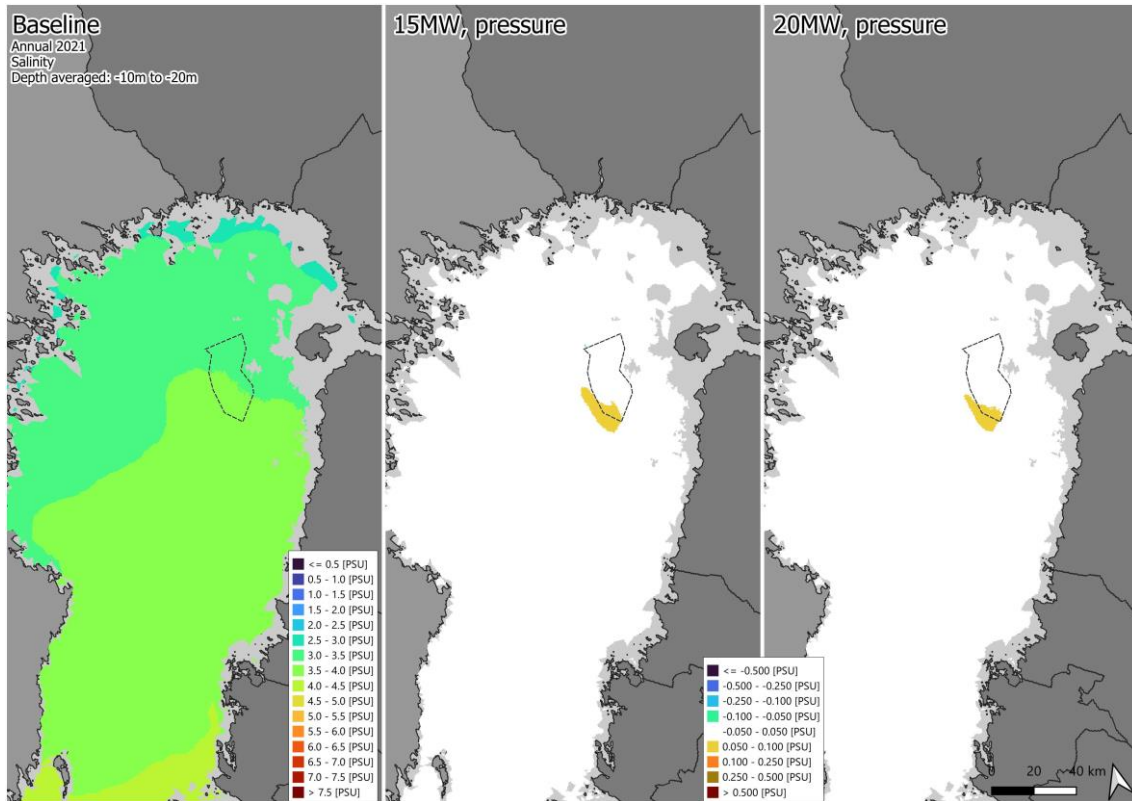
10.3.3. 20 MW:n tapauksen paine

Virtauksen mukaisesti 20 MW:n tapauksen vaikutus ei ole suolapitoisuuden osalta niin selkeä kuin 15 MW:n tapaus.

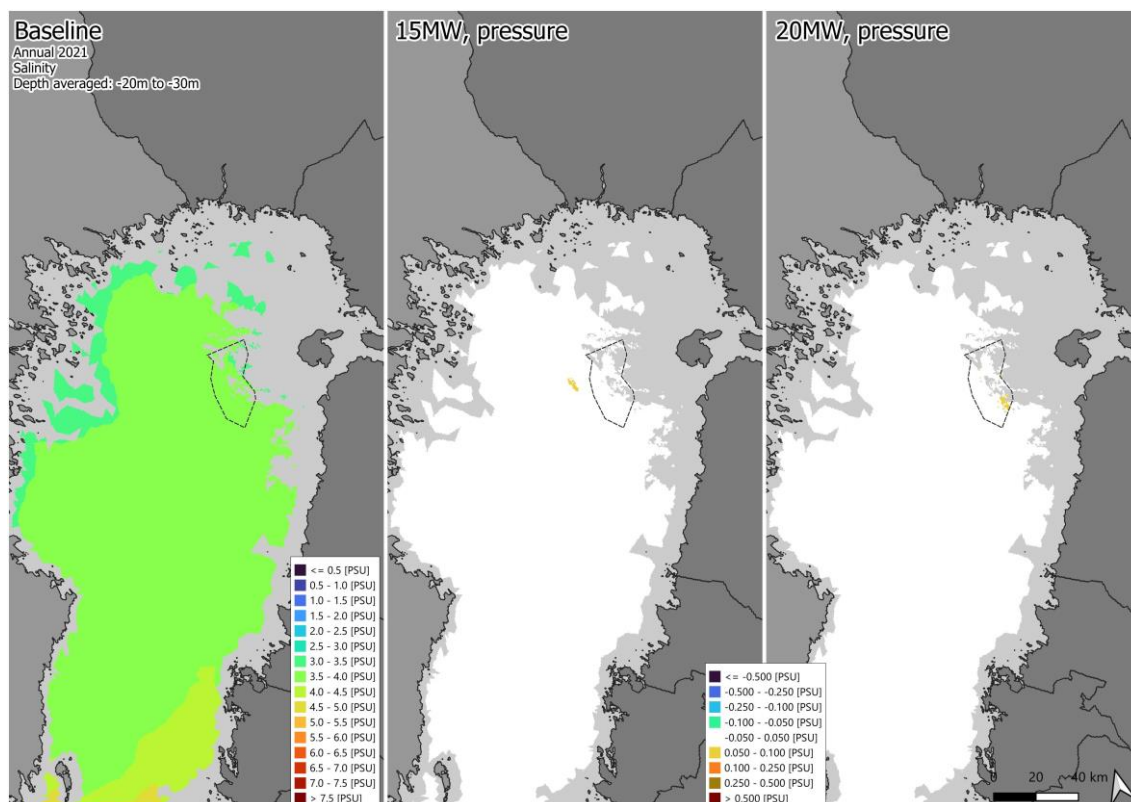
Vuotuisessa keskiarvossa (lukuun ottamatta välittömän lähteen syvyyttä) suolapitoisuuden muutos on alle 0,05 PSU. Kun tarkastellaan yksittäisiä kuukausia, voidaan havaita samanlaisia alueellisia kuvioita kuin 15 MW:n tapauksessa, vaikkakaan ei niin ilmeisiä.



Kuva 10.5: Vasemmalla: vuotuinen (2021) keskimääräinen suolapitoisuus ylimmässä 5 metrissä. Keskellä ja oikealla: 15 MW:n (120 voimalaa) ja 20 MW:n (160 voimalaa) tapauksista johtuva suolapitoisuuden muutos.



Kuva 10.6: Vasemmalla: vuotuinen (2021) keskimääräinen suolapitoisuus –10 ja –20 metrin välillä. Keskellä ja oikealla: 15 MW:n (160 voimalaa) ja 20 MW:n (120 voimalaa) tapauksista johtuva suolapitoisuuden muutos.



Kuva 10.7: Vasemmalla: vuotuinen (2021) keskimääräinen suolapitoisuus –20 ja –30 metrin välillä (valkoiset alueet osoittavat syvyyden olevan vähemmän kuin –20 metriä, pohja). Keskellä ja oikealla: 15 MW:n (160 voimalaa) ja 20 MW:n (120 voimalaa) tapauksista johtuva suolapitoisuuden muutos.

10.4. Lämpötila

Suunnitellun tuulivoimapuiston vaikutus alueellisiin vuotuisiin lämpötilakuvioihin on esitetty kuvissa (Kuva 10.8–Kuva 10.10) eri syvyyksien osalta ja liitteessä Appendix 39 erikseen yksittäisten kuukausien osalta. Lisäksi yksittäisten kuukausien keskiarvoa kuvaavat lämpötilaprofiilit ovat liitteessä Appendix 40.

10.4.1. Lähtötilanne

Vuoden 2021 vuotuinen keskimääräinen pintalämpötila (ylin 5 metriä) (Kuva 10.8) on yleensä korkeampi etelä- ja kaakkoisosassa (noin 7,5 °C) sekä matalampi rannikolla ja pohjois- ja luoteisosissa (5–6 °C). Alhaisimmat arvot ovat Ruotsin rannikolla, suunnitellun tuulivoimapuiston eteläpuolella.

Koska kesällä vesi lämpenee vain pinnalla tiettyyn syvyyteen, lämpötila kerrostuu. Vuotuiset keskilämpötilat laskevat syvyyden myötä (Kuva 10.9 ja Kuva 10.10 sekä Appendix 39). Termokliini on yleensä 10 ja 20 metrin välillä kesällä (Appendix 40). Tässä syvyydessä suurimman osan Perämeren vuotuinen keskilämpötila vaihtelee 4 °C:n ja 6 °C:n välillä lukuun ottamatta joitakin tuulivoimapuiston eteläpuolisia alueita, joilla lämpötila on yli 6 °C. 20–30 metrin syvyydessä keskilämpötila laskee 3–5 °C:seen suurimmassa osassa merialuetta.

Lämpötilaolosuhteet aiheuttavat voimakkaita vuodenaikaisvaihteluja (ks. Appendix 39 ja Appendix 40), ja laajoilla alueilla Perämeren pohjois- ja koillisosassa on ollut negatiivisia arvoja (jotka ilmaisevat jääpeitteen, kuten kohdissa Kuva 6.23 ja Kuva 6.24 on jo esitetty) joulukuun ja huhtikuun välisenä aikana. Keväällä lämpötilat nousevat suhteellisen jyrkästi. Tämä vaikutus on voimakkaampi Suomen rannikolla, mikä aiheuttaa voimakkaan alueellisen lämpötilamuutoksen heinäkuussa, jolloin alhaiset lämpötilat ovat noin 4–8 °C (20 metrin ja pinnan välillä) Ruotsin rannikolla ja korkeat lämpötilat yli 12–19 °C (20 metrin ja pinnan välillä) Suomen rannikolla.

Veden kokonaislämpötila on korkeimmillaan elo-syyskuussa 14–20 °C pinnalla ja 8–13 °C 10–20 metrin syvyydessä. Lämpötilat alkavat laskea syyskuun aikana.

10.4.2. 15 MW:n tapauksen paine

Vuotuisen keskilämpötilan osalta suunnitellun tuulivoimapuiston vaikutus on pienempi kuin -0,5...+0,5 °C ylemmässä 10 metrissä ja syvemmällä kuin 20 metriä sekä pienempi kuin -1,0...+1,0 °C 10–20 metrin syvyydessä.

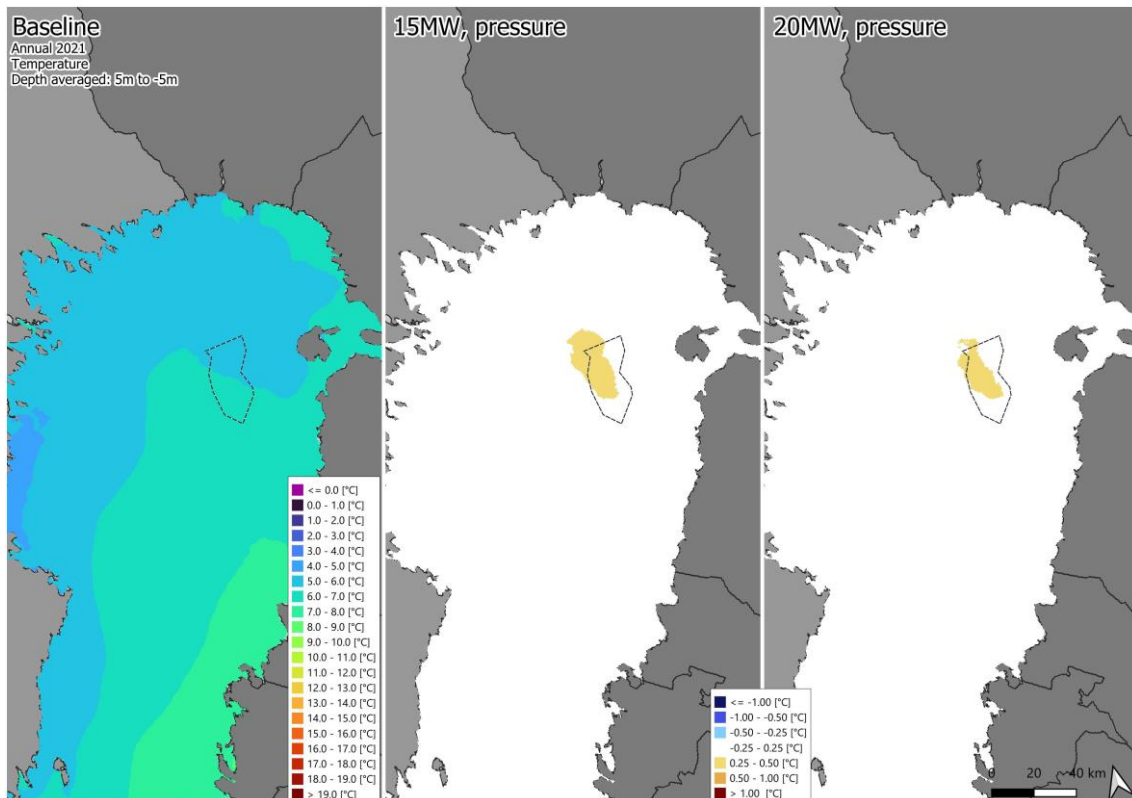
Kuukausittaisia lämpötiloja vastaavat tulokset osoittavat, että ylemmät kerrokset lämpenevät (0,25–0,50 °C), kun taas 5–30 metrissä tapahtuu samanaikaista mutta alueellisesti erillistä lämpenemistä ja viilenemistä, joka on voimakkainta kesäkuukausina (ero > ±1 °C). Tuulivoimapuiston pohjoispuolella lämpeneminen on vallitsevaa useimpina kuukausina, kun taas tuulivoimapuiston eteläpuolella olevalla alueella on odotettavissa viilenemistä.

Vaikutuksia lämpötilaan havainnollistetaan myös kuukausittaisilla pystyprofiileilla liitteessä Appendix 40. Tulokset paljastavat seuraavat erot:

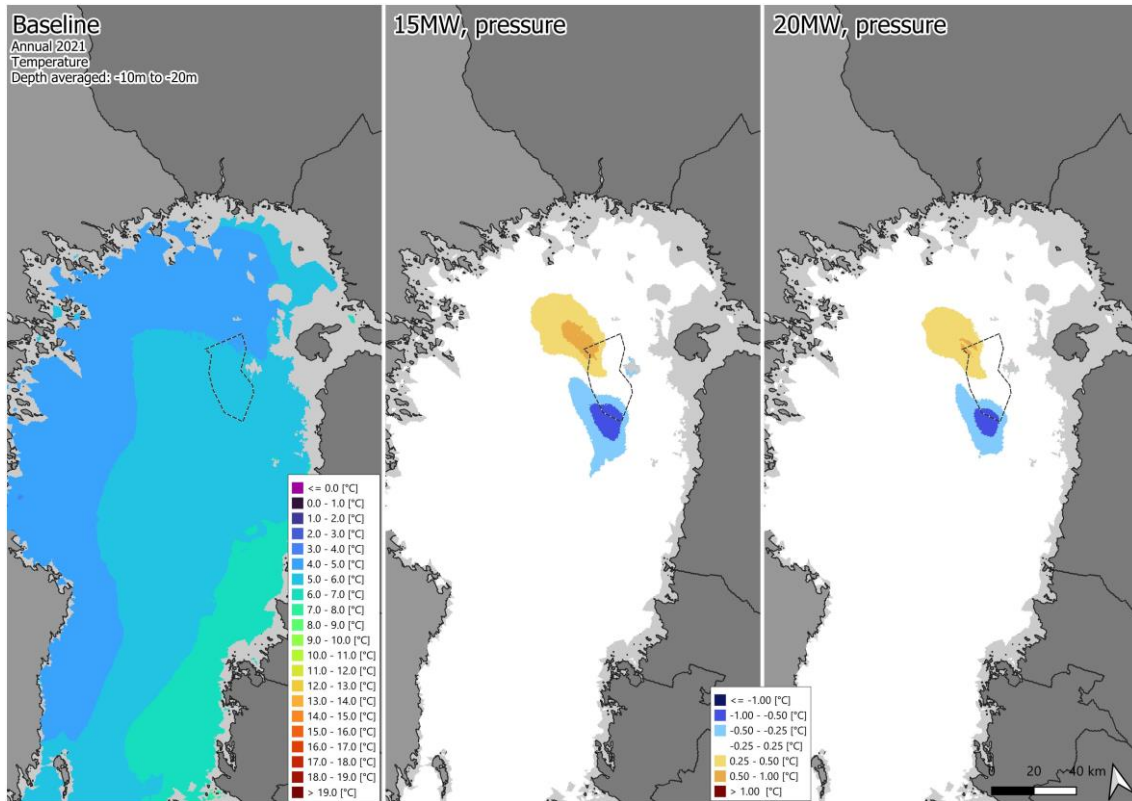
- Lämpötilojen nousu suuremmissa syvyyksissä tammi- ja helmikuussa
- Lisääntynyt lämpeneminen tuulivoimapuiston keski- ja pohjoisosassa kesä-, heinä- ja elokuussa
- Vähentynyt lämpeneminen tuulivoimapuiston eteläosassa kesä-syyskuussa, mikä aiheuttaa termokliinin siirtymiseen jopa 10 metrillä (10 metriä heinäkuun 20 metrin sijaan)

10.4.3. 20 MW:n tapauksen paine

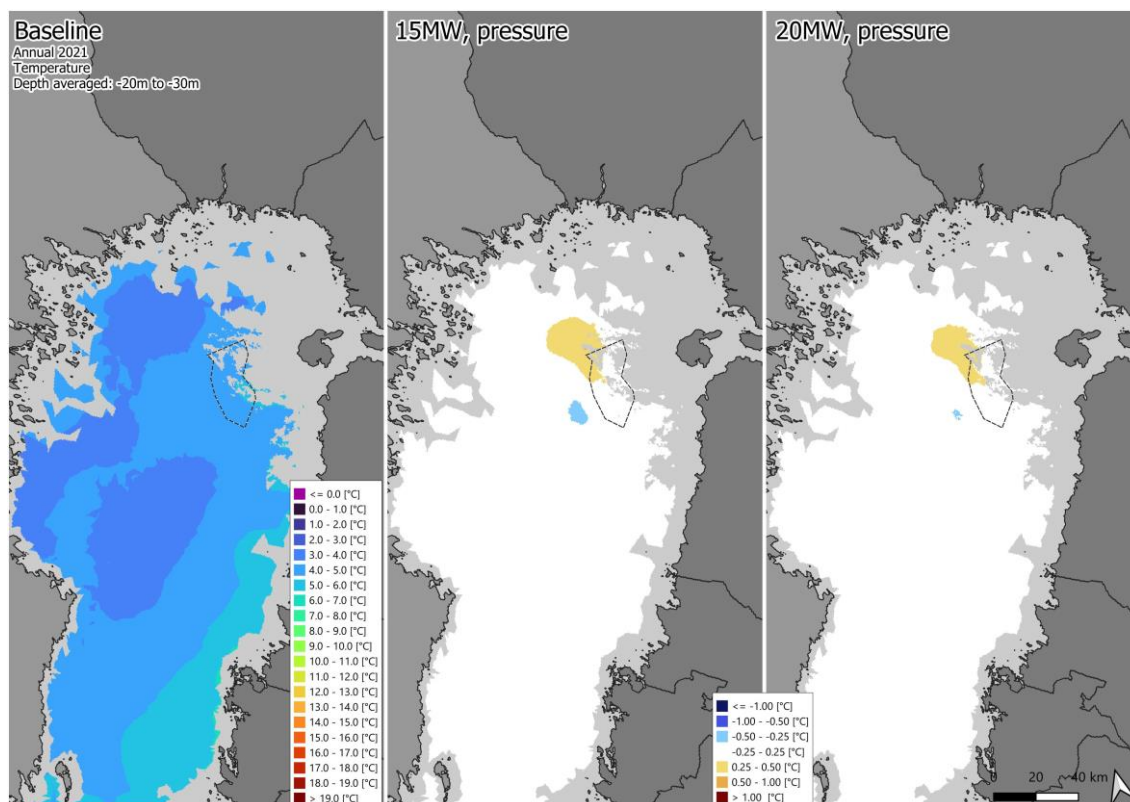
Virtauksen ja suolapitoisuuden havaintojen mukaisesti 20 MW:n tapauksessa voidaan havaita vertailukelpoisia vaikkakin vähemmän voimakkaita veden lämpötilan muutoksia.



Kuva 10.8: Vasemmalla: vuotuinen (2021) keskilämpötila ylimmässä 5 metrissä. Keskellä ja oikealla: 15 MW:n (120 voimalaa) ja 20 MW:n (160 voimalaa) tapauksista johtuva lämpötilan muutos.



Kuva 10.9: Vasemmalla: vuotuinen (2021) keskilämpötila –10 ja –20 metrin välillä. Keskellä ja oikealla: 15 MW:n (160 voimalaa) ja 20 MW:n (120 voimalaa) tapauksista johtuva lämpötilan muutos.



Kuva 10.10: Vasemmalla: vuotuinen (2021) keskilämpötila –20 ja –30 metrin välillä (valkoiset alueet osoittavat syvyyden olevan vähemmän kuin –20 metriä, pohja). Keskellä ja oikealla: 15 MW:n (160 voimalaa) ja 20 MW:n (120 voimalaa) tapauksista johtuva lämpötilan muutos.

10.5. Kohoaminen

Suunnitellun tuulivoimapuiston vaikutus alueellisiin vuotuisiin kohoamismalleihin on esitetty kohdissa Kuva 10.11–Kuva 10.13 eri syvyyksien osalta ja Appendix 40 erikseen yksittäisten kuukausien osalta.

10.5.1. Lähtötilanne

Keskimääräisen pystysuuntaisen virtausnopeuden havainto (Kuva 10.11–Kuva 10.13) osoittaa, että yleinen trendi on rannikko-osuuksillakohoava ja avomerellä laskeva, joka on voimakkainta 10–20 metrin syvyydessä. Kuvattu pystysuuntainen virtausnopeus on vain +/- 0,02 mm/s vuotuisessa keskiarvossa, mikä osoittaa, että virtaus ei ole voimakas.

Vuoden aikana (vrt. Appendix 41) havaitaan kuitenkin erilaisia ylös- ja alaspäin suuntautuvia kuvioita. Esimerkiksi ylöspäin suuntautuvat virtaukset hallitsevat Ruotsin rannikkoa 30 metrin syvyyteen helmi-huhtikuussa (kuukausittainen helmikuun keskiarvo > 0,08 mm/s). Maaliskuussa kohoamista on havaittavissa myös Suomen rannikolla. Ruotsin rannikon kohoava trendi yhdistettynä Suomen rannikon laskevaan trendiin jatkuu heinäkuuhun asti. Elokuussa virtaus muuttuu, ja syksyllä ei ole selvää kuviota.

Paikallisesti voimakkaammat virtausvaihtelut tuulivoimapuiston läheisyydessä johtuvat lisääntyneestä verkkoresoluutiosta, kun taas kauempana tuulivoimapuistosta suuremmat kennokoot tasoittavat pienimuotoisia virtauseroja.

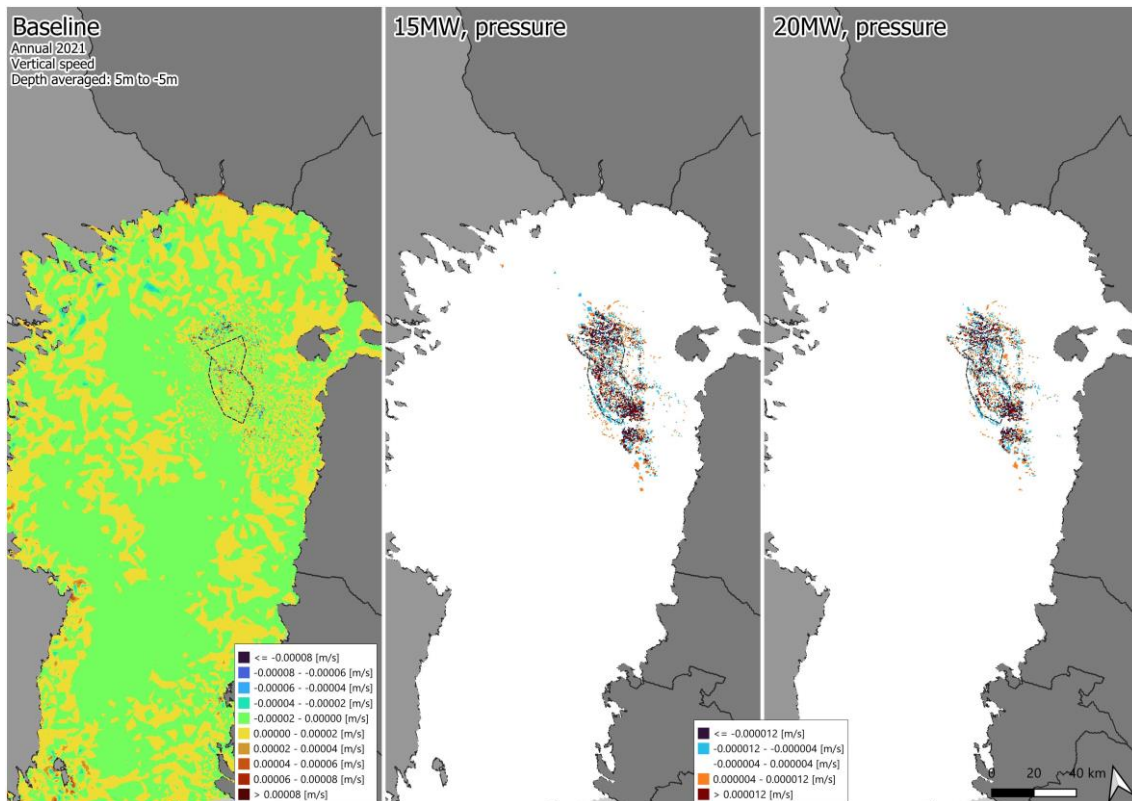
10.5.2. 15 MW:n tapauksen paine

Vuoden mittaan tapahtuvien hyvin pienimuotoisten, paikallisesti hyvin voimakkaasti vaihtelevien muutosten lisäksi pystysuuntaisen virtauksen vuosikeskiarvoa tarkasteltaessa on havaittavissa, että ylöspäin suuntautuva virtaus (kohoaminen) vahvistuu eteläisellä alueella jopa 0,000004 m/s -40 ja -5 metrin välillä (jopa 40 km muualla 20 km:n ympärillä).

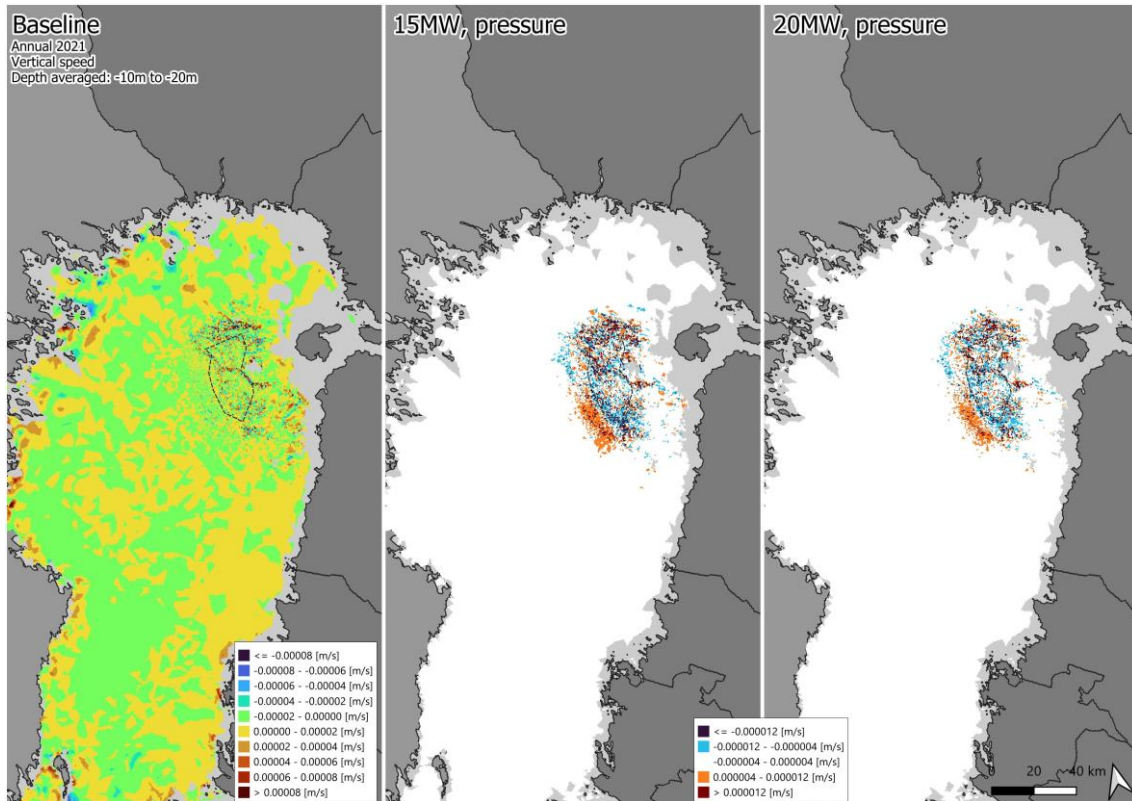
Muutoksen suuruus vaihtelee vuoden mittaan, vaikka selkeää kuviota ei olekaan havaittavissa.

10.5.3. 20 MW:n tapauksen paine

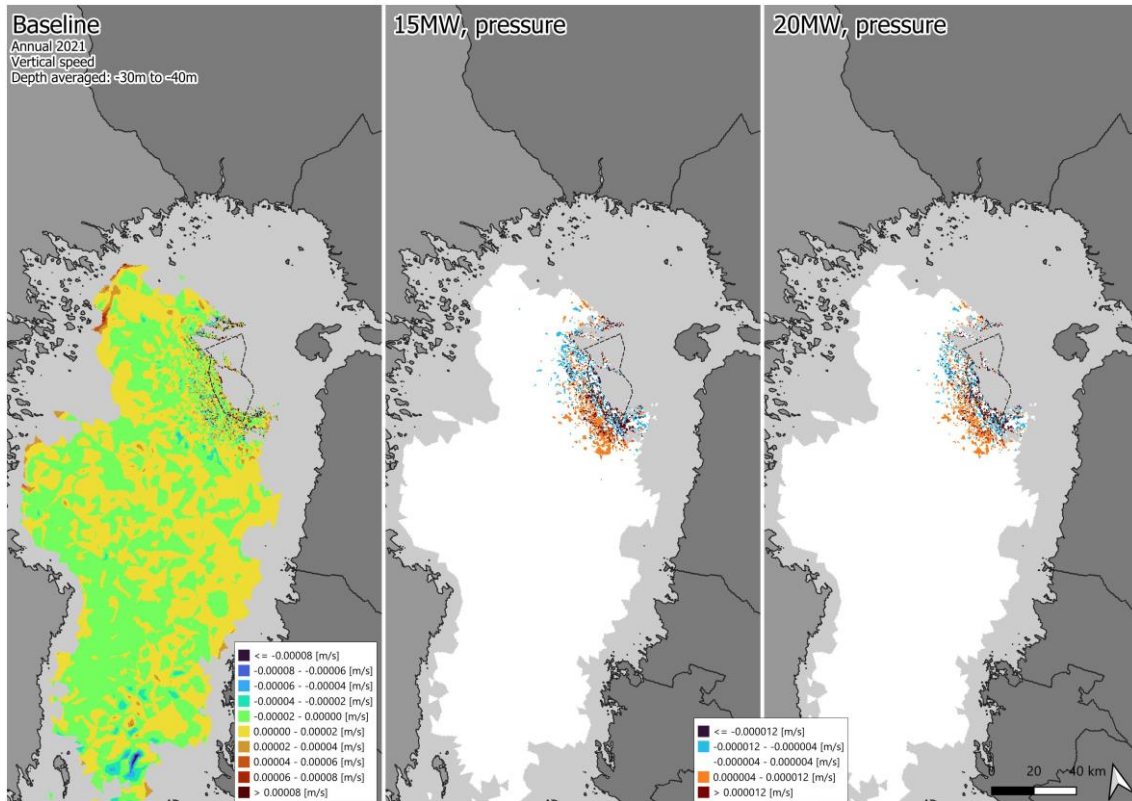
Koska eroja 15 MW:n tuulivoimapuistoon ei juurikaan ole, 20 MW:n tapauksen vaikutus arvioidaan samaksi.



Kuva 10.11: Vasemmalla: vuotuiset (2021) keskimääräiset pystysuuntaiset nopeudet ylimmässä 5 metrissä. Keskellä ja oikealla: 15 MW:n (120 voimalaa) ja 20 MW:n (160 voimalaa) tapauksista johtuva pystysuuntaisten nopeuksien muutos.



Kuva 10.12: Vasemmalla: vuotuiset (2021) keskimääräiset pystysuuntaiset nopeudet välillä –10 ja –20 metrin välillä. Keskellä ja oikealla: 15 MW:n (160 voimalaa) ja 20 MW:n (120 voimalaa) tapauksista johtuva pystysuuntaisten nopeuksien muutos.



Kuva 10.13: Vasemmalla: vuotuiset (2021) keskimääräiset pystysuuntaiset nopeudet – 20 ja –30 metrin välillä (valkoiset alueet osoittavat syvyyden olevan vähemmän kuin -20 metriä, pohja). Keskellä ja oikealla: 15 MW:n (160 voimalaa) ja 20 MW:n (120 voimalaa) tapauksista johtuva pystysuuntaisten nopeuksien muutos.

11. Viittaukset

- Copernicus. (2022, 10). *Baltic Sea Physics Analysis and Forecast, 2x2km*. Retrieved from https://resources.marine.copernicus.eu/product-detail/BALTICSEA_ANALYSISFORECAST_PHY_003_006/INFORMATION
- Copernicus. (2022, 10). *Baltic Sea Physics Reanalysis 4x4km*. Retrieved from Copernicus: https://resources.marine.copernicus.eu/product-detail/BALTICSEA_REANALYSIS_PHY_003_011/INFORMATION
- DHI/IOW Consortium. (2013). *Fehmarnbelt Fixed Link EIA. Marine Soil - Impact Assessment. Sediment Spill during Construction of the Fehmarnbelt Fixed Link. Report No. E1TR0059 - Voume II*. <https://vwm-documentation.femern.com/8.%20E1TR0059%20Vol%20II6fdc.pdf?filename=files/BR/8.%20E1TR0059%20Vol%20II.pdf>.
- ECMWF, C. C. (2022, 12 01). *Climate Data Store*. (ECMWF) Retrieved from <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form>
- EMODnet. (2021, 03 15). *Bathymetry*. Retrieved from portal.emodnet-bathymetry.eu/#
- EMODnet. (2022). *EMODnet geology*. Retrieved from https://www.emodnet-geology.eu/map-viewer/?p=sea_floor_geology
- EMODnet. (2023, 10 15). *Bathymetry*. Retrieved from portal.emodnet-bathymetry.eu/#
- EMODnet. (2023, 03 15). *Bathymetry*. Retrieved from portal.emodnet-bathymetry.eu/#
- HELCOM. (2023). *Baltic Sea Bathymetry Database*. Retrieved from <https://metadata.helcom.fi/geonet-work/srv/eng/catalog/search#/metadata/8b46e4c7-f911-44ab-89e6-2c8b8d9fa2c0>
- Jean-François Berthon and Giuseppe Zibordi. (2010). *Optically black waters in the northern Baltic Sea*.
- Jensen, N.O. (1983). *A note on wind generator interaction*. DTU.
- L.C. van Rijn. (2019). *TURBIDITY DUE TO DREDGING AND DUMPING OF SEDIMENTS*.
- SGU. (2020). <https://resource.sgu.se/service/wms/130/maringeologi-100-tusen>. Retrieved from Maringeologi 1:100 000: <https://resource.sgu.se/service/wms/130/maringeologi-100-tusen>



Halla merituulivoimapuisto

**Vaikutukset fyysiseen ympäristöön, 25 MW:n
tuulivoimalaitos**

Halla Offshore Wind Oy
Päivämäärä: 10. joulukuuta 2024

Tekijänoikeudet © Halla Offshore Wind Oy. Kaikki oikeudet pidätetään. Tätä asiakirjaa, sen liitteitä tai mitään osaa niistä ei saa kopioida, jäljentää, julkaista, levittää tai muokata milteenkään osin ilman Halla Offshore Wind Oy:n kirjallista lupaa.

Rev.nr.	Päivämäärä	Kuvaus	Tekijä	Tarkastaja	Hyväksyjä
01	20241191	Rev. 1	AIRN	TEB	TEB
02	20241129	Rev. 2, pieniä korjauksia	TEB	AIRN	TEB
03	20241210	Rev. 3, etusivun kuvan päivitys	TEB	AIRN	TEB

Contents

1.	Johdanto	4
1.1.	Työn laajuus.....	4
1.2.	Menetelmä	4
1.3.	Lyhenteet	4
2.	Taustatiedot.....	5
2.1.	Mitat	5
2.2.	Tuulivoimapuiston turbiinisijoittelu	5
2.2.1.	Vedyntuotanto, jätevesi - käyttövaiheessa	6
2.3.	Hydrodynaaminen malli.....	7
3.	Tulokset.....	8
3.1.	Tuuli	8
3.2.	Virtaukset.....	9
3.3.	Suolapitoisuus.....	12
3.4.	Lämpötila	15
3.5.	Yhteenveto	19
4.	Viitteet.....	20

Liite

- Liite 1 Hydrodynaaminen vaikutus: Nykyiset 2D-kartat
- Liite 2 Hydrodynaaminen vaikutus: Nykyiset alueelliset analyysit
- Liite 3 Hydrodynaaminen vaikutus: Keskivirran vertailu
- Liite 4 Hydrodynaaminen vaikutus: Suolaisuus - 2D-kartat
- Liite 5 Hydrodynaaminen vaikutus: Suolapitoisuus alueelliset analyysit
- Liite 6 Hydrodynaaminen vaikutus: Keskimääräisen suolapitoisuuden vertailu
- Liite 7 Hydrodynaaminen vaikutus: Lämpötila 2D-kartat
- Liite 8 Hydrodynaaminen vaikutus: Lämpötila alueelliset analyysit
- Liite 9 Hydrodynaaminen vaikutus: Lämpötilan vertailu

1. Johdanto

Halla Offshore Wind Oy on pyytänyt NIRAS:ia käsittelemään 25 MW:n tuulivoimaloita sisältävän tuulipuiston vaikutusta hydrodynamiikkaan verrattuna aiemmassa tutkimuksessa tehtyihin 15 MW:n ja 20 MW:n tapauksia koskeviin tuloksiin. (NIRAS, 2023-12-20) kuten molempien osapuolten allekirjoittamassa CTR04-asiakirjassa kuvataan.

1.1. Työn laajuus

Hydrodynaamisten mallien päivitys, joissa otetaan huomioon 25 MW:n tuulivoimalan vaikutus tuuleen, kun käytetään samaa tuulivoimapuiston turbiinisijoittelua kuin 20 MW:n tapauksessa

1.2. Menetelmä

25 MW:n turbiinien hydrodynamiikkaan kohdistuvien vaikutusten arvioimiseksi on käytetty Pohjanlahden 3D-hydrodynaamista mallia, joka on kalibroitu osana aikaisempaa raporttia (NIRAS, 2023-12-20) seuraavanlaisesti:

- 1) Pohjanlahden 3D-hydrodynaaminen malli, joka sisältää 20 MW:n tuulipuiston turbiinisijoittelun, päivitetään 25 MW:n tuulivoimaloiden tuulivaikutuksella, ja sen vaikutusta virtauksiin, suolapitoisuuteen ja lämpötilaan arvioidaan vertaamalla sitä perustilanteeseen (tilanne ilman tuulipuistoa).
- 2) Eri tuulipuistotapausten (15 MW, 20 MW ja 25 MW) vaikutusten vertailu esitetään kuvien ja GIS-karttojen muodossa syvyyskeskiarvoina (10 metrin välein) esitettyjen virtaaman, lämpötilan ja suolapitoisuuden kuukausittaisten arvojen avulla. Graafinen esitys on sama kuin edellisessä raportissa, (NIRAS, 2023-12-20) lukuun ottamatta sitä, että kolmen tapauksen vaikutukset esitetään rinnakkain ja perustilannetta (tilanne ilman tuulipuistoa) ei esitetä.
- 3) Tilaajan mukaan 25 MW:n turbiinin roottorin halkaisija on 340 metriä ja napakorkeus 200 metriä. Teho- ja työntövoimakäyrät on tarkoitus skaalata 15 MW:n turbiinista ja käyttää niitä aaltomallin syötteenä tuuliolosuhteiden muuttamiseksi.

1.3. Lyhenteet

Virtauksen suunta	Suunta jota kohti menossa
FOU	Perustusrakenne, alempi tukirakenne
GBS	Painovoimaperustus
MP	Paaluperustus
OSS	Merisähköasema
OWF	Merituulivoimapuisto
Aallon suunta	Suunta josta aalto tulee
Tuulen suunta	Suunta josta aalto tulee
WTG	Tuulivoimala
SMHI	Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
FMI	Ilmatieteen laitos
ADCP	Akustinen Doppler-virtausprofiilimittari
PSU	Veden suolapitoisuuden yksikkö

2. Taustatiedot

Seuraavissa alaluvuissa käsitellään yksityiskohtaisesti 15 MW:n, 20 MW:n ja 25 MW:n tapauksen välisiä mittavaihteluita sekä annetaan tietoja tuulipuiston sijainnista ja 25 MW:n asennuksessa käytetystä turbiinisijoittelusta.

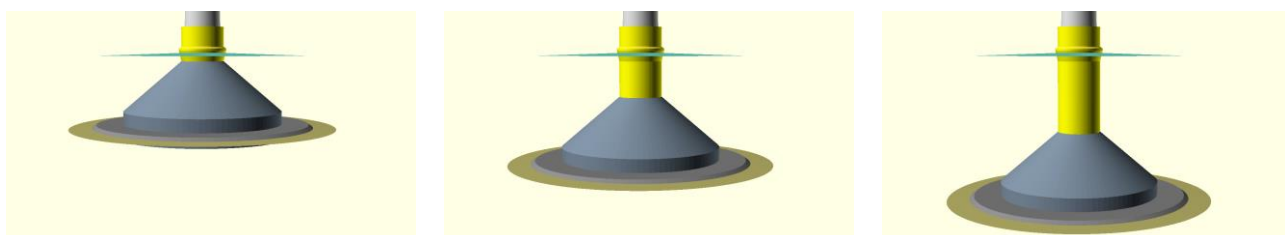
2.1. Mitat

Taulukko 2.1 on lueteltu hydrodynaamisessa mallinnuksessa käytettävien tuulivoimaloiden ja perustuksien mitat sekä 15 MW:n, 20 MW:n että 25 MW:n tapauksessa. Oletuksena on, että perustusrakenteen alaosa (pohjalevy ja kartio) on riippumaton veden syvyydestä, joten ainoastaan siirtymäkappaleen pituus muuttuu paikasta toiseen, kuten on esitetty kuvassa 2.1.

Taulukko 2.1: Voimalan ja perustuksen mitat 15, 20 ja 25 MW:n tapauksia varten.

c		Yksikkö	Tapaus		
			15 MW	20 MW	25 MW
WTG	Roottorin halkaisija	m	236	276	340
	Navan korkeus	m	150	170	200
GBS, WTG	Siirtymäkappale, halkaisija	m	10	12	12
	Pohjan halkaisija, pohja	m	45	52	52
	Pohjan halkaisija, yläosa	m	10	12	12
	Pohja, korkeus kartio	m	12	12	12
	Pohja, korkeus laatta	m	5	5	5
GBS, OSS	Siirtymäkappale, halkaisija	m	10	10	10
	Pohjan halkaisija, pohja	m	45	45	45
	Pohjan halkaisija, yläosa	m	10	10	10
	Pohja, korkeus kartio	M	12	12	12
	Pohja, korkeus laatta	M	5	5	5

25 MW:n turbiinin teho- ja työntövoimakäyrät on skaalattu 22 MW:n turbiinista. (REFWIND, IEA Wind Task 55, u.d.). ja niitä käytetään varjostusmallin syöttötietona. (Jensen, N.O., 1983). tuulikenttien muokkaamiseksi. Edellisessä tutkimuksessa 20 MW:n turbiini skaalattiin 15 MW:n turbiinista.

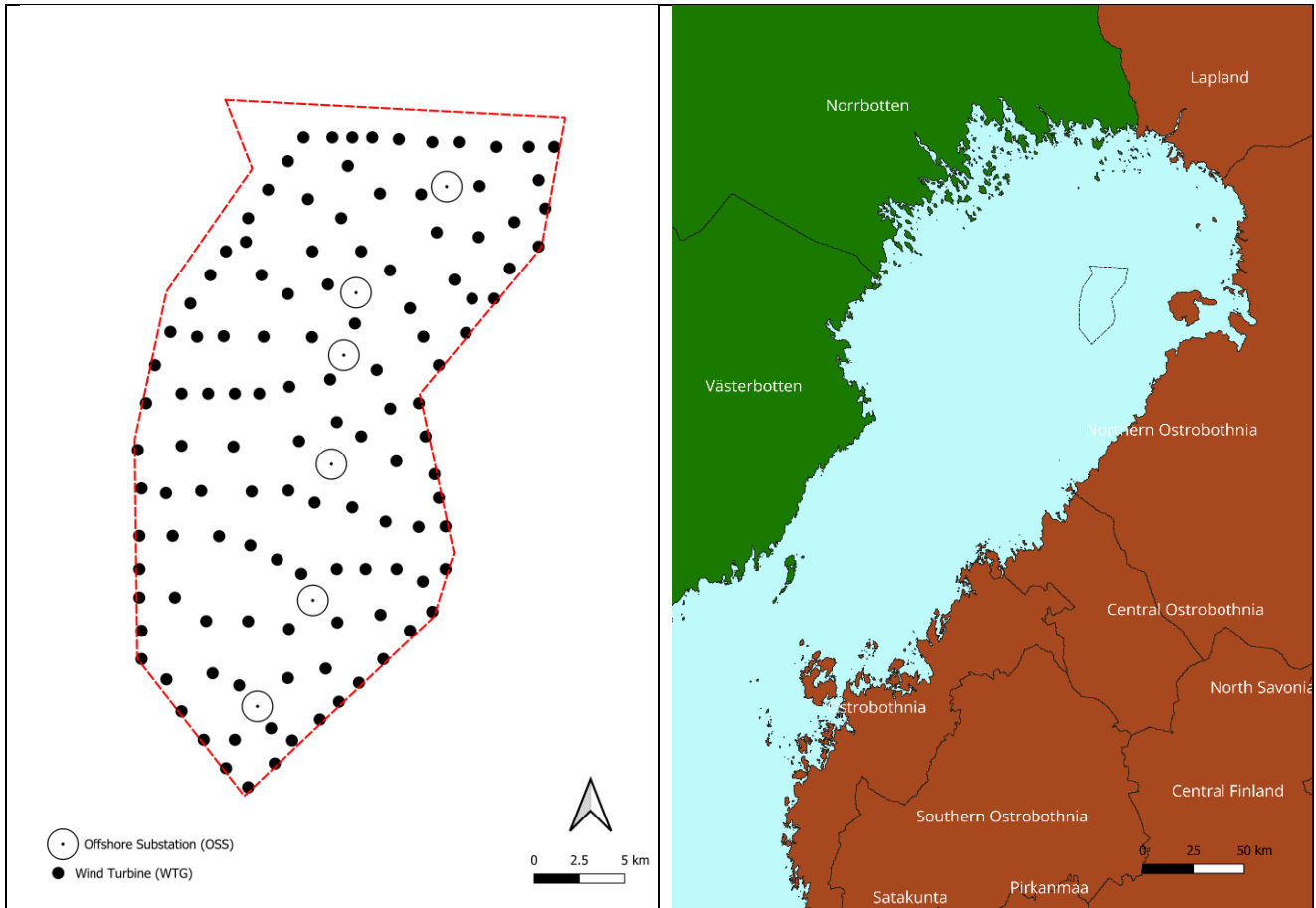


Kuva 2.1: Luonnos tuulivoimalan painovoimaisesta perustuksesta, jota käytettiin hydrodynaamisen mallinnuksen syötteenä 20, 30 ja 40 metrin vesisyvyydessä.

2.2. Tuulivoimapuiston turbiinisijoittelu

Hallan meritulivoimapuiston sijoitusuunnitelma on esitetty seuraavassa (Kuva 2.1). Alueen pinta-ala on 575 km², ja 20/25 MW:n tapauksessa turbiinien kokonaismäärä on 120. Tässä mallissa edustavana lukumääränä

pidetään kuutta merialueen sähköasemaa, mikä vastaa YVA:n sisältöä, jonka mukaan hankkeessa on kolmesta kahdeksaan merialueen sähköasemaa.



Kuva 2.2: Halla, tuulivoimapuiston pohjapiirros. Vasemmalla: 20/25 MW:n turbiinit ja oikealla: Yleiskuva (ruskea: Suomi, vihreä: Ruotsi).

2.2.1. Vedyntuotanto, jätevesi - käyttövaiheessa

Kussakin 15 MW:n, 20 MW:n tai 25 MW:n tuulivoimalan sijoituspaikassa on tarkoitus tuottaa vetyä, joka vaatii puhdistettua vettä ja jäähdytysvettä, kuten taulukossa 2.2 esitetään.

Taulukko 2.2 Vedin tuotanto, luvut mallinnuksessa voimalaa kohden. Taustasuolaisuus 2 PSU.

Tapaus	Parametri	Yksikkö	Sisääntulo	Outlet
15 MW turbiini	Prosessivesi	[m ³ /s]	0.004	0.002
	Suolapitoisuus	[PSU]	tausta	yli 5
	Lämpötila	[°C]	tausta	yli 15
	Jäähdytysvesi	[m ³ /s]	0.05	0.05
20 MW:n turbiini	Prosessivesi	[m ³ /s]	0.006	0.003
	Suolapitoisuus	[PSU]	tausta	yli 5
	Lämpötila	[°C]	tausta	yli 15
	Jäähdytysvesi	[m ³ /s]	0.07	0.07

25 MW:n turbiini	Prosessivesi	[m ³ /s]	0.006	0.003
	Suolapitoisuus	[PSU]	tausta	yli 5
	Lämpötila	[°C]	tausta	yli 15
	Jäähdytysvesi	[m ³ /s]	0.07	0.07

Sekä vedenotto- että poistoputken oletetaan sijaitsevan noin 10 metriä pinnan alapuolella.

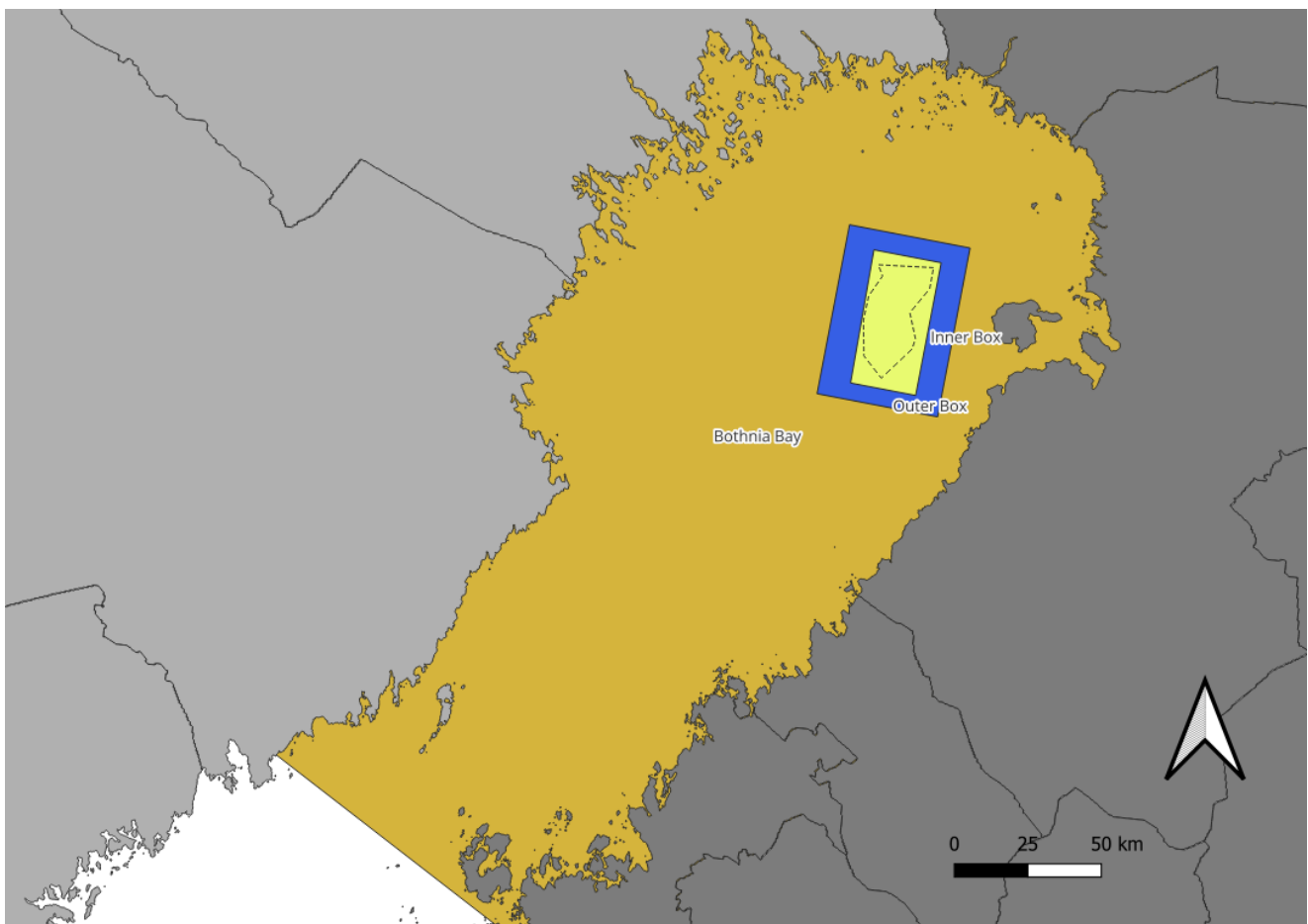
2.3. Hydrodynaaminen malli

Tämän tutkimuksen taustalla on 3D-hydrodynaaminen malli, joka on kalibroitu vedenkorkeuden, virtauksen, suolapitoisuuden ja lämpötilojen osalta edellisessä tutkimuksessa, joka on kuvattu asiakirjassa (NIRAS, 2023-12-20). Tässä tutkimuksessa käytettiin uudelleen 20 MW:n turbiinien mallia ulkoasun ja alusrakenteen mittojen osalta, mutta suurempien 25 MW:n tuulivoimaloiden aiheuttamien varjostushäviöiden avulla.

3. Tulokset

Jäljempänä esitetyissä kuvissa korostetaan 25 MW:n turbiinisijoittelun vaikutuksia sekä 15 MW:n ja 20 MW:n turbiinisijoittelun aiemmin todettuja vaikutuksia. Vaikutukset esitetään tässä 2D-karttoina vuotuisista tai kuu-kausittaisista 10 metrin syvyyskeskiarvoista, jotka on laskettu hankkeen (joko 15MW, 20MW tai 25MW) ja perusskenaarion (ilman tuulipuistoa) välisenä erotuksena.

Lisäksi vaikutuksen kvantifioimiseksi on esitetty tuulivoimaloiden kanssa toteutetun mallinnuksen ja nykytilan välisen kokonaismassavirran ero kahdessa tuulipuistoa ympäröivässä laatikossa, kuten on esitetty kuvassa 3.1. Tulos esitetään prosentteina suhteessa perustilanteeseen. Positiivinen arvo tarkoittaa lisääntynyttä virtausta, kun taas negatiivinen arvo tarkoittaa vähentynyttä virtausta. On huomattava, että merkittävät muutokset virtauksessa eivät välttämättä johda merkittäviin muutoksiin todellisissa arvoissa.



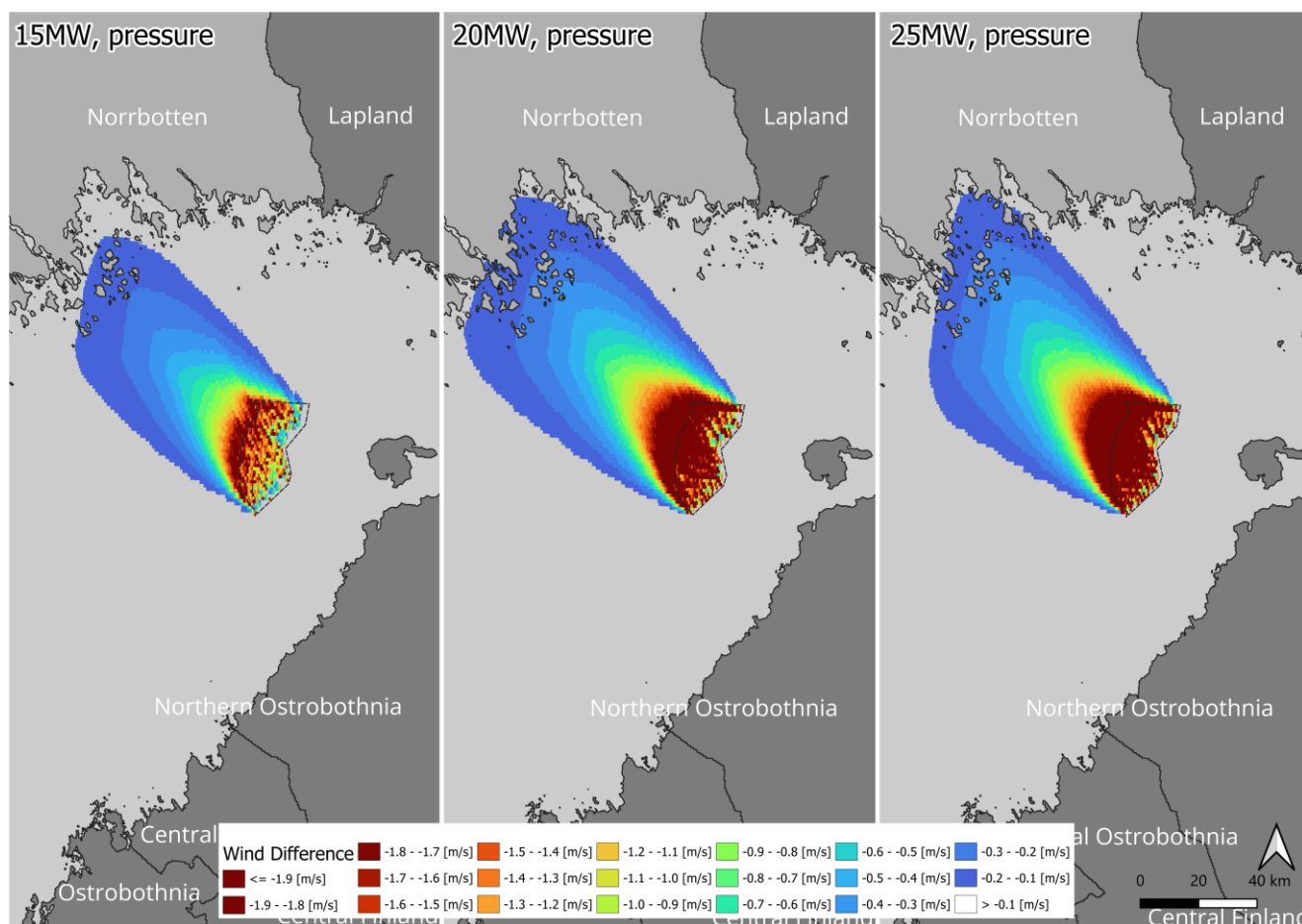
Kuva 3.1: Hallan merituulivoimapuisto, massavirtaus- ja pinta-ala/syvyys-analyyysien laatikoiden sijainti. Keltaisella sisempi laatikko ja sinisellä ulompi laatikko.

3.1. Tuuli

Kolmen turbiinisijoitteluvaihtoehdon vaikutuksesta tuulen nopeuteen on esitetty tuulen väheneminen 2021-08-25 klo 6:00, mikä havainnollistaa tuulen nopeuden vähenemistä (Kuva 3.2). Tällä hetkellä keskimääräinen tuulen nopeus 10 metriä keskivedenkorkeuden yläpuolella on 11,6 metriä sekunnissa tuulipuiston keskellä. Nimellistuulennopeus 15 MW:n ja 20 MW:n voimaloille on $\approx 10,5$ m/s ja 25 MW:n voimalalle 10,9 m/s.

Tuuli ei vaikuta ainoastaan pintaveden liikkeisiin vaan myös haihtumiseen, joka puolestaan vaikuttaa pintaveden lämpötilaan. Esimerkiksi tuulen väheneminen johtaa haihdunnan vähenemiseen, mikä nostaa veden pintalämpötilaa.

Koska tuuli pysyy vakiona tunneittain eikä ilmakehän vakautta oteta huomioon, tuulen vaikutusta pidetään varovaisena. Epävakaa ilmakehä minimoisi turbiinien vaikutuksen tuuleen sekä mittakaavan että vaaka- ja pystysuuntaisen leviämisen osalta. Tämä vaikuttaa myös ennustettuihin muutoksiin virtauksissa, suolapitoisuudessa ja lämpötilassa, mikä johtaa lopulta konservatiiviseen vaikutukseen.



Kuva 3.2: Vaikutus tuuleen 2021-08-25 6:00, Vasen: 15MW, Keskimmäinen: 20MW ja Oikea: 25MW.

3.2. Virtaukset

Vaikutukset alueellisiin virtausNopeuskuvioihin esitetään Kuva 3.3-3.5 ja liitteessä 1. Kuvissa 6-8 liitteessä 2 esitetään yhteenveto enimmäis- ja vähimmäisvaikutuksista. Lähtötilanteen (tilanne ilman tuulipuistoa) kuvauksen osalta viitataan **seuraavaan taulukkoon** (NIRAS, 2023-12-20).

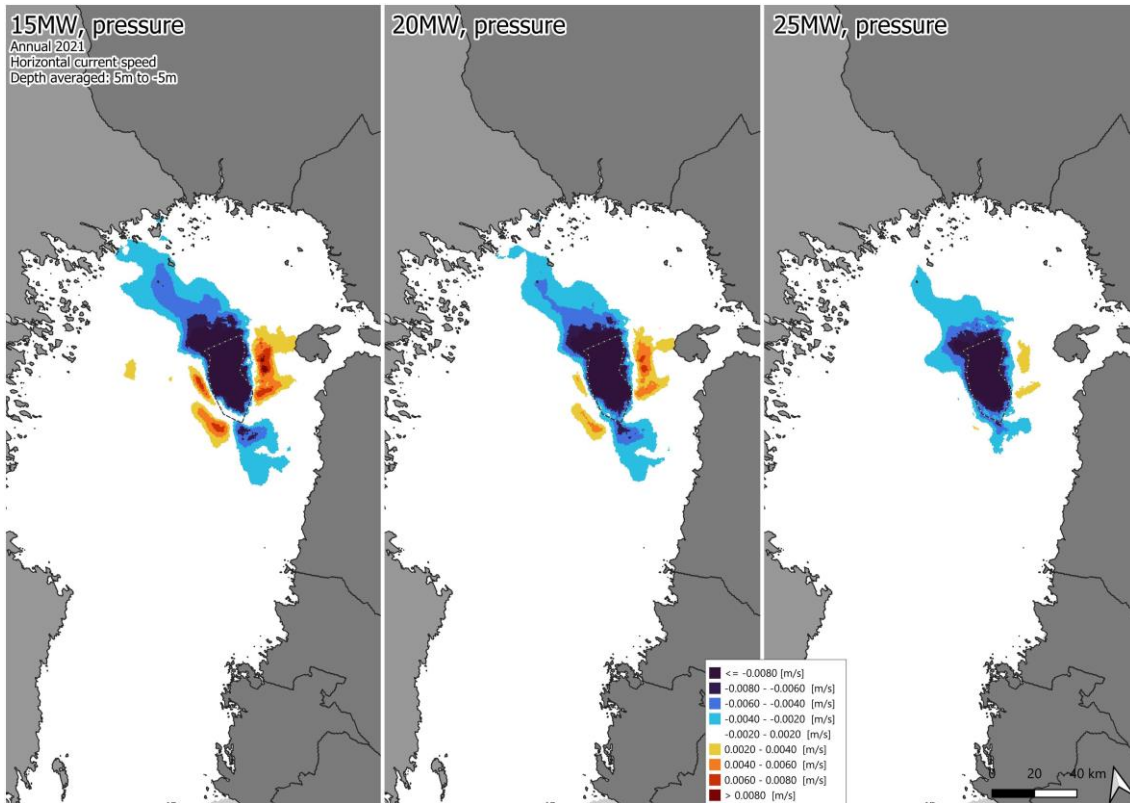
Perustaso (NIRAS, 2023-12-20): Vuoden 2021 keskimääräiset virtausnopeusolosuhteet ovat Pohjanlahdella yleisesti ottaen alhaiset, koska Itämerellä ei ole vuorovesiä ja keskimääräiset pintavirtaukset ovat syvyydellä 0-5 m (Kuva 3.3) vaihtelevat 0,05-0,1 m/s ja pienenevät syvyyden myötä. Yksittäisiä kuukausia tarkasteltaessa on havaittavissa vuodenaikoihin liittyvä malli, jolle on ominaista, että virtaukset ovat voimakkaampia kesäkuukausina (toukokuu-syyskuu) talvikuukausien merijäädästä johtuen, kun taas kausittainen vaihtelu on voimakkainta pinnalla ja vähenee syvyyden kasvaessa.

Tutkittujen tuulivoimapuistotapausten yleinen vaikutus: Tuulivoimapuisto vaikuttaa virtauksiin, koska se estää virtauksen fyysisesti - koska perustukset toimivat esteenä - ja koska tuuli vähenee. Tutkitut turbiinisijoittelutapaukset johtavat siihen, että vuotuiset keskimääräiset pintavirtausnopeudet pienenevät tuulipuiston alueella noin 0.008 m/s, mikä vastaa noin 10 % (Kuva 3.3). Pintavirtauksen heikkeneminen on havaittavissa Ruotsin rannikkoalueelle asti. Samanaikaisesti voidaan havaita virtauksen kiihtymistä tuulipuiston itä- ja länsipuolella. Vaikutuksen suuruus ja laajuus pienenee syvyyden ja etäisyyden myötä. Kuten liitteessä 1 esitetään, vaikutus ei ole yhtä voimakas ympäri vuoden, ja suurimmat muutokset virtauskuvassa ovat odotettavissa heinäkuusta syyskuuhun. Esimerkiksi syyskuussa voidaan havaita tuulivoimapuiston lounaispuolella olevan virtauksen laajamittainen kiihtyminen (0,004-0,006 m/s).

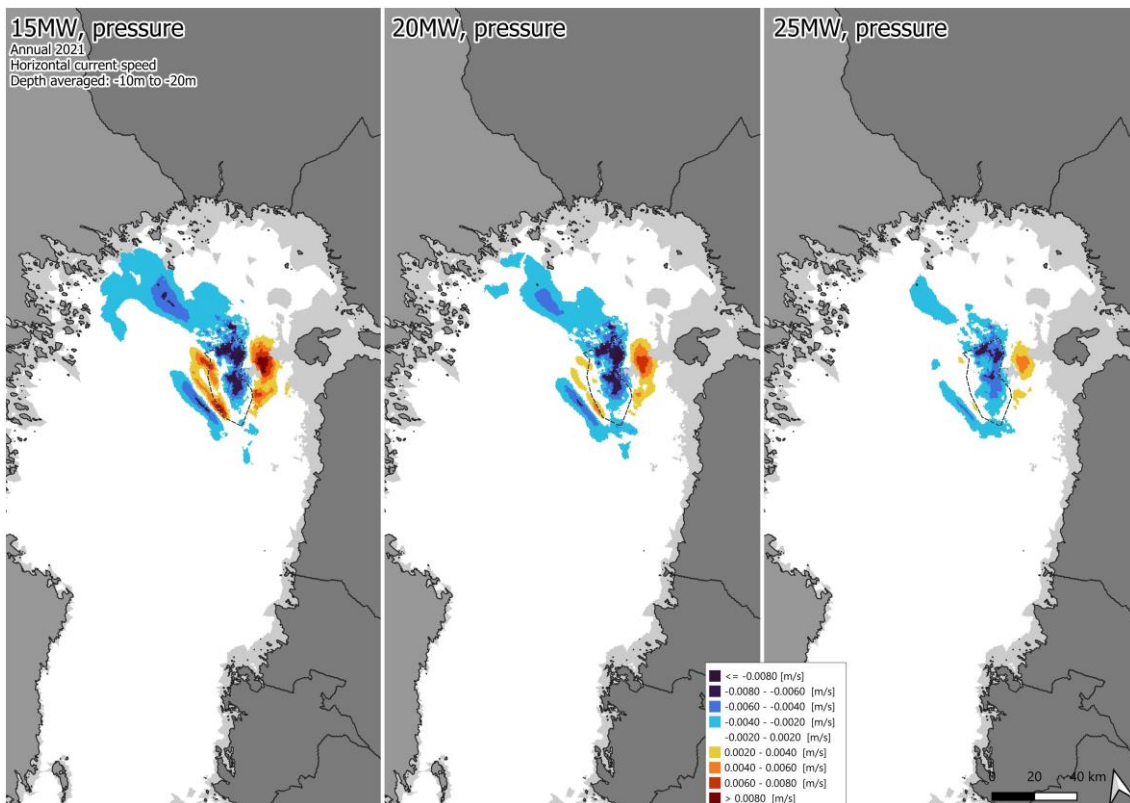
25 MW:n vaikutus: Huolimatta siitä, että 20 ja 25 MW:n tapauksissa turbiinien määrä on vähentynyt (120 turbiinia verrattuna 15 MW:n tapauksessa 160 turbiiniin), ja siitä, että turbiinien lukumäärän väheneminen vähentää estevaikutusta virtaukseen ja aallokkoon, tapausten välillä ei ole juuri mitään havaittavaa eroa pintavirtauksen vaikutuksen osalta. Tämä johtuu siitä, että suuremmat tuulivoimalat (joiden roottorin halkaisija on 340/276 metriä verrattuna 236 metriin, kuten taulukossa 2.1 esitetään) aiheuttavat voimakkaamman vaikutuksen tuuleen (ks. Kuva 3.1). Lisäksi suuremmat perustukset, mutta pienemmät lukumäärät (pohjan halkaisija 52 m verrattuna 42 m:iin, jolloin kokonaispinta-ala pohjassa on 6240 m² verrattuna 6720 m²:iin, kuten on esitetty taulukossa 2.1) muodostavat vain vähäisiä esteitä virtauksille.

Kun tarkastellaan kokonaisvirtauksia kahdessa laatikossa (Taulukko 3.1), 15MW:n aiheuttamat muutokset ovat huomattavasti pienempiä kuin 20MW:n ja 25MW:n muutokset. Lisäksi virtojen muutos pienenee etäisyyden kasvaessa tuulivoimapuistosta. Verrattaessa 20MW:n tapausta 25MW:n tapaukseen havaitaan, että näiden kahden tapauksen väliset erot ovat alle 0,1 prosenttia. Lisäksi kuukauden ja alueen mukaan vaihtelee, kummalla tapauksella on suurempi vaikutus. Sama kuvio (ei ole yhtä hallitsevaa tapausta, jolla olisi suurin vaikutus) voidaan havaita, kun tarkastellaan alueellisesti ja ajallisesti keskimääräistä virtausnopeutta eri syvyyksillä (ks. taulukot liitteessä 3). Esimerkiksi 25MW:n tapauksessa virtaus hidastuu enemmän 30 metrin yläpuolella kuin 20MW:n tapauksessa tuulivoimapuiston sisällä elokuussa. Toisaalta 30-50 m:n välillä 20MW:n turbiinisijoittelulla näyttää olevan suurempi vaikutus virtaukseen.

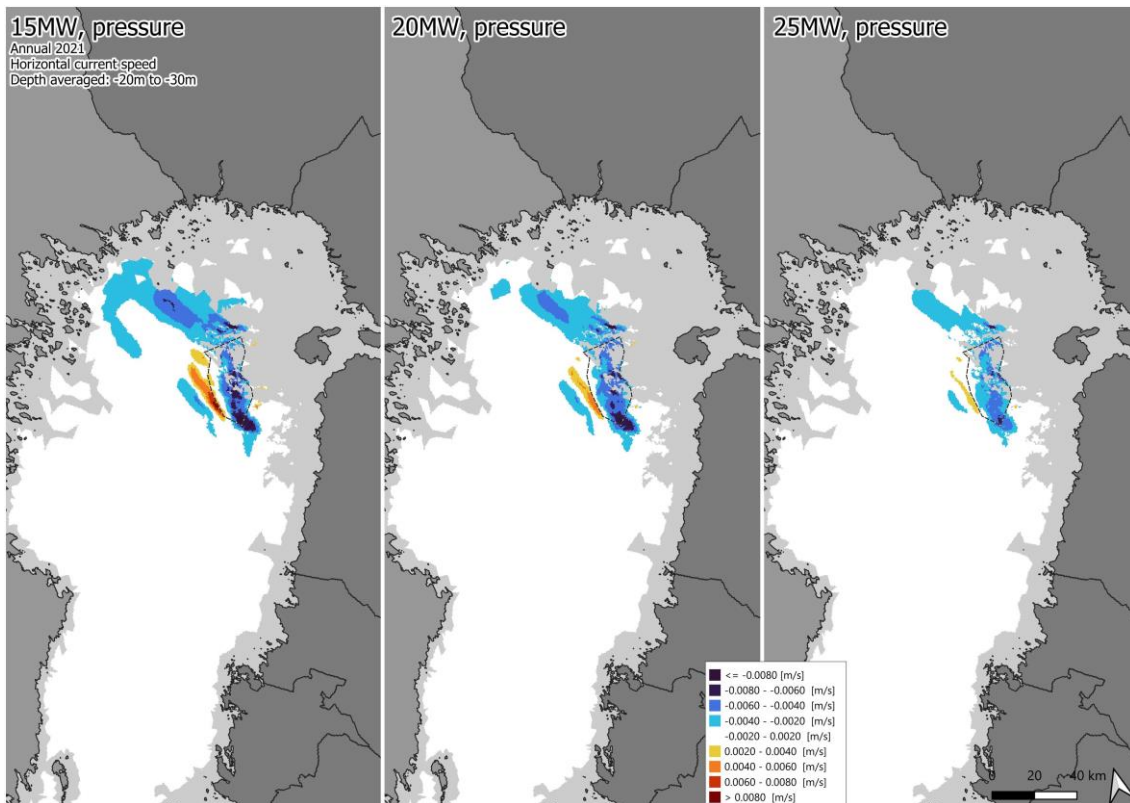
Kaikissa kolmessa tutkitussa tapauksessa on kuitenkin havaittavissa sama alueellinen ja vuodenaikaisvaihtelu nykyisen vaikutuksen osalta, ja suuruusluokkaa voidaan pitää vertailukelpoisena.



Kuva 3.3: Vuotuisten (2021) keskimääräisten virtausnopeuksien muutos ylimmässä 5 metrissä 15 MW:n (160 turbiinia, vasemmalla), 20 MW:n (120 turbiinia, keskellä) ja 25 MW:n (120 turbiinia, oikealla) turbiinisijoittelussa



Kuva 3.4: Vuosittaisen (2021) keskimääräisten virtausnopeuksien muutos -10 ja -20 metrin välillä 15 MW:n (160 turbiinia, vasen), 20 MW:n (120 turbiinia, keskellä) ja 25 MW:n (120 turbiinia, oikealla) turbiinisijoittelussa.



Kuva 3.5: Vuotuisten (2021) keskimääräisten virtausnopeuksien muutos -20 m ja -30 m välillä 15 MW:n (160 turbiinia, vasemmalla), 20 MW:n (120 turbiinia, keskellä) ja 25 MW:n (120 turbiinia, oikealla) turbiinisijoittelussa

Taulukko 3.1: Kokonaisvirtaaman muutokset kuukausittain ja vuositasolla. Vasemmalla: sisempi laatikko, oikealla: ulompi laatikko.

Month	15MW	20MW	25MW
2021-01-01	0.21%	-16.05%	-16.07%
2021-02-01	-0.11%	-18.93%	-18.93%
2021-03-01	-0.25%	-27.63%	-27.63%
2021-04-01	-0.31%	-40.77%	-40.80%
2021-05-01	-0.58%	-72.29%	-72.27%
2021-06-01	-0.96%	-86.77%	-86.74%
2021-07-01	-0.85%	-85.74%	-85.76%
2021-08-01	-0.74%	-94.15%	-94.13%
2021-09-01	-0.59%	-75.23%	-75.24%
2021-10-01	-0.87%	-105.42%	-105.42%
2021-11-01	-0.85%	-105.66%	-105.69%
2021-12-01	-0.60%	-76.63%	-76.64%
2021-2022	-0.56%	-69.17%	-69.18%

Month	15MW	20MW	25MW
2021-01-01	0.30%	-6.68%	-6.69%
2021-02-01	-0.05%	-8.02%	-8.02%
2021-03-01	-0.10%	-11.95%	-11.95%
2021-04-01	-0.14%	-17.02%	-17.03%
2021-05-01	-0.33%	-30.25%	-30.22%
2021-06-01	-0.45%	-36.61%	-36.59%
2021-07-01	-0.37%	-36.05%	-36.06%
2021-08-01	-0.40%	-39.59%	-39.55%
2021-09-01	-0.30%	-31.65%	-31.62%
2021-10-01	-0.29%	-44.08%	-44.09%
2021-11-01	-0.33%	-44.19%	-44.21%
2021-12-01	-0.25%	-32.28%	-32.28%
2021-2022	-0.24%	-29.15%	-29.15%

3.3. Suolapitoisuus

Vaikutus suolapitoisuuteen on esitetty kuvissa 3.6-3.8 sekä liitteessä 4. Taulukko 10-12. Liitteessä 5 esitetään yhteenveto enimmäis- ja vähimmäisvaikutuksista. Lähtötilanteen (tilanne ilman tuulipuistoa) kuvauksen osalta viitataan seuraavaan taulukkoon (NIRAS, 2023-12-20).

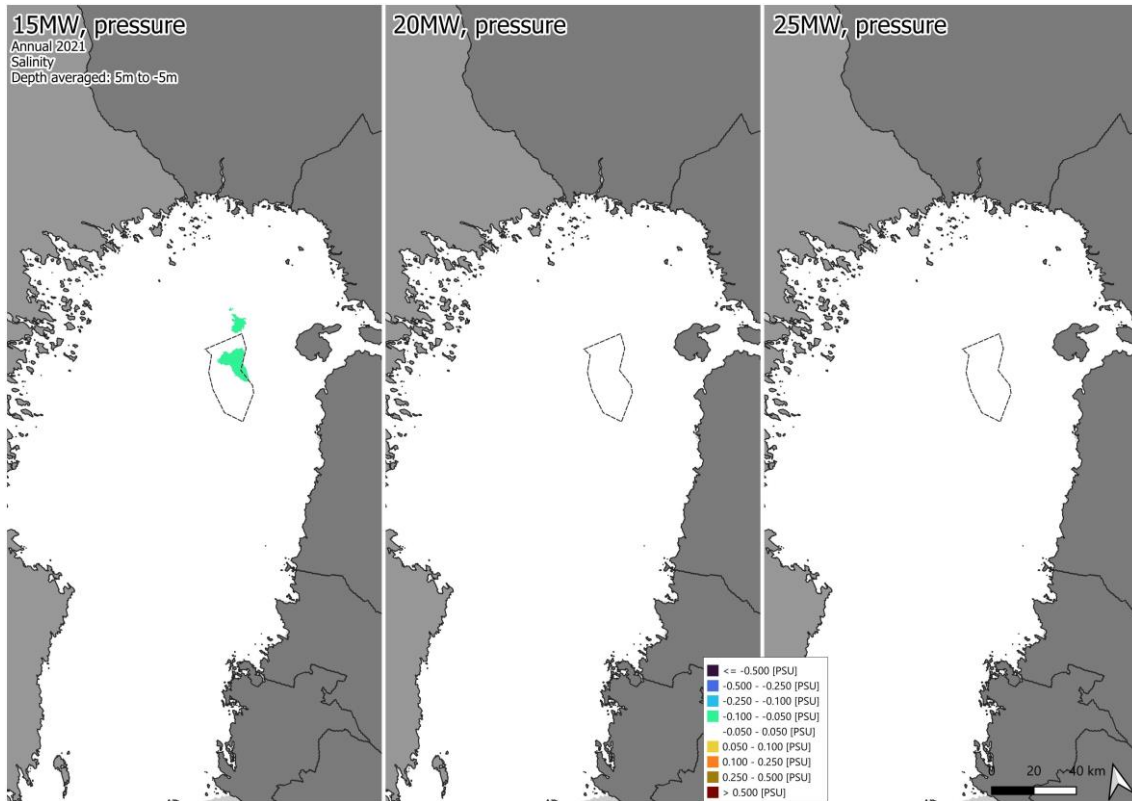
Perustaso (NIRAS, 2023-12-20): Keskimääräinen suolapitoisuus pintakerroksessa (0-10 m) vaihtelee 0,1 PSU:sta 4,5 PSU:iin, ja arvot ovat korkeampia Pohjanlahden eteläosassa. Suolapitoisuus on alhaisin rannikolla (jokien päästöjen vuoksi) ja pohjoisosassa. Syvyyden kasvaessa suolapitoisuus kasvaa. Selkeää kausittaista mallia ei ole havaittavissa.

Tutkittujen tuulivoimapuistotapausten yleinen vaikutus: Huolimatta vedyntuotannosta johtuvasta ylimääräisen suolapitoisuuden omaavan veden tulosta, vuotuisessa keskimääräisessä suolapitoisuudessa havaitut muutokset ovat vähäisiä (< 0,1 PSU, tuulipuiston läheisyydessä) (Kuva 3.6- Kuva 3.8, ja Liite 4 04). Yksittäisiä kuukausia tarkasteltaessa on havaittavissa paikallisia vaihteluita laajuuden ja suuruuden suhteen (suuruusluokka 0,1-0,25 PSU), esimerkkeinä:

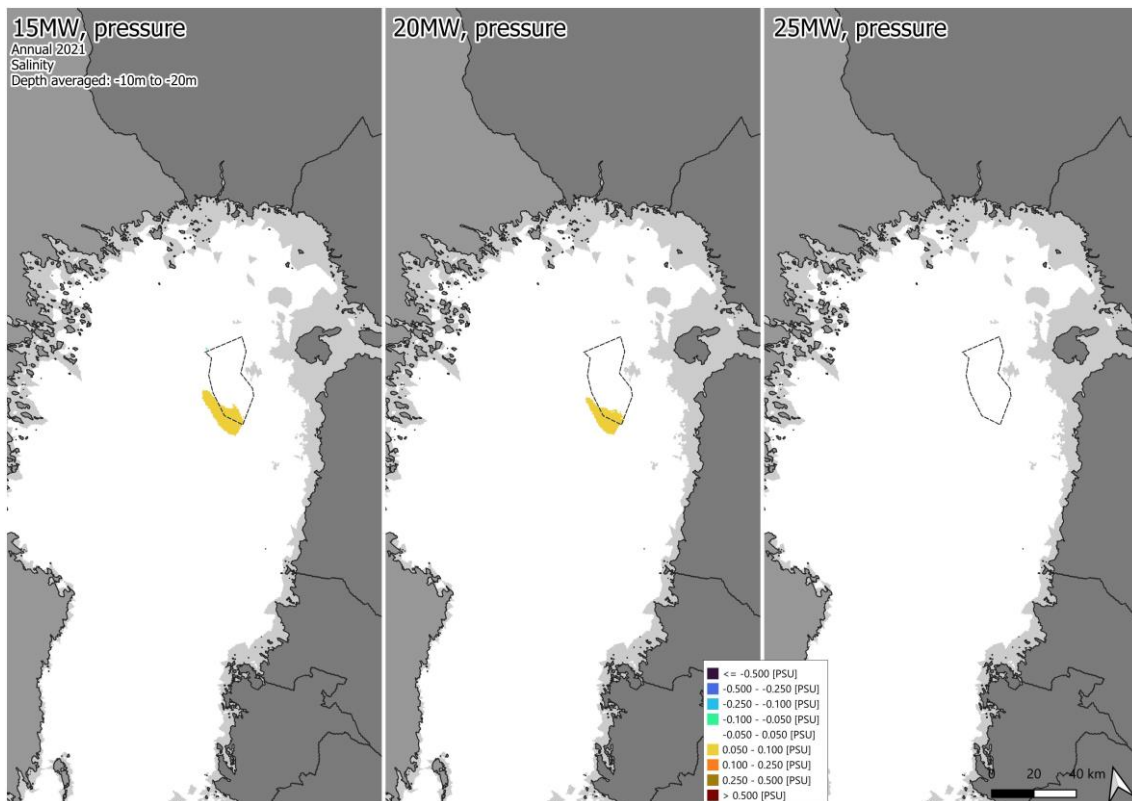
- Vähäinen vaikutus (< 0,05 PSU) tammi-, maalisk- ja huhtikuussa riippumatta tarkasteltavasta syvyydestä.
- Samanaikainen suolapitoisuuden lasku ja kasvu (tarkastellusta sijainnista riippuen) helmikuussa.
- Suolapitoisuuden nettokasvu (0,25 PSU asti) tuulivoimapuiston lounaispuolella toukokuussa.
- Suolapitoisuuden lasku pinnalla ja tuulipuiston luoteispuolella kesäkuussa, kun taas syvemmällä syvyyksissä suolapitoisuuden nousu on vallitsevaa.
- Voimakkain vaikutus on havaittavissa laajuuden ja suuruuden osalta heinäkuussa (lasku tai kasvu riippuen tarkasteltavasta paikasta).
- Suolapitoisuuden yleinen lasku ylimmässä 10 metrin syvyydessä yhdistettynä nousuun syvemmissä syvyyksissä elo- ja syyskuussa.
- Suolapitoisuuden nettovähenemä loka-joulukuussa.
- Vaikutukset havaittavissa pohjoisrannikolla kesä-, heinä-, elo-, loka-, marras- ja joulukuussa.

25MW:n vaikutus: Vertailtaessa 25MW:n tapauksen vaikutusta 20MW:n tai 15MW:n tapaukseen havaitaan, että vaikutus on samaa suuruusluokkaa ja kausittainen rakenne on samankaltainen, mutta vaikutus näyttää olevan voimakkaampi joillakin syvyyksillä ja kuukausina ja vähäisempi toisina. Tätä havaintoa voidaan korostaa alueellisesti ja ajallisesti keskiarvoistetun suolapitoisuuden avulla (ks. taulukot kohdassa 0), joissa esimerkiksi toukokuussa voimakkain vaikutus pinnan suolapitoisuuteen on 25 MW:n tapauksessa, kun taas syvemmällä 20 MW:n vaikutus on suurempi. Huomattakoon, että mainitut muutokset tuulipuiston läheisyydessä ovat PSU-alueen 2-4 toisen desimaalin tarkkuudella. Virtausvirran osalta vaikutus suolavirtaan (Taulukko 3.2) pienenee etäisyyden kasvaessa tuulipuistosta ja kasvaa turbiinin kasvaessa. Vaikka prosentuaalinen muutos on suuri, todellinen vaikutus on pieni.

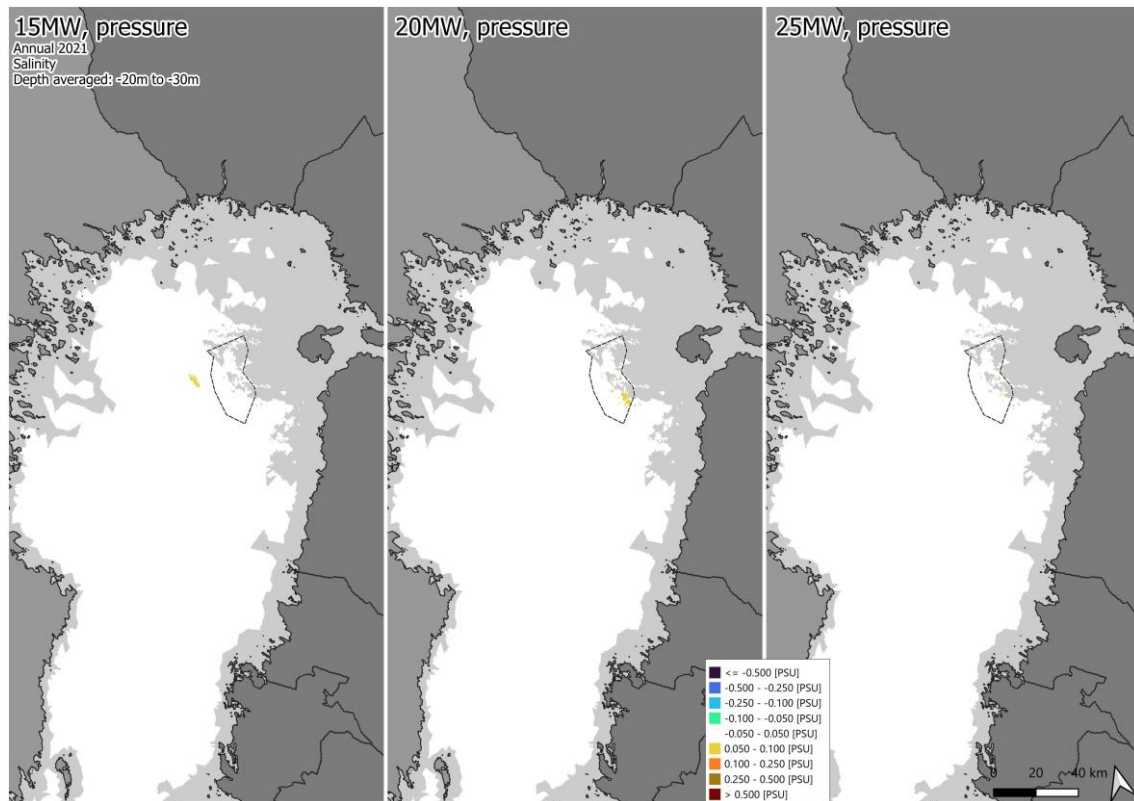
25 megawatin voimalan vaikutus on samansuuruinen kuin 15 ja 20 megawatin voimalan vaikutus.



Kuva 3.6: Vuosittaisen (2021) keskimääräisen suolapitoisuuden muutos ylimmässä 5 metrin syvyydessä 15 MW:n (160 turbiinia, vasen), 20 MW:n (120 turbiinia, keskellä) ja 25 MW:n (120 turbiinia, oikealla) turbiinisijoittelussa.



Kuva 3.7: Vuosittaisen (2021) keskimääräisen suolapitoisuuden muutos -10 ja -20 metrin välillä 15 MW:n (160 turbiinia, vasemmalla), 20 MW:n (120 turbiinia, keskellä) ja 25 MW:n (120 turbiinia, oikealla) turbiinisijoittelussa.



Kuva 3.8: Vuosittaisen (2021) keskimääräisen suolapitoisuuden muutos -20 m:n ja -30 m:n välillä 15 MW:n (160 turbiinia, vasemalla), 20 MW:n (120 turbiinia, keskellä) ja 25 MW:n (120 turbiinia, oikealla) turbiinisijoittelussa.

Taulukko 3.2: Suolapitoisuuden kokonaisvirran muutokset kuukausittain ja vuositasolla. Vasemmalla: sisempi laatikko, oikealla: ulompi laatikko.

Month	15MW	20MW	25MW
2021-01-01	-223.52%	-343.64%	-317.16%
2021-02-01	-36.23%	-118.10%	-120.04%
2021-03-01	29.82%	-380.80%	-387.45%
2021-04-01	3.63%	-124.17%	-124.45%
2021-05-01	76.93%	-352.37%	-398.30%
2021-06-01	16.15%	-94.37%	-98.08%
2021-07-01	-6.96%	-62.19%	-59.83%
2021-08-01	-2.05%	-64.81%	-65.86%
2021-09-01	-5.05%	-101.72%	-102.23%
2021-10-01	-1.11%	-145.61%	-147.59%
2021-11-01	-197.25%	-3124.93%	-3065.51%
2021-12-01	-32.83%	-945.69%	-954.65%
2021-2022	-4.43%	-152.53%	-153.75%

Month	15MW	20MW	25MW
2021-01-01	-707.66%	-700.23%	-605.67%
2021-02-01	-10.33%	-22.17%	-24.05%
2021-03-01	-2.89%	-46.27%	-47.84%
2021-04-01	23.56%	-364.06%	-370.09%
2021-05-01	2490.90%	-1901.12%	-2850.10%
2021-06-01	15.29%	-36.07%	-39.73%
2021-07-01	-1.55%	-23.18%	-21.89%
2021-08-01	3.20%	-24.17%	-26.15%
2021-09-01	3.98%	-36.76%	-40.35%
2021-10-01	-7.94%	-58.42%	-57.39%
2021-11-01	-42.40%	-323.15%	-312.06%
2021-12-01	-18.49%	-273.03%	-276.87%
2021-2022	-1.66%	-70.47%	-72.29%

3.4. Lämpötila

Vaikutus lämpötilaan on esitetty Kuva 3.9-3.11 O. Taulukko 16 Liitteessä 8 esitetään yhteenveto enimmäis- ja vähimmäisvaikutuksista (taulukot 16-18). Lähtötilanteen (tilanne ilman tuulipuistoa) kuvauksen osalta viitataan aiempaan raporttiin (NIRAS, 2023-12-20).

Perustaso (NIRAS, 2023-12-20): Vuotuinen keskimääräinen pintalämpötila (5 ylimmän metrin osalta) vuonna 2021 on yleensä korkeampi etelä- ja kaakkoisosassa (noin 7,5 °C) ja alhaisempi rannikolla pohjois- ja luoteisosassa (5-6 °C). Alhaisimmat arvot ovat Ruotsin rannikolla, suunnitellun tuulivoimapuiston eteläpuolella. Koska vesi lämpenee kesällä vain pinnalla tiettyyn syvyyteen asti, lämpötila kerrostuu. Vuotuiset keskilämpötilat laskevat syvyyden myötä. Termokliini on kesällä yleensä 10-20 metrin syvyydessä. Tässä syvyydessä vuotuinen keskilämpötila vaihtelee suurimmassa osassa Pohjanlahtea 4 °C:n ja 6 °C:n välillä, lukuun ottamatta joitakin tuulivoimapuiston eteläpuolella sijaitsevia alueita, joilla lämpötila on yli 6 °C:n. 20 metrin ja 30 metrin syvyydessä keskilämpötila laskee 3-5 °C:een suurimmalla osalla merialuetta. Lämpötila vaihtelee voimakkaasti vuodenaikojen mukaan, ja suurilla alueilla Perämeren pohjoisessa ja koillisessa osassa on negatiivisia arvoja (jotka osoittavat jääpeitteen) joulukuun ja huhtikuun välisenä aikana. Keväällä lämpötila nousee suhteellisen jyrkästi, ja tämä vaikutus on voimakkaampi Suomen rannikolla, minkä vuoksi heinäkuussa on voimakas alueellinen lämpötilagradientti, jossa Ruotsin rannikon pohjoisosassa on noin 4-8 °C:n alhaiset lämpötilat (20 m:n syvyyden ja pinnan välillä) ja Suomen rannikolla 12-19 °C:n korkeat lämpötilat (20 m:n syvyyden ja pinnan välillä). Veden keskimääräinen kokonaislämpötila on korkeimmillaan elo-syyskuussa, ja sen arvot ovat 14-20 °C pinnalla ja 8-13 °C 10-20 metrin syvyydessä. Lämpötilat alkavat laskea syyskuun aikana.

Tutkittujen tuulipuistotapausten yleinen vaikutus: Vuotuisen keskilämpötilan osalta on odotettavissa pintalämpötilan nousu, joka rajoittuu 0,5 °C:een pienellä alueella lähellä tuulivoimapuistoaluetta. Syvyyksillä -10 m - -40 m voidaan havaita enintään $\pm 1^\circ$:n vaikutus, kun taas tuulivoimapuistoalueen sisällä tapahtuu viilenemistä vain syvyyksillä -10 m - -20 m.

Kausivaihtelut huomioiden, vaikutukset voidaan kuvata seuraavasti:

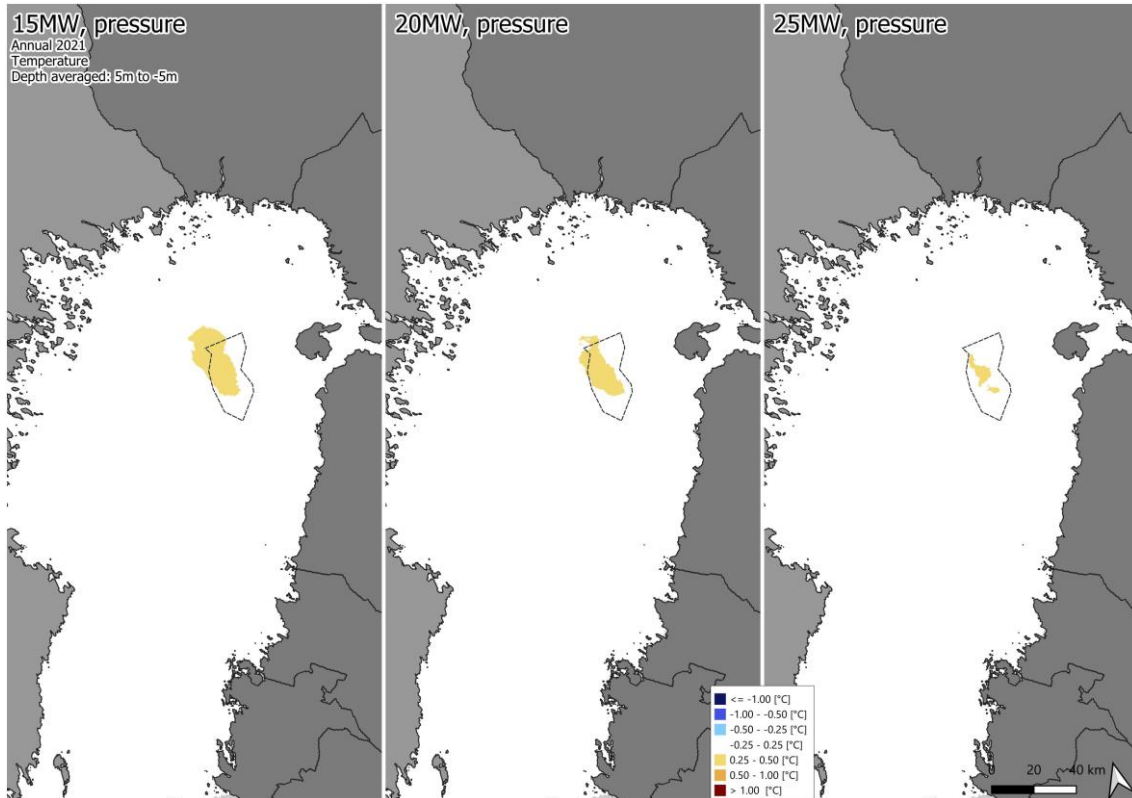
- Pintalämpötilan lämpeneminen on havaittavissa useimpina kuukausina (paitsi helmikuussa, heinäkuussa ja lokakuussa, jolloin on havaittavissa vain viilenemistä), mutta voimakkainta se on heinäkuussa, jolloin erot ovat jopa $> 2,5^\circ\text{C}$. Tämä voidaan selittää sillä, että pienentyneen tuulennopeuden vuoksi vesihöyryn kulkeutuminen on vähäisempää ja siten haihtuminen (joka jäähdyttää veden pintaa) hidastuu.
- Voimakkaimmat vaikutukset ilmenevät kesäkuun ja syyskuun välisenä aikana, kun taas lämpenemisen ja jäähtyneiden alueiden alueellinen jakautuminen vaihtelee kuukausittain. Lämpeneminen lisääntyy tuulipuiston länsipuolella kesä- ja heinäkuussa, kun taas elokuussa tuulipuiston pohjoispuolella sijaitsevien vesien lämpötila on korkeampi kuin lähtötilanteessa ja syyskuussa tuulipuiston itäpuolella sijaitsevien vesien lämpötila on korkeampi kuin lähtötilanteessa. Viilennysvaikutus ($< -2^\circ\text{C}$) itään on havaittavissa tuulivoimapuiston vastakkaisella puolella.
- Kuten kesälläkin, termokliini on 10-20 m. Koska tuulipuiston eteläosan lämpeneminen on vähentynyt kesä-syyskuussa, termokliini on siirtynyt jopa 10 m (heinäkuussa 10 m 20 m:n sijasta).

Jäähtyneen veden suurin esiintymisalue on heinä-elokuussa 10-20 metrin syvyydessä, > 40 kilometriä tuulipuiston pohjois- ja eteläpuolella.

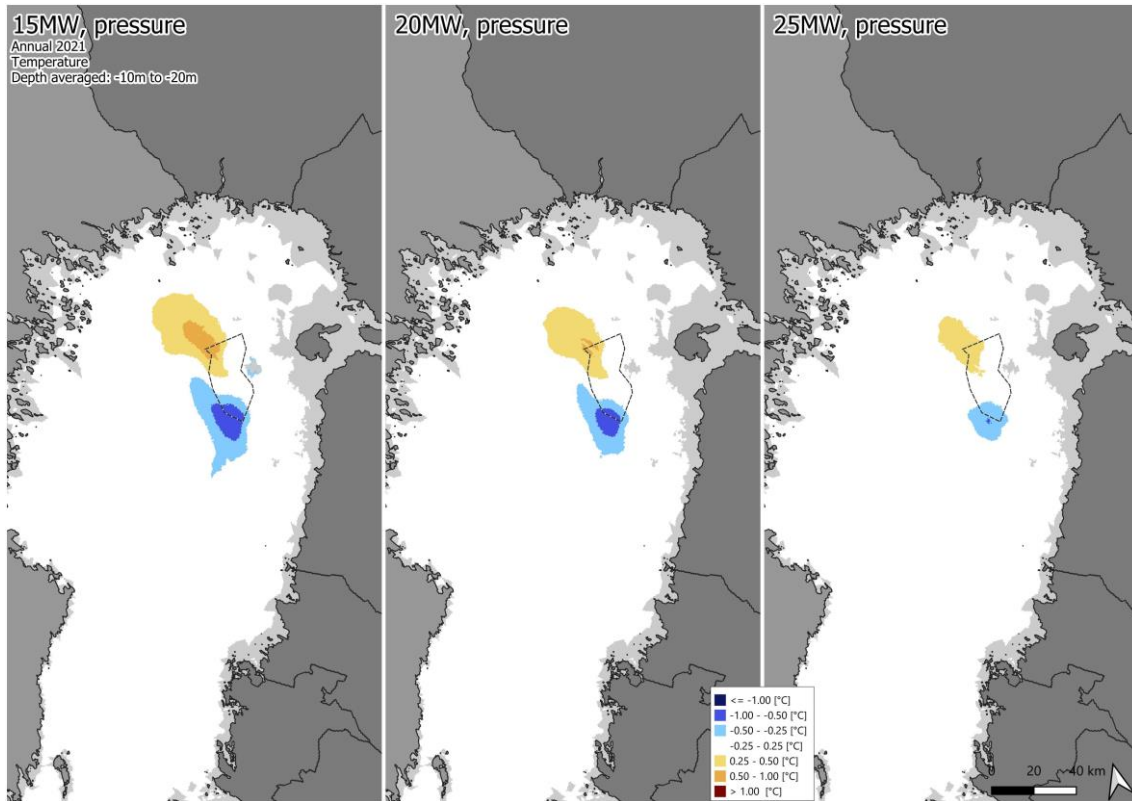
25MW:n vaikutus: Suolapitoisuutta ja virtausnopeutta koskevien havaintojen mukaisesti mikään tapaus ei ole johdonmukaisesti osoittanut suurinta vaikutusta. Kun otetaan huomioon elokuun keskilämpötila (0), lämpötilan nousu on voimakkainta 25 MW:n tapauksessa. Sitä vastoin syyskuussa eri tapauksella on tarkastellusta syvyydestä riippuen suurin vaikutus: suurin vaikutus pintalämpötilaan on 15 MW:n tapauksessa, 10 ja 20 metrin syvyydessä vaikutus on suurempi 25 MW:n ja 20 MW:n tapauksessa. Seuraavassa esitetyt lämpötilavirrat (Taulukko 3.3) antavat tarkemman käsityksen kolmen tapauksen vaikutuksesta. Tiedot osoittavat, että 15MW:n skenaarion

vaikutus on pienin, kun taas 25MW:n skenaarion vaikutus on suurin. On kuitenkin tärkeää huomata, että vaikutuksen suuruus pysyy samassa luokassa kaikissa tapauksissa.

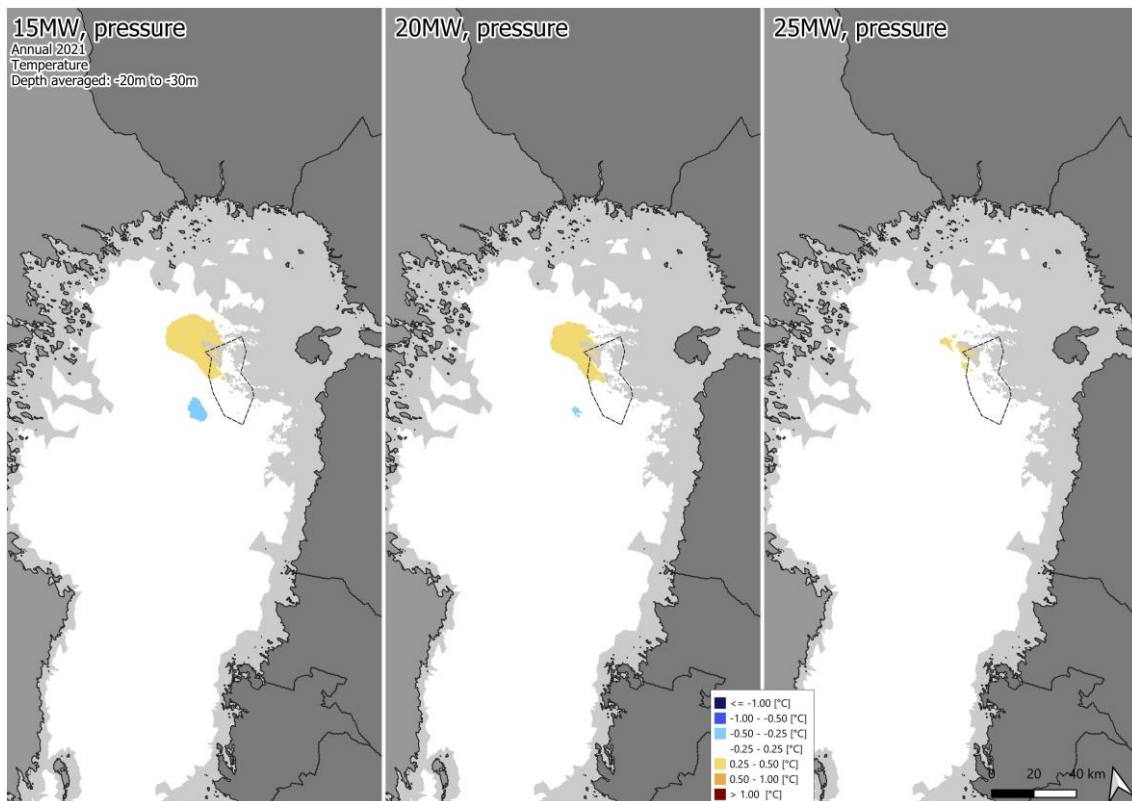
Yleisesti ottaen 25 MW:n tapauksen vaikutusten vertailu 20 MW:n tai 15 MW:n tapauksiin osoittaa, että vaikutukset ovat samoja kausittain ja alueellisesti. Lisäksi suuruusluokka on vertailukelpoinen.



Kuva 3.9: Vuotuisen (2021) keskilämpötilan muutos ylimmässä 5 metrin kerroksessa 15 MW:n (160 turbiinia, vasemmalla), 20 MW:n (120 turbiinia, keskellä) ja 25 MW:n (120 turbiinia, oikealla) turbiinisijoittelussa



Kuva 3.10: Vuotuisen (2021) keskilämpötilan muutos -10 ja -20 metrin välillä 15 MW:n (160 turbiinia, vasemmalla), 20 MW:n (120 turbiinia, keskellä) ja 25 MW:n (120 turbiinia, oikealla) turbiinisijoittelussa



Kuva 3.11: Vuotuisen (2021) keskilämpötilan muutos -20 m ja -30 m välillä 15MW:n (160 turbiinia, vasemmalla), 20MW:n (120 turbiinia, keskellä) ja 25MW:n (120 turbiinia, oikealla) turbiinisijoittelussa

Taulukko 3.3: Kokonaislämpövirran muutokset kuukausittain ja vuositasolla. Vasemmalla: sisempi laatikko, oikealla: ulompi laatikko.

Month	15MW	20MW	25MW
2021-01-01	-19.34%	-24.78%	-20.95%
2021-02-01	-26.05%	-27.64%	-25.08%
2021-03-01	-29.33%	-32.16%	-32.04%
2021-04-01	-26.59%	-35.55%	-35.45%
2021-05-01	-24.27%	-32.88%	-32.58%
2021-06-01	-29.01%	-34.56%	-33.48%
2021-07-01	-17.75%	-20.57%	-21.31%
2021-08-01	-17.55%	-23.46%	-23.19%
2021-09-01	-13.38%	-40.81%	-46.67%
2021-10-01	-244.12%	-400.60%	-401.57%
2021-11-01	-77.81%	-151.45%	-160.46%
2021-12-01	-82.14%	-129.03%	-137.37%
2021-2022	-33.11%	-46.87%	-47.68%

Month	15MW	20MW	25MW
2021-01-01	-37.04%	-37.85%	-31.03%
2021-02-01	-16.82%	-16.73%	-16.14%
2021-03-01	-20.14%	-19.45%	-19.15%
2021-04-01	-16.93%	-19.56%	-19.33%
2021-05-01	-19.13%	-21.50%	-20.39%
2021-06-01	-14.79%	-16.79%	-17.37%
2021-07-01	-5.83%	-5.97%	-7.83%
2021-08-01	-16.32%	-12.72%	-12.36%
2021-09-01	-7.90%	-12.58%	-11.18%
2021-10-01	77.53%	6.27%	-65.53%
2021-11-01	-4.36%	-22.06%	-29.49%
2021-12-01	-28.24%	-41.71%	-47.36%
2021-2022	-16.49%	-19.98%	-21.58%

3.5. Yhteenveto

Tässä raportissa analysoidaan erilaisten tuulivoimapuistovaihtoehtojen turbiinisijoittelun ja turbiinien vaikutusta hydrodynamiikkaan (lämpötila, suolapitoisuus ja virtausnopeus). Seuraavat kolme erilaista turbiinisijoittelua (ks. myös Taulukko 2.1 ja Taulukko 2.2) analysoitiin:

- 15MW, 160 turbiinia (D: 236 m, napakorkeus: 150 m),
- 20 MW, 120 turbiinia (D: 276 m, napakorkeus: 170 m),
- 25 MW, 120 turbiinia (D: 340 m, napakorkeus: 200 m).

Vaikka 15 MW:n ja 20 MW:n tapausten tulokset on jo kuvattu yksityiskohtaisesti **asiakirjassa** (NIRAS, 2023-12-20), myös 25 MW:n tapausta analysoitiin osana tätä tutkimusta. Tulokset osoittavat, että tarkastelluista parametreista riippumatta analysoiduilla tapauksilla (15 MW, 20 MW ja 25 MW) on vertailukelpoinen vaikutus (vaikutusalueen ja vaikutuksen suuruuden osalta). Lisäksi kaikki analysoidut mallit osoittavat samoja kausivaihteluita vaikutuksen alueellisen esiintymisen ja suuruusluokan osalta.

Näiden tulosten perusteella vaikutusten arvioidaan olevan vertailukelpoisia toisiinsa.

4. Viitteet

Jensen, N.O. (1983). *Huomautus tuuligeneraattoreiden vuorovaikutuksesta*. DTU.

NIRAS. (2023-12-20). *Halla OWF, hydrodynamiikka - Sedimentin ja suolaveden leviämisen mallintaminen*.

REFWIND, IEA Wind Task 55. (n.d.). *IEAWindTask37/IEA-22-280-RWT*. Haettu osoitteesta

<https://github.com/IEAWindTask37/IEA-22-280-RWT>.

Liite 2 Hydrodynaaminen vaikutus: Nykyiset alueelliset-analyysit

Taulukko 4: Alueelliset tilastot 15 MW:n tapauksen vaikutuksesta virtausnopeuteen

Maximum Reduction in Current Speed observed in the model area based on the mean over a specific period [m/s]													
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	-0.03	-0.04	-0.03	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03	-0.04	-0.04	-0.05	-0.06	-0.05	-0.05
-5 m to -10 m	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.01	-0.02	-0.03	-0.05	-0.04	-0.03
-10 m to -20 m	-0.01	-0.02	-0.02	0.00	-0.01	-0.02	-0.02	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.02
-20 m to -30 m	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	-0.02	-0.03
-30 m to -40 m	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.03	-0.02	-0.03
-40 m to -50 m	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.03
-50 m to -60 m	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02
-60 m to -70 m	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01
-70 m to -80 m	0.00	-0.01	-0.01	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01

Maximum Increase in Current Speed observed in the model area based on the mean over a specific period [m/s]													
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	0.01	0.01	0.04	0.02	0.01	0.03	0.01	0.05	0.02	0.04	0.04	0.02	0.02
-5 m to -10 m	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02	0.02	0.05	0.03	0.05	0.04	0.02	0.02
-10 m to -20 m	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.04	0.03	0.02	0.02
-20 m to -30 m	0.01	0.03	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02
-30 m to -40 m	0.01	0.03	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02
-40 m to -50 m	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02
-50 m to -60 m	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02
-60 m to -70 m	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02
-70 m to -80 m	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01

5% Percentile Difference (Decrease) in Current Speed observed in the model area based on the mean over a specific period [m/s]													
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	-0.003	-0.005	-0.003	-0.001	-0.003	-0.004	-0.003	-0.005	-0.005	-0.007	-0.009	-0.006	-0.006
-5 m to -10 m	-0.002	-0.004	-0.002	-0.001	-0.002	-0.004	-0.003	-0.002	-0.003	-0.004	-0.007	-0.005	-0.005
-10 m to -20 m	-0.002	-0.003	-0.002	-0.001	-0.002	-0.003	-0.003	-0.002	-0.005	-0.004	-0.007	-0.004	-0.005
-20 m to -30 m	-0.003	-0.003	-0.002	0.000	-0.001	-0.003	-0.002	-0.001	-0.004	-0.005	-0.007	-0.004	-0.005
-30 m to -40 m	-0.002	-0.003	-0.001	0.000	-0.001	-0.002	-0.002	-0.001	-0.004	-0.004	-0.007	-0.004	-0.005
-40 m to -50 m	-0.002	-0.004	-0.001	0.000	-0.001	-0.001	-0.002	-0.001	-0.003	-0.004	-0.005	-0.003	-0.004
-50 m to -60 m	-0.002	-0.005	-0.001	0.000	-0.001	-0.002	-0.001	-0.001	-0.002	-0.004	-0.005	-0.003	-0.003
-60 m to -70 m	-0.002	-0.005	-0.001	0.000	-0.001	-0.002	-0.001	-0.001	-0.002	-0.003	-0.005	-0.003	-0.003
-70 m to -80 m	-0.002	-0.005	-0.001	0.000	-0.001	-0.002	-0.001	-0.001	-0.003	-0.003	-0.005	-0.003	-0.004

95% Percentile Difference (Increase) in Current Speed observed in the model area based on the mean over a specific period [m/s]													
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.003	0.001	0.003	0.003	0.007	0.004	0.003	0.003
-5 m to -10 m	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.000	0.005	0.001	0.007	0.003	0.003	0.002
-10 m to -20 m	0.000	0.002	0.002	0.001	0.000	0.001	0.000	0.004	0.000	0.002	0.002	0.001	0.001
-20 m to -30 m	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.001	0.001
-30 m to -40 m	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.001	0.001
-40 m to -50 m	0.001	0.002	0.002	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.003	0.001	0.001	0.002
-50 m to -60 m	0.001	0.002	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002	0.001	0.002
-60 m to -70 m	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.001	0.002
-70 m to -80 m	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001

Taulukko 5: Alueelliset tilastot 20 MW:n tapauksen vaikutuksesta virtausnopeuteen

Maximum Reduction in Current Speed observed in the model area based on the mean over a specific period [m/s]													
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	-0.02	-0.03	-0.03	-0.01	-0.02	-0.03	-0.02	-0.03	-0.04	-0.05	-0.05	-0.04	-0.04
-5 m to -10 m	-0.01	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.04	-0.03	-0.03
-10 m to -20 m	-0.01	-0.02	-0.02	0.00	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.03	-0.02	-0.02
-20 m to -30 m	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02
-30 m to -40 m	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02
-40 m to -50 m	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02
-50 m to -60 m	-0.01	-0.01	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02
-60 m to -70 m	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
-70 m to -80 m	0.00	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01

Maximum Increase in Current Speed observed in the model area based on the mean over a specific period [m/s]													
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.04	0.02	0.03	0.03	0.01	0.02
-5 m to -10 m	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.04	0.02	0.03	0.03	0.02	0.01
-10 m to -20 m	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02	0.01
-20 m to -30 m	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02
-30 m to -40 m	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.02
-40 m to -50 m	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02
-50 m to -60 m	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02
-60 m to -70 m	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
-70 m to -80 m	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01

5% Percentile Difference (Decrease) in Current Speed observed in the model area based on the mean over a specific period [m/s]													
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	-0.003	-0.004	-0.002	-0.001	-0.002	-0.004	-0.003	-0.004	-0.004	-0.006	-0.007	-0.005	-0.005
-5 m to -10 m	-0.002	-0.003	-0.002	-0.001	-0.002	-0.003	-0.002	-0.002	-0.003	-0.003	-0.006	-0.005	-0.005
-10 m to -20 m	-0.002	-0.002	-0.002	-0.001	-0.002	-0.003	-0.002	-0.002	-0.004	-0.003	-0.006	-0.004	-0.005
-20 m to -30 m	-0.002	-0.002	-0.001	0.000	-0.001	-0.003	-0.002	-0.001	-0.004	-0.004	-0.005	-0.003	-0.005
-30 m to -40 m	-0.002	-0.003	-0.001	0.000	-0.001	-0.002	-0.002	-0.001	-0.003	-0.003	-0.005	-0.003	-0.004
-40 m to -50 m	-0.002	-0.003	-0.001	0.000	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.003	-0.004	-0.003	-0.003
-50 m to -60 m	-0.002	-0.004	-0.001	0.000	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.003	-0.004	-0.002	-0.003
-60 m to -70 m	-0.002	-0.004	-0.001	0.000	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.003	-0.004	-0.002	-0.003
-70 m to -80 m	-0.002	-0.005	-0.001	0.000	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.003	-0.004	-0.003	-0.003

95% Percentile Difference (Increase) in Current Speed observed in the model area based on the mean over a specific period [m/s]													
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002	0.005	0.003	0.003	0.002
-5 m to -10 m	0.001	0.001	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.003	0.001	0.005	0.003	0.002	0.002
-10 m to -20 m	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.002	0.002	0.001	0.001
-20 m to -30 m	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001
-30 m to -40 m	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001
-40 m to -50 m	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.001	0.001
-50 m to -60 m	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.001	0.001
-60 m to -70 m	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.001	0.001
-70 m to -80 m	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001

Taulukko 6: Alueelliset tilastot 25 MW:n tapauksen vaikutuksesta virtausnopeuteen

Maximum Reduction in Current Speed observed in the model area based on the mean over a specific period [m/s]													
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	-0.02	-0.03	-0.03	-0.01	-0.01	-0.03	-0.03	-0.04	-0.03	-0.03	-0.04	-0.03	-0.03
-5 m to -10 m	-0.01	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01	-0.03	-0.02	-0.02
-10 m to -20 m	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.01
-20 m to -30 m	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
-30 m to -40 m	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
-40 m to -50 m	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
-50 m to -60 m	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	-0.01	-0.01
-60 m to -70 m	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-70 m to -80 m	0.00	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01

Maximum Increase in Current Speed observed in the model area based on the mean over a specific period [m/s]													
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	0.00	0.01	0.03	0.01	0.00	0.01	0.01	0.03	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01
-5 m to -10 m	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.04	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01
-10 m to -20 m	0.01	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
-20 m to -30 m	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
-30 m to -40 m	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
-40 m to -50 m	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
-50 m to -60 m	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
-60 m to -70 m	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
-70 m to -80 m	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01

5% Percentile Difference (Decrease) in Current Speed observed in the model area based on the mean over a specific period [m/s]													
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	-0.002	-0.004	-0.002	-0.001	-0.002	-0.003	-0.003	-0.004	-0.003	-0.005	-0.004	-0.003	-0.004
-5 m to -10 m	-0.002	-0.003	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.004	-0.003	-0.003
-10 m to -20 m	-0.002	-0.002	-0.002	0.000	-0.001	-0.002	-0.002	-0.002	-0.003	-0.002	-0.003	-0.002	-0.003
-20 m to -30 m	-0.002	-0.002	-0.002	0.000	-0.001	-0.002	-0.002	-0.001	-0.003	-0.003	-0.003	-0.002	-0.003
-30 m to -40 m	-0.001	-0.002	-0.001	0.000	0.000	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.003	-0.002	-0.002
-40 m to -50 m	-0.001	-0.003	-0.001	0.000	0.000	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.003	-0.002	-0.002
-50 m to -60 m	-0.001	-0.003	-0.001	0.000	0.000	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
-60 m to -70 m	-0.001	-0.004	-0.001	0.000	0.000	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
-70 m to -80 m	-0.001	-0.004	-0.002	0.000	0.000	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002

95% Percentile Difference (Increase) in Current Speed observed in the model area based on the mean over a specific period [m/s]													
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	0.000	0.002	0.002	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.003	0.002	0.001	0.001
-5 m to -10 m	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000	0.003	0.002	0.001	0.001
-10 m to -20 m	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000
-20 m to -30 m	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
-30 m to -40 m	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
-40 m to -50 m	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000
-50 m to -60 m	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001
-60 m to -70 m	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001
-70 m to -80 m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Liite 3 Hydrodynaaminen vaikutus: Keskivirtauksen vertailu

Taulukko 7: Keskimääräisen virtausnopeuden erot [m/s] - Osa 1

(ottaen huomioon eri laajuudet (Pohjanlahti, sisä ja ulkolaatikko), eri syvyysvälit ja eri aikaväli)

		Current Speed								
		Bothnian Bay			innerBox			outerBox		
		25MW	20MW	15MW	25MW	20MW	15MW	25MW	20MW	15MW
		25MW	20MW	15MW	25MW	20MW	15MW	25MW	20MW	15MW
Koko vuosi	5 - -5m	-0.0004	-0.0004	-0.0003	-0.0084	-0.0096	-0.0101	-0.0043	-0.0043	-0.0042
	-5 - -10m	-0.0002	-0.0002	-0.0002	-0.0029	-0.0031	-0.0021	-0.0015	-0.0012	-0.0005
	-10 - -20m	-0.0003	-0.0004	-0.0004	-0.0024	-0.0025	-0.0015	-0.0012	-0.0012	-0.0004
	-20 - -30m	-0.0003	-0.0004	-0.0004	-0.0027	-0.0033	-0.0028	-0.0014	-0.0018	-0.0014
	-30 - -40m	-0.0003	-0.0003	-0.0004	-0.0024	-0.0030	-0.0025	-0.0010	-0.0012	-0.0009
	-40 - -50m	-0.0002	-0.0002	-0.0002	-0.0017	-0.0018	-0.0012	-0.0004	-0.0003	0.0001
	-50 - -60m	-0.0002	-0.0002	-0.0002	-0.0003	0.0001	0.0011	-0.0001	0.0002	0.0006
	-60 - -70m	-0.0002	-0.0002	-0.0002	0.0016	0.0028	0.0040	-0.0001	0.0003	0.0006
	-70 - -80m	-0.0002	-0.0003	-0.0003	0.0020	0.0026	0.0034	-0.0004	-0.0003	-0.0002
Tammikuu	5 - -5m	-0.0006	-0.0006	-0.0007	-0.0114	-0.0117	-0.0137	-0.0068	-0.0067	-0.0079
	-5 - -10m	-0.0004	-0.0005	-0.0005	-0.0053	-0.0054	-0.0054	-0.0032	-0.0032	-0.0031
	-10 - -20m	-0.0003	-0.0004	-0.0004	-0.0011	-0.0015	-0.0004	-0.0003	-0.0006	0.0003
	-20 - -30m	-0.0002	-0.0003	-0.0003	0.0017	0.0010	0.0025	0.0019	0.0012	0.0025
	-30 - -40m	-0.0001	-0.0002	-0.0002	0.0038	0.0032	0.0052	0.0029	0.0025	0.0038
	-40 - -50m	-0.0002	-0.0003	-0.0003	0.0056	0.0050	0.0080	0.0025	0.0024	0.0038
	-50 - -60m	-0.0004	-0.0004	-0.0004	0.0080	0.0076	0.0112	0.0014	0.0015	0.0025
	-60 - -70m	-0.0006	-0.0006	-0.0007	0.0096	0.0098	0.0131	0.0001	0.0002	0.0007
	-70 - -80m	-0.0007	-0.0008	-0.0009	0.0099	0.0096	0.0125	-0.0016	-0.0017	-0.0017
Helmikuu	5 - -5m	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0023	-0.0020	-0.0031	-0.0017	-0.0013	-0.0019
	-5 - -10m	-0.0001	0.0000	0.0000	-0.0018	-0.0014	-0.0022	-0.0011	-0.0008	-0.0011
	-10 - -20m	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0016	-0.0012	-0.0016	-0.0008	-0.0005	-0.0006
	-20 - -30m	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0012	-0.0008	-0.0010	-0.0003	-0.0001	0.0002
	-30 - -40m	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0009	-0.0004	-0.0003	0.0004	0.0004	0.0009
	-40 - -50m	0.0001	0.0001	0.0001	-0.0011	-0.0006	-0.0007	0.0006	0.0006	0.0011
	-50 - -60m	0.0000	0.0001	0.0001	-0.0007	0.0000	-0.0002	0.0003	0.0007	0.0009
	-60 - -70m	-0.0001	0.0001	0.0001	0.0005	0.0013	0.0015	0.0001	0.0009	0.0011
	-70 - -80m	-0.0002	0.0000	0.0000	0.0007	0.0010	0.0015	0.0001	0.0011	0.0013
Maaliskuu	5 - -5m	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0008	-0.0009	-0.0014	-0.0008	-0.0008	-0.0010
	-5 - -10m	0.0000	-0.0001	-0.0001	-0.0003	-0.0004	-0.0008	-0.0004	-0.0004	-0.0005
	-10 - -20m	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0003	-0.0004	-0.0005	-0.0002	-0.0003	-0.0002
	-20 - -30m	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0004	-0.0006	-0.0002	-0.0002	-0.0003	0.0000
	-30 - -40m	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0002	-0.0004	0.0001	-0.0001	-0.0003	-0.0001
	-40 - -50m	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0001	0.0002	0.0000	-0.0001	0.0000
	-50 - -60m	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0003	0.0004	0.0002	0.0002	0.0002
	-60 - -70m	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0005	0.0007	0.0002	0.0003	0.0004
	-70 - -80m	-0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0003	0.0005

Taulukko 8: Keskimääräisen virtausnopeuden erot [m/s] - osa 2

(ottaen huomioon eri laajuudet (Pohjanlahti, sisä ja ulkolaatikko), eri syvyyvälit ja eri aikaväli).

		Current Speed								
		Bothnian Bay			innerBox			outerBox		
		25MW	20MW	15MW	25MW	20MW	15MW	25MW	20MW	15MW
Huhtikuu	5 - -5m	-0.0002	-0.0003	-0.0003	-0.0048	-0.0063	-0.0072	-0.0029	-0.0036	-0.0040
	-5 - -10m	-0.0002	-0.0002	-0.0002	-0.0024	-0.0033	-0.0035	-0.0017	-0.0021	-0.0021
	-10 - -20m	-0.0002	-0.0003	-0.0003	-0.0016	-0.0025	-0.0027	-0.0013	-0.0018	-0.0019
	-20 - -30m	-0.0001	-0.0002	-0.0002	-0.0023	-0.0036	-0.0035	-0.0013	-0.0020	-0.0019
	-30 - -40m	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0020	-0.0030	-0.0028	-0.0007	-0.0010	-0.0008
	-40 - -50m	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0009	-0.0011	-0.0009	-0.0001	0.0000	0.0001
	-50 - -60m	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0009	0.0016	0.0002	0.0005	0.0007
	-60 - -70m	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015	0.0029	0.0036	0.0002	0.0005	0.0006
	-70 - -80m	0.0000	-0.0001	-0.0001	0.0009	0.0017	0.0020	-0.0002	-0.0002	-0.0003
Toukokuu	5 - -5m	-0.0003	-0.0003	-0.0003	-0.0081	-0.0102	-0.0117	-0.0033	-0.0039	-0.0044
	-5 - -10m	-0.0002	-0.0003	-0.0002	-0.0037	-0.0045	-0.0043	-0.0015	-0.0018	-0.0016
	-10 - -20m	-0.0004	-0.0005	-0.0006	-0.0045	-0.0056	-0.0051	-0.0027	-0.0033	-0.0029
	-20 - -30m	-0.0004	-0.0005	-0.0004	-0.0056	-0.0074	-0.0072	-0.0030	-0.0036	-0.0031
	-30 - -40m	-0.0003	-0.0003	-0.0003	-0.0059	-0.0070	-0.0064	-0.0022	-0.0020	-0.0013
	-40 - -50m	-0.0002	-0.0001	-0.0001	-0.0044	-0.0042	-0.0032	-0.0010	-0.0002	0.0006
	-50 - -60m	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0018	-0.0005	0.0007	-0.0003	0.0004	0.0010
	-60 - -70m	-0.0001	-0.0001	-0.0001	0.0010	0.0030	0.0042	-0.0003	0.0001	0.0004
	-70 - -80m	-0.0002	-0.0002	-0.0002	0.0018	0.0029	0.0030	-0.0009	-0.0009	-0.0009
Kesäkuu	5 - -5m	-0.0007	-0.0006	-0.0007	-0.0093	-0.0093	-0.0102	-0.0057	-0.0057	-0.0065
	-5 - -10m	-0.0005	-0.0004	-0.0005	-0.0032	-0.0029	-0.0018	-0.0024	-0.0024	-0.0023
	-10 - -20m	-0.0004	-0.0004	-0.0005	-0.0044	-0.0049	-0.0043	-0.0020	-0.0020	-0.0016
	-20 - -30m	-0.0004	-0.0004	-0.0005	-0.0053	-0.0063	-0.0066	-0.0029	-0.0033	-0.0036
	-30 - -40m	-0.0004	-0.0005	-0.0005	-0.0046	-0.0057	-0.0061	-0.0025	-0.0031	-0.0035
	-40 - -50m	-0.0003	-0.0004	-0.0004	-0.0041	-0.0052	-0.0056	-0.0017	-0.0021	-0.0023
	-50 - -60m	-0.0002	-0.0003	-0.0003	-0.0037	-0.0045	-0.0045	-0.0013	-0.0015	-0.0015
	-60 - -70m	-0.0002	-0.0002	-0.0002	-0.0016	-0.0016	-0.0012	-0.0009	-0.0010	-0.0009
	-70 - -80m	-0.0001	-0.0002	-0.0002	0.0002	0.0001	0.0000	-0.0007	-0.0009	-0.0009
Heinäkuu	5 - -5m	-0.0004	-0.0002	0.0000	-0.0020	-0.0001	0.0050	-0.0017	0.0001	0.0036
	-5 - -10m	0.0002	0.0003	0.0005	0.0102	0.0118	0.0165	0.0059	0.0072	0.0103
	-10 - -20m	0.0001	0.0001	0.0002	0.0007	0.0014	0.0035	0.0021	0.0028	0.0045
	-20 - -30m	-0.0002	-0.0002	-0.0002	-0.0030	-0.0030	-0.0029	-0.0011	-0.0011	-0.0007
	-30 - -40m	-0.0002	-0.0002	-0.0002	-0.0030	-0.0028	-0.0029	-0.0010	-0.0009	-0.0006
	-40 - -50m	-0.0002	-0.0002	-0.0002	-0.0027	-0.0025	-0.0023	-0.0006	-0.0004	0.0001
	-50 - -60m	-0.0002	-0.0001	-0.0001	-0.0018	-0.0016	-0.0009	-0.0005	-0.0003	0.0003
	-60 - -70m	-0.0002	-0.0001	-0.0001	-0.0001	0.0003	0.0016	-0.0005	-0.0003	0.0003
	-70 - -80m	-0.0002	-0.0002	-0.0002	0.0009	0.0010	0.0017	-0.0007	-0.0006	-0.0003
Elokuu	5 - -5m	-0.0006	-0.0006	-0.0005	-0.0119	-0.0114	-0.0098	-0.0055	-0.0042	-0.0023
	-5 - -10m	-0.0005	-0.0004	-0.0004	-0.0036	-0.0024	0.0000	-0.0019	-0.0007	0.0007
	-10 - -20m	-0.0008	-0.0010	-0.0010	-0.0030	-0.0036	-0.0019	-0.0025	-0.0029	-0.0018
	-20 - -30m	-0.0006	-0.0007	-0.0008	-0.0043	-0.0062	-0.0061	-0.0031	-0.0041	-0.0041
	-30 - -40m	-0.0006	-0.0007	-0.0008	-0.0036	-0.0050	-0.0047	-0.0028	-0.0033	-0.0032
	-40 - -50m	-0.0005	-0.0005	-0.0006	-0.0028	-0.0036	-0.0028	-0.0022	-0.0021	-0.0019
	-50 - -60m	-0.0004	-0.0004	-0.0005	-0.0015	-0.0014	-0.0003	-0.0014	-0.0010	-0.0008
	-60 - -70m	-0.0004	-0.0003	-0.0004	0.0007	0.0016	0.0030	-0.0009	-0.0003	-0.0002
	-70 - -80m	-0.0003	-0.0003	-0.0004	0.0014	0.0020	0.0034	-0.0008	-0.0006	-0.0006

Taulukko 9: Keskimääräisen virtausnopeuden erot [m/s] - osa 3

(ottaen huomioon eri laajuudet (Pohjanlahti, sisä ja ulkolaatikko), eri syvyysvälit ja eri aikaväli).

		Current Speed								
		Bothnian Bay			innerBox			outerBox		
		25MW	20MW	15MW	25MW	20MW	15MW	25MW	20MW	15MW
		5 - -5m	5 - -5m	5 - -5m	5 - -5m	5 - -5m	5 - -5m	5 - -5m	5 - -5m	5 - -5m
Syyskuu	5 - -5m	-0.0003	0.0000	0.0003	-0.0121	-0.0127	-0.0121	-0.0056	-0.0037	-0.0024
	-5 - -10m	0.0000	0.0004	0.0008	-0.0035	-0.0012	0.0017	-0.0015	0.0012	0.0033
	-10 - -20m	-0.0002	0.0000	0.0002	-0.0005	0.0021	0.0055	-0.0006	0.0010	0.0030
	-20 - -30m	-0.0003	-0.0004	-0.0003	-0.0021	-0.0010	0.0013	-0.0009	-0.0001	0.0014
	-30 - -40m	-0.0002	-0.0002	-0.0001	-0.0014	-0.0002	0.0017	-0.0001	0.0007	0.0017
	-40 - -50m	-0.0001	0.0000	0.0000	0.0006	0.0026	0.0046	0.0009	0.0021	0.0030
	-50 - -60m	0.0000	0.0000	0.0001	0.0025	0.0050	0.0072	0.0014	0.0028	0.0036
	-60 - -70m	0.0000	0.0000	0.0000	0.0042	0.0069	0.0093	0.0015	0.0027	0.0034
	-70 - -80m	-0.0001	-0.0001	-0.0001	0.0020	0.0036	0.0043	0.0007	0.0015	0.0019
Lokakuu	5 - -5m	-0.0005	-0.0006	-0.0005	-0.0135	-0.0180	-0.0185	-0.0057	-0.0072	-0.0068
	-5 - -10m	-0.0004	-0.0005	-0.0003	-0.0084	-0.0096	-0.0074	-0.0034	-0.0036	-0.0020
	-10 - -20m	-0.0005	-0.0006	-0.0005	-0.0052	-0.0046	-0.0019	-0.0021	-0.0018	-0.0001
	-20 - -30m	-0.0006	-0.0009	-0.0010	-0.0032	-0.0023	-0.0001	-0.0022	-0.0025	-0.0017
	-30 - -40m	-0.0006	-0.0008	-0.0010	-0.0036	-0.0042	-0.0033	-0.0023	-0.0031	-0.0030
	-40 - -50m	-0.0004	-0.0006	-0.0007	-0.0035	-0.0041	-0.0041	-0.0011	-0.0013	-0.0013
	-50 - -60m	-0.0003	-0.0004	-0.0005	-0.0024	-0.0021	-0.0022	-0.0003	0.0001	0.0004
	-60 - -70m	-0.0002	-0.0004	-0.0004	0.0004	0.0019	0.0028	0.0002	0.0008	0.0013
	-70 - -80m	-0.0002	-0.0004	-0.0005	0.0012	0.0025	0.0030	0.0004	0.0010	0.0017
Marraskuu	5 - -5m	-0.0006	-0.0006	-0.0006	-0.0120	-0.0149	-0.0169	-0.0057	-0.0069	-0.0073
	-5 - -10m	-0.0005	-0.0005	-0.0004	-0.0070	-0.0084	-0.0083	-0.0031	-0.0037	-0.0032
	-10 - -20m	-0.0004	-0.0005	-0.0004	-0.0039	-0.0045	-0.0036	-0.0016	-0.0016	-0.0007
	-20 - -30m	-0.0003	-0.0004	-0.0003	-0.0022	-0.0020	-0.0012	-0.0013	-0.0011	-0.0006
	-30 - -40m	-0.0003	-0.0003	-0.0003	-0.0028	-0.0023	-0.0017	-0.0012	-0.0011	-0.0007
	-40 - -50m	-0.0002	-0.0003	-0.0003	-0.0029	-0.0024	-0.0020	-0.0011	-0.0011	-0.0010
	-50 - -60m	-0.0002	-0.0003	-0.0003	-0.0017	-0.0010	-0.0008	-0.0009	-0.0011	-0.0011
	-60 - -70m	-0.0002	-0.0003	-0.0004	0.0005	0.0015	0.0018	-0.0008	-0.0010	-0.0011
	-70 - -80m	-0.0003	-0.0004	-0.0004	0.0008	0.0014	0.0016	-0.0011	-0.0015	-0.0017
Joulukuu	5 - -5m	-0.0005	-0.0006	-0.0007	-0.0125	-0.0176	-0.0208	-0.0063	-0.0081	-0.0095
	-5 - -10m	-0.0004	-0.0005	-0.0006	-0.0063	-0.0095	-0.0101	-0.0031	-0.0046	-0.0048
	-10 - -20m	-0.0005	-0.0007	-0.0009	-0.0034	-0.0050	-0.0047	-0.0020	-0.0031	-0.0029
	-20 - -30m	-0.0005	-0.0007	-0.0008	-0.0042	-0.0071	-0.0078	-0.0025	-0.0042	-0.0045
	-30 - -40m	-0.0004	-0.0006	-0.0007	-0.0048	-0.0082	-0.0086	-0.0019	-0.0034	-0.0035
	-40 - -50m	-0.0003	-0.0004	-0.0004	-0.0037	-0.0055	-0.0051	-0.0009	-0.0013	-0.0010
	-50 - -60m	-0.0002	-0.0002	-0.0002	-0.0015	-0.0012	0.0003	-0.0002	0.0000	0.0005
	-60 - -70m	-0.0002	-0.0002	-0.0002	0.0022	0.0052	0.0073	0.0000	0.0004	0.0008
	-70 - -80m	-0.0002	-0.0004	-0.0004	0.0045	0.0053	0.0068	-0.0007	-0.0010	-0.0010

Liite 5 Hydrodynaaminen vaikutus: Suolapitoisuus alueelliset analyysit

Taulukko 10: Alueelliset tilastot 15 MW:n tapauksen vaikutuksesta suolapitoisuuteen

Maximum Reduction in Salinity observed in the model area based on the mean over a specific period [PSU]													
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	-0.06	-0.07	-0.13	-0.07	-0.09	-0.10	-0.28	-0.28	-0.13	-0.12	-0.13	-0.18	-0.14
-5 m to -10 m	-0.06	-0.06	-0.12	-0.05	-0.05	-0.10	-0.19	-0.27	-0.13	-0.18	-0.11	-0.17	-0.14
-10 m to -20 m	-0.05	-0.06	-0.13	-0.04	-0.04	-0.11	-0.14	-0.23	-0.12	-0.24	-0.09	-0.14	-0.11
-20 m to -30 m	-0.05	-0.08	-0.13	-0.04	-0.02	-0.12	-0.10	-0.18	-0.11	-0.27	-0.07	-0.12	-0.09
-30 m to -40 m	-0.02	-0.11	-0.12	-0.03	-0.02	-0.05	-0.04	-0.10	-0.04	-0.09	-0.10	-0.10	-0.07
-40 m to -50 m	-0.01	-0.11	-0.09	-0.03	-0.02	-0.02	-0.02	-0.04	-0.02	-0.01	-0.11	-0.07	-0.05
-50 m to -60 m	-0.01	-0.12	-0.06	-0.02	-0.02	-0.03	-0.02	-0.03	-0.01	-0.01	-0.10	-0.07	-0.05
-60 m to -70 m	-0.01	-0.11	-0.04	-0.02	-0.02	-0.03	-0.02	-0.01	0.00	-0.01	-0.06	-0.06	-0.04
-70 m to -80 m	-0.01	-0.11	-0.04	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	0.00	-0.01	-0.03	-0.04	-0.06

Maximum Increase in Salinity observed in the model area based on the mean over a specific period [PSU]													
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	0.02	0.06	0.14	0.12	0.05	0.13	0.11	0.21	0.12	0.08	0.08	0.08	0.05
-5 m to -10 m	0.05	0.06	0.12	0.06	0.05	0.19	0.16	0.16	0.08	0.14	0.08	0.08	0.07
-10 m to -20 m	0.07	0.06	0.12	0.04	0.05	0.20	0.25	0.19	0.16	0.29	0.07	0.08	0.07
-20 m to -30 m	0.05	0.06	0.11	0.04	0.04	0.18	0.16	0.15	0.14	0.24	0.11	0.07	0.05
-30 m to -40 m	0.03	0.06	0.10	0.03	0.03	0.11	0.14	0.11	0.08	0.13	0.12	0.07	0.04
-40 m to -50 m	0.03	0.07	0.10	0.03	0.02	0.09	0.09	0.06	0.05	0.09	0.13	0.05	0.04
-50 m to -60 m	0.03	0.10	0.10	0.04	0.03	0.07	0.04	0.05	0.03	0.03	0.13	0.12	0.04
-60 m to -70 m	0.02	0.12	0.06	0.01	0.01	0.06	0.04	0.04	0.04	0.03	0.10	0.03	0.03
-70 m to -80 m	0.03	0.14	0.07	0.02	0.01	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.09	0.03	0.02

5% Percentile Difference (Decrease) in Salinity observed in the model area based on the mean over a specific period [PSU]													
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	-0.02	-0.03	-0.03	-0.02	-0.02	-0.03	-0.06	-0.08	-0.06	-0.06	-0.05	-0.08	-0.07
-5 m to -10 m	-0.03	-0.03	-0.04	-0.02	-0.01	-0.03	-0.04	-0.06	-0.05	-0.06	-0.05	-0.08	-0.06
-10 m to -20 m	-0.03	-0.03	-0.04	-0.01	-0.01	-0.03	-0.04	-0.05	-0.03	-0.06	-0.04	-0.07	-0.05
-20 m to -30 m	-0.02	-0.04	-0.04	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.05	-0.02	-0.02	-0.04	-0.05	-0.03
-30 m to -40 m	-0.01	-0.04	-0.03	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.03	-0.03	-0.02
-40 m to -50 m	0.00	-0.05	-0.03	-0.02	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	0.00	-0.01	-0.03	-0.02	-0.01
-50 m to -60 m	0.00	-0.05	-0.03	-0.02	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.01	-0.01
-60 m to -70 m	0.00	-0.05	-0.03	-0.02	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01
-70 m to -80 m	0.00	-0.03	-0.03	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01

95% Percentile Difference (Increase) in Salinity observed in the model area based on the mean over a specific period [PSU]													
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.04	0.07	0.04	0.03	0.02	0.05	0.03
-5 m to -10 m	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.04	0.03	0.02	0.04	0.02
-10 m to -20 m	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.05	0.02	0.04	0.03
-20 m to -30 m	0.01	0.02	0.02	0.01	0.00	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03
-30 m to -40 m	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.02
-40 m to -50 m	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02
-50 m to -60 m	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02
-60 m to -70 m	0.01	0.06	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01
-70 m to -80 m	0.01	0.06	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.01	0.01

Taulukko 11: Alueelliset tilastot 20 MW:n tapauksen vaikutuksesta suolapitoisuuteen

Maximum Reduction in Salinity observed in the model area based on the mean over a specific period [PSU]													
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	-0.05	-0.05	-0.09	-0.05	-0.10	-0.07	-0.22	-0.23	-0.10	-0.10	-0.10	-0.12	-0.10
-5 m to -10 m	-0.04	-0.05	-0.09	-0.04	-0.06	-0.09	-0.15	-0.23	-0.11	-0.13	-0.09	-0.12	-0.10
-10 m to -20 m	-0.04	-0.05	-0.10	-0.03	-0.02	-0.12	-0.10	-0.20	-0.09	-0.19	-0.07	-0.10	-0.07
-20 m to -30 m	-0.03	-0.07	-0.11	-0.02	-0.01	-0.07	-0.07	-0.13	-0.07	-0.21	-0.05	-0.08	-0.06
-30 m to -40 m	-0.01	-0.08	-0.09	-0.02	-0.01	-0.02	-0.03	-0.06	-0.02	-0.06	-0.08	-0.07	-0.04
-40 m to -50 m	-0.01	-0.09	-0.06	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.03	-0.01	-0.01	-0.07	-0.05	-0.04
-50 m to -60 m	-0.01	-0.10	-0.04	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01	-0.02	0.00	-0.01	-0.06	-0.05	-0.04
-60 m to -70 m	-0.01	-0.08	-0.03	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	-0.04	-0.04	-0.03
-70 m to -80 m	0.00	-0.08	-0.03	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	-0.02	-0.03	-0.02

Maximum Increase in Salinity observed in the model area based on the mean over a specific period [PSU]													
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	0.02	0.05	0.10	0.09	0.10	0.11	0.09	0.16	0.09	0.06	0.07	0.07	0.04
-5 m to -10 m	0.04	0.05	0.08	0.06	0.07	0.16	0.12	0.14	0.07	0.10	0.07	0.07	0.06
-10 m to -20 m	0.06	0.05	0.09	0.07	0.07	0.17	0.22	0.15	0.15	0.24	0.06	0.07	0.06
-20 m to -30 m	0.09	0.08	0.16	0.17	0.13	0.17	0.17	0.14	0.13	0.22	0.10	0.06	0.06
-30 m to -40 m	0.08	0.10	0.10	0.08	0.10	0.11	0.16	0.13	0.09	0.14	0.10	0.05	0.06
-40 m to -50 m	0.06	0.07	0.09	0.05	0.05	0.10	0.10	0.08	0.06	0.09	0.11	0.04	0.04
-50 m to -60 m	0.03	0.08	0.08	0.03	0.02	0.05	0.06	0.05	0.05	0.04	0.10	0.03	0.04
-60 m to -70 m	0.02	0.09	0.04	0.01	0.01	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.08	0.03	0.02
-70 m to -80 m	0.02	0.11	0.05	0.01	0.01	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.08	0.03	0.02

5% Percentile Difference (Decrease) in Salinity observed in the model area based on the mean over a specific period [PSU]													
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02	-0.05	-0.07	-0.05	-0.04	-0.03	-0.06	-0.05
-5 m to -10 m	-0.02	-0.02	-0.03	-0.01	-0.01	-0.02	-0.03	-0.05	-0.05	-0.05	-0.03	-0.06	-0.04
-10 m to -20 m	-0.02	-0.02	-0.03	-0.01	0.00	-0.02	-0.03	-0.04	-0.03	-0.05	-0.03	-0.05	-0.04
-20 m to -30 m	-0.01	-0.03	-0.02	-0.01	0.00	-0.01	-0.02	-0.03	-0.01	-0.01	-0.02	-0.03	-0.02
-30 m to -40 m	0.00	-0.03	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	-0.02	-0.02	-0.01
-40 m to -50 m	0.00	-0.04	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.01	0.00
-50 m to -60 m	0.00	-0.04	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	0.00
-60 m to -70 m	0.00	-0.03	-0.02	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	0.00
-70 m to -80 m	0.00	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01

95% Percentile Difference (Increase) in Salinity observed in the model area based on the mean over a specific period [PSU]													
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.06	0.04	0.03	0.02	0.04	0.02
-5 m to -10 m	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03	0.02	0.04	0.02
-10 m to -20 m	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.03	0.04	0.02	0.03	0.03
-20 m to -30 m	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.03	0.03
-30 m to -40 m	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
-40 m to -50 m	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
-50 m to -60 m	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02
-60 m to -70 m	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01
-70 m to -80 m	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01	0.01

Taulukko 12: Alueelliset tilastot 25 MW:n tapauksen vaikutuksesta suolapitoisuuteen.

Maximum Reduction in Salinity observed in the model area based on the mean over a specific period [PSU]														
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	
5 m to -5 m	-0.04	-0.04	-0.11	-0.05	-0.08	-0.08	-0.14	-0.19	-0.09	-0.07	-0.05	-0.07	-0.05	
-5 m to -10 m	-0.03	-0.05	-0.10	-0.03	-0.05	-0.10	-0.10	-0.21	-0.09	-0.07	-0.04	-0.06	-0.05	
-10 m to -20 m	-0.02	-0.04	-0.11	-0.03	-0.02	-0.10	-0.08	-0.19	-0.07	-0.12	-0.03	-0.05	-0.05	
-20 m to -30 m	-0.01	-0.06	-0.11	-0.02	-0.01	-0.06	-0.06	-0.13	-0.03	-0.12	-0.03	-0.04	-0.04	
-30 m to -40 m	-0.01	-0.08	-0.10	-0.02	-0.01	-0.02	-0.03	-0.07	-0.02	-0.03	-0.04	-0.04	-0.03	
-40 m to -50 m	0.00	-0.08	-0.08	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02	-0.03	-0.01	-0.01	-0.04	-0.03	-0.02	
-50 m to -60 m	0.00	-0.09	-0.07	-0.02	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.03	-0.03	-0.02	
-60 m to -70 m	0.00	-0.09	-0.04	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01	0.00	0.00	-0.02	-0.03	-0.01	
-70 m to -80 m	0.00	-0.08	-0.03	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	

Maximum Increase in Salinity observed in the model area based on the mean over a specific period [PSU]														
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	
5 m to -5 m	0.02	0.05	0.12	0.09	0.09	0.07	0.07	0.14	0.09	0.04	0.03	0.04	0.02	
-5 m to -10 m	0.02	0.05	0.10	0.06	0.05	0.10	0.09	0.13	0.08	0.04	0.03	0.04	0.02	
-10 m to -20 m	0.04	0.04	0.10	0.07	0.06	0.13	0.18	0.13	0.14	0.11	0.03	0.04	0.04	
-20 m to -30 m	0.08	0.08	0.16	0.18	0.13	0.13	0.15	0.14	0.12	0.14	0.07	0.06	0.05	
-30 m to -40 m	0.07	0.10	0.11	0.08	0.10	0.09	0.14	0.12	0.11	0.10	0.06	0.04	0.05	
-40 m to -50 m	0.05	0.08	0.10	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.08	0.08	0.07	0.03	0.04	
-50 m to -60 m	0.02	0.09	0.10	0.03	0.02	0.04	0.05	0.05	0.04	0.03	0.07	0.02	0.03	
-60 m to -70 m	0.02	0.10	0.06	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.05	0.02	0.02	
-70 m to -80 m	0.02	0.10	0.06	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.05	0.02	0.01	

5% Percentile Difference (Decrease) in Salinity observed in the model area based on the mean over a specific period [PSU]														
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	
5 m to -5 m	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.02	-0.03	-0.06	-0.05	-0.03	-0.02	-0.03	-0.02	
-5 m to -10 m	-0.01	-0.02	-0.03	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.04	-0.04	-0.04	-0.02	-0.03	-0.02	
-10 m to -20 m	-0.01	-0.02	-0.03	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.04	-0.03	-0.03	-0.01	-0.02	-0.02	
-20 m to -30 m	0.00	-0.03	-0.03	-0.01	0.00	-0.01	-0.02	-0.03	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	
-30 m to -40 m	0.00	-0.03	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	
-40 m to -50 m	0.00	-0.04	-0.02	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	0.00	
-50 m to -60 m	0.00	-0.04	-0.02	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	
-60 m to -70 m	0.00	-0.03	-0.02	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
-70 m to -80 m	0.00	-0.02	-0.02	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

95% Percentile Difference (Increase) in Salinity observed in the model area based on the mean over a specific period [PSU]														
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	
5 m to -5 m	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.06	0.04	0.02	0.01	0.02	0.01	
-5 m to -10 m	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.04	0.02	0.01	0.02	0.01	
-10 m to -20 m	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01	
-20 m to -30 m	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.05	0.03	0.03	0.01	0.02	0.02	
-30 m to -40 m	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01	0.02	
-40 m to -50 m	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	
-50 m to -60 m	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	
-60 m to -70 m	0.01	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	
-70 m to -80 m	0.01	0.06	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	

Liite 6 Hydrodynaaminen vaikutus: Keskimääräisen suolapitoisuuden vertailu

Taulukko 13: Keskimääräisen suolapitoisuuden erot [PSU] - osa 1

(ottaen huomioon eri laajuudet (Pohjanlahti, sisä ja ulkolaatikko), eri syvyysvälit ja eri aikaväli).

		Salinity								
		Bothnian Bay			innerBox			outerBox		
		25MW	20MW	15MW	25MW	20MW	15MW	25MW	20MW	15MW
		5 - -5m	5 - -5m	5 - -5m	5 - -5m	5 - -5m	5 - -5m	5 - -5m	5 - -5m	5 - -5m
Koko vuosi		-0.0011	-0.0017	-0.0047	-0.015	-0.019	-0.028	-0.010	-0.013	-0.020
	-5 - -10m	-0.0008	-0.0014	-0.0043	-0.009	-0.010	-0.015	-0.006	-0.007	-0.011
	-10 - -20m	0.0003	-0.0001	-0.0029	0.009	0.010	0.002	0.007	0.008	0.002
	-20 - -30m	0.0020	0.0023	0.0003	0.020	0.024	0.011	0.015	0.019	0.011
	-30 - -40m	0.0025	0.0029	0.0018	0.014	0.018	0.007	0.009	0.012	0.007
	-40 - -50m	0.0028	0.0032	0.0026	0.006	0.010	0.002	0.004	0.006	0.001
	-50 - -60m	0.0029	0.0032	0.0030	0.001	0.004	0.000	0.001	0.002	-0.002
	-60 - -70m	0.0031	0.0033	0.0035	0.000	0.003	0.000	0.001	0.001	-0.001
	-70 - -80m	0.0032	0.0033	0.0038	-0.002	0.002	0.000	0.001	0.002	0.000
Tammikuu		-0.0010	-0.0007	-0.0012	-0.007	-0.007	-0.015	-0.007	-0.007	-0.013
	-5 - -10m	-0.0013	-0.0011	-0.0017	-0.009	-0.009	-0.018	-0.007	-0.008	-0.014
	-10 - -20m	-0.0013	-0.0010	-0.0017	-0.006	-0.007	-0.017	-0.007	-0.008	-0.014
	-20 - -30m	-0.0016	-0.0013	-0.0019	0.001	-0.002	-0.010	-0.008	-0.010	-0.016
	-30 - -40m	-0.0018	-0.0017	-0.0022	-0.012	-0.018	-0.026	-0.012	-0.017	-0.022
	-40 - -50m	-0.0002	-0.0005	-0.0006	-0.037	-0.044	-0.057	-0.019	-0.025	-0.032
	-50 - -60m	0.0022	0.0014	0.0017	-0.057	-0.062	-0.081	-0.024	-0.032	-0.042
	-60 - -70m	0.0057	0.0047	0.0056	-0.058	-0.063	-0.083	-0.022	-0.028	-0.040
	-70 - -80m	0.0078	0.0070	0.0084	-0.077	-0.075	-0.099	-0.021	-0.024	-0.035
Helmikuu		-0.0020	-0.0014	-0.0022	0.014	0.012	0.011	0.011	0.009	0.009
	-5 - -10m	-0.0025	-0.0019	-0.0031	0.005	0.004	-0.001	0.006	0.005	0.002
	-10 - -20m	-0.0019	-0.0015	-0.0031	0.004	0.004	-0.011	0.005	0.005	-0.003
	-20 - -30m	-0.0008	-0.0004	-0.0017	-0.005	-0.005	-0.027	-0.003	-0.001	-0.012
	-30 - -40m	0.0006	0.0005	0.0001	-0.028	-0.023	-0.043	-0.011	-0.008	-0.017
	-40 - -50m	0.0015	0.0009	0.0008	-0.030	-0.022	-0.037	-0.014	-0.011	-0.018
	-50 - -60m	0.0023	0.0014	0.0016	-0.025	-0.016	-0.025	-0.017	-0.013	-0.019
	-60 - -70m	0.0037	0.0026	0.0032	-0.021	-0.012	-0.019	-0.015	-0.012	-0.017
	-70 - -80m	0.0055	0.0045	0.0058	-0.019	-0.012	-0.018	-0.012	-0.010	-0.014
Maaliskuu		-0.0019	-0.0012	-0.0023	0.018	0.018	0.022	0.009	0.010	0.012
	-5 - -10m	-0.0011	-0.0008	-0.0021	0.015	0.014	0.011	0.007	0.007	0.004
	-10 - -20m	0.0004	0.0004	-0.0013	0.018	0.018	0.005	0.008	0.008	-0.001
	-20 - -30m	0.0007	0.0006	-0.0007	0.013	0.015	-0.004	0.004	0.005	-0.005
	-30 - -40m	0.0003	0.0001	-0.0008	0.006	0.008	-0.002	-0.001	0.001	-0.005
	-40 - -50m	0.0003	0.0000	-0.0007	0.003	0.004	0.000	-0.003	-0.001	-0.005
	-50 - -60m	0.0008	0.0006	0.0002	0.001	0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.005
	-60 - -70m	0.0016	0.0013	0.0013	-0.001	-0.002	-0.003	-0.002	-0.003	-0.005
	-70 - -80m	0.0027	0.0023	0.0027	-0.001	-0.002	-0.004	-0.002	-0.004	-0.007

Taulukko 14: Keskimääräisen suolapitoisuuden erot [PSU] - osa 2
(ottaen huomioon eri laajuudet (Pohjanlahti, sisä ja ulkolaatikko), eri syvyysvälit ja eri aikaväli).

		Salinity								
		Bothnian Bay			innerBox			outerBox		
		25MW	20MW	15MW	25MW	20MW	15MW	25MW	20MW	15MW
Huhtikuu	5 - -5m	-0.0006	-0.0010	-0.0027	0.002	-0.006	-0.014	0.002	-0.003	-0.007
	-5 - -10m	0.0001	-0.0001	-0.0019	0.011	0.009	0.005	0.006	0.004	0.001
	-10 - -20m	0.0005	0.0007	-0.0013	0.017	0.019	0.009	0.010	0.012	0.005
	-20 - -30m	0.0003	0.0007	-0.0010	0.021	0.024	0.006	0.011	0.015	0.006
	-30 - -40m	0.0003	0.0005	-0.0008	0.014	0.017	0.005	0.007	0.010	0.004
	-40 - -50m	0.0009	0.0008	0.0001	0.009	0.009	0.003	0.004	0.005	0.002
	-50 - -60m	0.0012	0.0010	0.0007	0.003	0.002	0.000	0.001	0.001	-0.001
	-60 - -70m	0.0017	0.0014	0.0014	0.001	0.000	-0.001	-0.001	-0.002	-0.003
	-70 - -80m	0.0024	0.0019	0.0022	-0.002	-0.003	-0.005	-0.001	-0.003	-0.004
Toukokuu	5 - -5m	-0.0017	-0.0033	-0.0070	-0.017	-0.006	-0.013	-0.005	0.001	-0.005
	-5 - -10m	-0.0008	-0.0022	-0.0054	-0.002	0.013	0.013	0.005	0.013	0.011
	-10 - -20m	0.0002	-0.0005	-0.0030	0.021	0.036	0.032	0.022	0.030	0.026
	-20 - -30m	0.0011	0.0017	0.0005	0.034	0.047	0.038	0.029	0.040	0.037
	-30 - -40m	0.0015	0.0024	0.0018	0.027	0.036	0.027	0.023	0.032	0.031
	-40 - -50m	0.0020	0.0030	0.0028	0.019	0.024	0.018	0.016	0.023	0.024
	-50 - -60m	0.0023	0.0029	0.0030	0.014	0.016	0.012	0.012	0.018	0.019
	-60 - -70m	0.0031	0.0036	0.0039	0.011	0.014	0.012	0.010	0.017	0.018
	-70 - -80m	0.0038	0.0043	0.0050	0.017	0.020	0.020	0.012	0.020	0.023
Kesäkuu	5 - -5m	-0.0018	-0.0041	-0.0080	-0.036	-0.051	-0.061	-0.024	-0.035	-0.042
	-5 - -10m	-0.0013	-0.0025	-0.0057	-0.016	-0.018	-0.016	-0.012	-0.015	-0.016
	-10 - -20m	0.0005	0.0000	-0.0037	0.037	0.048	0.049	0.021	0.023	0.019
	-20 - -30m	0.0015	0.0016	-0.0004	0.063	0.078	0.068	0.041	0.050	0.045
	-30 - -40m	0.0022	0.0028	0.0025	0.046	0.055	0.043	0.029	0.039	0.037
	-40 - -50m	0.0035	0.0046	0.0051	0.031	0.038	0.030	0.018	0.027	0.028
	-50 - -60m	0.0037	0.0049	0.0056	0.019	0.026	0.026	0.012	0.019	0.020
	-60 - -70m	0.0038	0.0049	0.0057	0.014	0.023	0.026	0.009	0.014	0.016
	-70 - -80m	0.0034	0.0045	0.0052	0.020	0.033	0.040	0.008	0.014	0.017
Heinäkuu	5 - -5m	0.0002	-0.0005	-0.0033	-0.059	-0.074	-0.087	-0.026	-0.040	-0.053
	-5 - -10m	-0.0001	-0.0007	-0.0030	-0.036	-0.050	-0.047	-0.012	-0.022	-0.023
	-10 - -20m	-0.0009	-0.0018	-0.0057	-0.002	-0.011	-0.023	0.003	-0.004	-0.015
	-20 - -30m	0.0016	0.0014	-0.0024	0.037	0.034	0.008	0.027	0.026	0.008
	-30 - -40m	0.0027	0.0031	0.0016	0.046	0.049	0.034	0.027	0.032	0.023
	-40 - -50m	0.0038	0.0048	0.0049	0.038	0.044	0.038	0.019	0.026	0.023
	-50 - -60m	0.0042	0.0054	0.0061	0.027	0.032	0.032	0.014	0.020	0.020
	-60 - -70m	0.0042	0.0054	0.0062	0.018	0.022	0.024	0.011	0.015	0.017
	-70 - -80m	0.0035	0.0046	0.0053	0.017	0.023	0.026	0.009	0.015	0.016
Elokuu	5 - -5m	-0.0023	-0.0024	-0.0064	-0.053	-0.051	-0.060	-0.046	-0.045	-0.053
	-5 - -10m	-0.0023	-0.0026	-0.0062	-0.038	-0.034	-0.035	-0.034	-0.031	-0.033
	-10 - -20m	0.0007	-0.0002	-0.0038	0.011	0.010	0.003	0.014	0.015	0.011
	-20 - -30m	0.0045	0.0041	0.0013	0.036	0.039	0.023	0.039	0.046	0.037
	-30 - -40m	0.0044	0.0047	0.0035	0.028	0.037	0.026	0.030	0.039	0.035
	-40 - -50m	0.0040	0.0046	0.0043	0.020	0.030	0.024	0.021	0.027	0.026
	-50 - -60m	0.0037	0.0044	0.0046	0.014	0.021	0.019	0.013	0.018	0.018
	-60 - -70m	0.0034	0.0042	0.0047	0.012	0.018	0.017	0.010	0.013	0.014
	-70 - -80m	0.0029	0.0037	0.0042	0.014	0.020	0.021	0.009	0.013	0.014

Taulukko 15: Keskimääräisen suolapitoisuuden keskiarvon erot [PSU] - osa 3
(ottaen huomioon eri laajuudet (Pohjanlahti, sisä ja ulkolaatikko), eri syvyysvälit ja eri aikaväli).

		Salinity								
		Bothnian Bay			innerBox			outerBox		
		25MW	20MW	15MW	25MW	20MW	15MW	25MW	20MW	15MW
Syyskuu	5 - -5m	-0.0021	-0.0038	-0.0086	-0.026	-0.037	-0.049	-0.020	-0.028	-0.038
	-5 - -10m	-0.0015	-0.0032	-0.0076	-0.023	-0.029	-0.037	-0.018	-0.021	-0.026
	-10 - -20m	0.0012	0.0007	-0.0029	0.003	0.006	-0.003	0.007	0.019	0.015
	-20 - -30m	0.0058	0.0068	0.0042	0.022	0.027	0.010	0.027	0.039	0.028
	-30 - -40m	0.0052	0.0061	0.0049	0.019	0.027	0.013	0.020	0.029	0.022
	-40 - -50m	0.0039	0.0047	0.0042	0.015	0.023	0.016	0.014	0.019	0.016
	-50 - -60m	0.0027	0.0033	0.0034	0.013	0.021	0.020	0.009	0.013	0.012
	-60 - -70m	0.0021	0.0027	0.0029	0.011	0.020	0.022	0.006	0.009	0.010
	-70 - -80m	0.0016	0.0019	0.0023	0.009	0.019	0.021	0.004	0.006	0.008
Lokakuu	5 - -5m	0.0007	0.0001	-0.0034	0.001	0.000	-0.006	-0.001	0.001	-0.005
	-5 - -10m	0.0008	0.0001	-0.0033	0.002	0.003	-0.003	0.000	0.002	-0.003
	-10 - -20m	0.0014	0.0009	-0.0020	0.005	0.012	0.013	0.002	0.006	0.004
	-20 - -30m	0.0029	0.0037	0.0018	0.004	0.016	0.018	0.000	0.005	0.003
	-30 - -40m	0.0040	0.0048	0.0024	-0.008	-0.006	-0.016	-0.008	-0.014	-0.027
	-40 - -50m	0.0040	0.0039	0.0013	-0.011	-0.018	-0.035	-0.010	-0.026	-0.045
	-50 - -60m	0.0040	0.0045	0.0029	-0.006	-0.013	-0.028	-0.007	-0.020	-0.036
	-60 - -70m	0.0036	0.0046	0.0039	-0.004	-0.012	-0.024	-0.003	-0.012	-0.022
	-70 - -80m	0.0028	0.0036	0.0033	-0.006	-0.011	-0.020	-0.002	-0.006	-0.012
Marraskuu	5 - -5m	0.0009	0.0009	-0.0036	-0.003	-0.013	-0.033	-0.003	-0.008	-0.021
	-5 - -10m	0.0010	0.0005	-0.0041	-0.003	-0.012	-0.031	-0.003	-0.007	-0.020
	-10 - -20m	0.0015	0.0006	-0.0035	0.000	-0.009	-0.025	-0.002	-0.007	-0.019
	-20 - -30m	0.0033	0.0034	0.0012	0.009	0.007	-0.004	0.004	0.001	-0.006
	-30 - -40m	0.0044	0.0057	0.0045	0.012	0.014	0.010	0.004	0.003	-0.001
	-40 - -50m	0.0046	0.0059	0.0049	0.008	0.012	0.010	0.001	-0.001	-0.007
	-50 - -60m	0.0033	0.0040	0.0030	0.006	0.011	0.011	0.000	-0.002	-0.008
	-60 - -70m	0.0021	0.0023	0.0013	0.007	0.011	0.011	0.002	0.000	-0.005
	-70 - -80m	0.0010	0.0007	-0.0002	0.007	0.013	0.015	0.003	0.003	0.000
Joulukuu	5 - -5m	-0.0019	-0.0025	-0.0077	-0.014	-0.015	-0.030	-0.011	-0.009	-0.021
	-5 - -10m	-0.0011	-0.0019	-0.0069	-0.011	-0.009	-0.022	-0.008	-0.005	-0.015
	-10 - -20m	0.0011	0.0011	-0.0029	-0.004	-0.001	-0.012	-0.003	0.000	-0.008
	-20 - -30m	0.0045	0.0055	0.0032	0.007	0.011	0.003	0.003	0.006	0.000
	-30 - -40m	0.0055	0.0062	0.0043	0.009	0.013	0.009	0.004	0.003	-0.001
	-40 - -50m	0.0054	0.0056	0.0038	0.009	0.014	0.011	0.004	0.001	-0.003
	-50 - -60m	0.0041	0.0041	0.0030	0.005	0.013	0.012	0.003	0.001	-0.002
	-60 - -70m	0.0024	0.0022	0.0017	0.005	0.014	0.014	0.002	0.002	-0.001
	-70 - -80m	0.0014	0.0010	0.0009	-0.002	0.006	0.005	0.000	0.001	-0.001

Liite 8 Hydrodynaaminen vaikutus: Lämpötila alueelliset analysysit

Taulukko 16: Alueelliset tilastot 15 MW:n tapauksen vaikutuksesta lämpötilaan

Maximum Reduction in Temperature observed in the model area based on the mean over a specific period [°C]													
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	-0.13	-0.33	-0.87	-0.42	-0.19	-0.12	-0.57	-1.04	-0.35	-0.24	-0.34	-0.32	-0.28
-5 m to -10 m	-0.53	-0.25	-1.22	-0.37	-0.15	-0.39	-2.22	-3.15	-2.17	-1.18	-0.47	-0.29	-0.32
-10 m to -20 m	-0.87	-0.30	-1.13	-0.35	-0.12	-0.70	-2.13	-4.49	-3.36	-3.09	-0.99	-0.24	-0.35
-20 m to -30 m	-0.30	-0.41	-1.07	-0.30	-0.10	-0.44	-1.68	-2.09	-1.24	-2.84	-1.40	-0.19	-0.33
-30 m to -40 m	-0.20	-0.53	-0.54	-0.13	-0.09	-0.36	-1.12	-1.45	-0.56	-1.10	-1.52	-0.40	-0.32
-40 m to -50 m	-0.17	-0.55	-0.38	-0.13	-0.03	-0.35	-0.78	-0.67	-0.47	-0.41	-1.41	-0.41	-0.40
-50 m to -60 m	-0.06	-0.46	-0.21	-0.04	-0.04	-0.39	-0.32	-0.22	-0.07	-0.15	-1.03	-0.30	-0.38
-60 m to -70 m	-0.05	-0.43	-0.21	-0.03	-0.04	-0.40	-0.20	-0.08	-0.05	-0.13	-0.47	-0.25	-0.37
-70 m to -80 m	-0.03	-0.34	-0.18	-0.03	-0.04	-0.18	-0.16	-0.10	-0.06	-0.07	-0.42	-0.23	-0.34

Maximum Increase in Temperature observed in the model area based on the mean over a specific period [°C]													
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	0.39	0.51	0.58	0.29	0.13	0.48	1.01	1.16	0.76	0.81	0.48	0.46	0.55
-5 m to -10 m	0.57	0.76	0.82	0.33	0.21	0.46	1.47	2.32	0.93	1.08	0.45	0.46	0.71
-10 m to -20 m	0.68	0.88	1.17	0.27	0.33	0.64	2.20	3.21	1.37	1.51	0.44	0.50	0.76
-20 m to -30 m	0.53	0.93	1.20	0.25	0.31	0.48	1.52	2.55	1.24	1.76	0.78	0.52	0.71
-30 m to -40 m	0.38	0.78	1.20	0.26	0.18	0.66	0.51	1.32	0.67	1.01	1.25	0.52	0.73
-40 m to -50 m	0.38	0.78	1.30	0.34	0.18	0.59	0.58	0.88	0.45	0.45	1.20	0.54	0.74
-50 m to -60 m	0.34	0.58	1.07	0.46	0.34	0.45	0.53	0.62	0.40	0.41	1.10	0.62	0.66
-60 m to -70 m	0.18	0.57	0.47	0.09	0.06	0.37	0.51	0.35	0.34	0.24	0.72	0.56	0.34
-70 m to -80 m	0.17	0.53	0.48	0.07	0.06	0.35	0.49	0.38	0.25	0.20	0.41	0.52	0.32

5% Percentile Difference (Decrease) in Temperature observed in the model area based on the mean over a specific period [°C]													
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	-0.03	-0.09	-0.10	-0.10	-0.06	-0.04	-0.05	-0.12	-0.15	-0.11	-0.19	-0.16	-0.11
-5 m to -10 m	-0.05	-0.09	-0.13	-0.10	-0.05	-0.07	-0.18	-0.44	-0.31	-0.13	-0.21	-0.15	-0.10
-10 m to -20 m	-0.16	-0.11	-0.17	-0.08	-0.04	-0.10	-0.30	-0.78	-1.05	-0.38	-0.23	-0.14	-0.10
-20 m to -30 m	-0.10	-0.14	-0.14	-0.06	-0.03	-0.06	-0.23	-0.48	-0.50	-0.67	-0.27	-0.14	-0.11
-30 m to -40 m	-0.05	-0.11	-0.09	-0.03	-0.02	-0.04	-0.09	-0.15	-0.13	-0.36	-0.29	-0.26	-0.13
-40 m to -50 m	-0.04	-0.11	-0.07	-0.02	-0.01	-0.02	-0.05	-0.06	-0.05	-0.16	-0.21	-0.26	-0.17
-50 m to -60 m	-0.03	-0.12	-0.04	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.03	-0.03	-0.06	-0.20	-0.18	-0.19
-60 m to -70 m	-0.03	-0.09	-0.02	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.17	-0.14	-0.19
-70 m to -80 m	-0.02	-0.06	-0.01	0.00	-0.01	0.00	0.00	-0.02	-0.03	-0.03	-0.14	-0.11	-0.16

95% Percentile Difference (Increase) in Temperature observed in the model area based on the mean over a specific period [°C]													
Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	0.12	0.05	0.16	0.11	0.05	0.18	0.26	0.42	0.43	0.39	0.17	0.19	0.16
-5 m to -10 m	0.14	0.10	0.20	0.13	0.08	0.15	0.20	0.54	0.51	0.49	0.18	0.21	0.19
-10 m to -20 m	0.18	0.15	0.20	0.15	0.11	0.14	0.22	0.78	0.64	0.55	0.20	0.23	0.26
-20 m to -30 m	0.16	0.15	0.23	0.16	0.11	0.12	0.15	0.48	0.42	0.29	0.26	0.26	0.30
-30 m to -40 m	0.16	0.12	0.27	0.12	0.09	0.17	0.15	0.30	0.21	0.17	0.43	0.29	0.31
-40 m to -50 m	0.16	0.14	0.28	0.08	0.07	0.19	0.14	0.20	0.13	0.09	0.44	0.36	0.28
-50 m to -60 m	0.15	0.23	0.25	0.04	0.05	0.17	0.16	0.16	0.14	0.08	0.32	0.39	0.26
-60 m to -70 m	0.14	0.31	0.16	0.03	0.04	0.18	0.21	0.19	0.16	0.09	0.23	0.35	0.24
-70 m to -80 m	0.13	0.23	0.10	0.03	0.03	0.21	0.28	0.23	0.18	0.12	0.17	0.27	0.24

Taulukko 17: Alueelliset tilastot 20 MW:n tapauksen vaikutuksesta lämpötilaan

Maximum Reduction in Temperature observed in the model area based on the mean over a specific period [°C]

Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	-0.04	-0.23	-0.71	-0.28	-0.16	-0.10	-0.29	-0.56	-0.19	-0.16	-0.24	-0.27	-0.26
-5 m to -10 m	-0.32	-0.20	-0.96	-0.26	-0.13	-0.38	-1.73	-2.15	-1.24	-0.69	-0.28	-0.25	-0.26
-10 m to -20 m	-0.75	-0.24	-0.90	-0.22	-0.07	-0.69	-1.73	-3.49	-2.81	-2.45	-0.63	-0.21	-0.25
-20 m to -30 m	-0.26	-0.37	-0.93	-0.16	-0.07	-0.40	-1.37	-1.69	-1.00	-2.56	-0.81	-0.16	-0.24
-30 m to -40 m	-0.15	-0.45	-0.46	-0.08	-0.05	-0.25	-0.72	-1.23	-0.28	-0.99	-0.96	-0.40	-0.27
-40 m to -50 m	-0.08	-0.42	-0.22	-0.05	-0.05	-0.33	-0.47	-0.58	-0.19	-0.36	-1.03	-0.40	-0.32
-50 m to -60 m	-0.05	-0.37	-0.17	-0.05	-0.07	-0.37	-0.28	-0.16	-0.06	-0.14	-0.92	-0.30	-0.33
-60 m to -70 m	-0.04	-0.35	-0.17	-0.01	-0.06	-0.36	-0.11	-0.06	-0.04	-0.11	-0.42	-0.26	-0.31
-70 m to -80 m	-0.02	-0.23	-0.15	-0.01	-0.03	-0.12	-0.07	-0.07	-0.05	-0.06	-0.38	-0.24	-0.29

Maximum Increase in Temperature observed in the model area based on the mean over a specific period [°C]

Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	0.34	0.34	0.51	0.20	0.11	0.39	0.87	1.02	0.69	0.66	0.38	0.38	0.42
-5 m to -10 m	0.48	0.52	0.62	0.22	0.20	0.40	1.22	2.04	0.85	0.89	0.36	0.41	0.54
-10 m to -20 m	0.56	0.61	0.87	0.22	0.37	0.45	1.74	2.58	1.20	1.29	0.40	0.45	0.61
-20 m to -30 m	0.42	0.75	0.98	0.48	0.46	0.40	1.19	1.72	1.17	1.48	0.75	0.52	0.57
-30 m to -40 m	0.35	0.78	0.90	0.26	0.31	0.53	0.47	0.93	0.67	0.78	1.12	0.47	0.62
-40 m to -50 m	0.31	0.65	1.03	0.33	0.19	0.44	0.51	0.61	0.45	0.45	1.08	0.43	0.61
-50 m to -60 m	0.28	0.50	0.82	0.39	0.29	0.36	0.44	0.44	0.39	0.39	0.92	0.51	0.54
-60 m to -70 m	0.17	0.47	0.35	0.08	0.07	0.30	0.40	0.29	0.36	0.24	0.59	0.44	0.25
-70 m to -80 m	0.14	0.41	0.37	0.06	0.06	0.29	0.42	0.32	0.21	0.19	0.35	0.39	0.23

5% Percentile Difference (Decrease) in Temperature observed in the model area based on the mean over a specific period [°C]

Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	-0.03	-0.07	-0.08	-0.06	-0.04	-0.03	-0.04	-0.10	-0.11	-0.05	-0.15	-0.13	-0.08
-5 m to -10 m	-0.03	-0.07	-0.09	-0.07	-0.03	-0.05	-0.14	-0.30	-0.23	-0.06	-0.17	-0.12	-0.08
-10 m to -20 m	-0.12	-0.09	-0.13	-0.05	-0.02	-0.07	-0.27	-0.62	-0.86	-0.29	-0.19	-0.12	-0.08
-20 m to -30 m	-0.09	-0.11	-0.10	-0.04	-0.02	-0.05	-0.22	-0.41	-0.43	-0.58	-0.22	-0.12	-0.09
-30 m to -40 m	-0.04	-0.08	-0.06	-0.03	-0.01	-0.03	-0.08	-0.14	-0.11	-0.32	-0.25	-0.22	-0.11
-40 m to -50 m	-0.03	-0.08	-0.05	-0.02	-0.01	-0.01	-0.05	-0.05	-0.04	-0.14	-0.19	-0.23	-0.15
-50 m to -60 m	-0.03	-0.09	-0.03	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.03	-0.03	-0.06	-0.18	-0.16	-0.16
-60 m to -70 m	-0.02	-0.07	-0.01	0.00	-0.01	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.04	-0.16	-0.12	-0.16
-70 m to -80 m	-0.02	-0.04	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.02	-0.03	-0.13	-0.10	-0.14

95% Percentile Difference (Increase) in Temperature observed in the model area based on the mean over a specific period [°C]

Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	0.11	0.05	0.12	0.08	0.05	0.16	0.26	0.33	0.36	0.33	0.14	0.17	0.13
-5 m to -10 m	0.12	0.08	0.15	0.10	0.08	0.13	0.20	0.39	0.46	0.41	0.15	0.18	0.16
-10 m to -20 m	0.14	0.12	0.16	0.12	0.11	0.12	0.19	0.60	0.56	0.47	0.16	0.20	0.21
-20 m to -30 m	0.12	0.12	0.19	0.14	0.11	0.10	0.15	0.35	0.32	0.22	0.22	0.22	0.23
-30 m to -40 m	0.12	0.09	0.21	0.11	0.08	0.15	0.13	0.22	0.15	0.11	0.34	0.24	0.24
-40 m to -50 m	0.13	0.11	0.22	0.08	0.06	0.17	0.12	0.17	0.11	0.06	0.31	0.29	0.20
-50 m to -60 m	0.12	0.18	0.20	0.04	0.05	0.15	0.13	0.15	0.11	0.05	0.22	0.30	0.18
-60 m to -70 m	0.11	0.24	0.14	0.03	0.04	0.16	0.18	0.17	0.14	0.07	0.16	0.26	0.17
-70 m to -80 m	0.11	0.20	0.07	0.03	0.04	0.18	0.23	0.20	0.16	0.09	0.11	0.19	0.17

Taulukko 18: Alueelliset tilastot 25 MW:n tapauksen vaikutuksesta lämpötilaan

Maximum Reduction in Temperature observed in the model area based on the mean over a specific period [°C]

Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	-0.04	-0.21	-0.67	-0.26	-0.16	-0.08	-0.24	-0.48	-0.16	-0.24	-0.17	-0.16	-0.30
-5 m to -10 m	-0.21	-0.18	-0.94	-0.25	-0.11	-0.28	-1.43	-1.50	-0.48	-0.31	-0.17	-0.14	-0.27
-10 m to -20 m	-0.51	-0.29	-0.85	-0.21	-0.04	-0.59	-1.68	-3.47	-1.60	-1.00	-0.17	-0.11	-0.16
-20 m to -30 m	-0.19	-0.40	-0.84	-0.16	-0.04	-0.29	-1.14	-1.78	-0.97	-1.73	-0.31	-0.11	-0.18
-30 m to -40 m	-0.11	-0.43	-0.43	-0.08	-0.03	-0.22	-0.72	-1.43	-0.63	-0.68	-0.46	-0.29	-0.18
-40 m to -50 m	-0.06	-0.44	-0.20	-0.05	-0.03	-0.25	-0.27	-0.37	-0.54	-0.22	-0.50	-0.30	-0.25
-50 m to -60 m	-0.03	-0.38	-0.12	-0.03	-0.04	-0.27	-0.14	-0.18	-0.05	-0.09	-0.60	-0.23	-0.31
-60 m to -70 m	-0.02	-0.35	-0.12	-0.01	-0.04	-0.22	-0.02	-0.05	-0.05	-0.05	-0.26	-0.20	-0.30
-70 m to -80 m	-0.02	-0.24	-0.10	0.00	-0.01	-0.02	-0.02	-0.06	-0.04	-0.05	-0.25	-0.18	-0.28

Maximum Increase in Temperature observed in the model area based on the mean over a specific period [°C]

Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	0.29	0.38	0.65	0.22	0.11	0.38	0.80	1.06	0.62	0.46	0.27	0.32	0.36
-5 m to -10 m	0.41	0.59	0.59	0.23	0.17	0.35	1.15	1.90	0.68	0.55	0.25	0.33	0.43
-10 m to -20 m	0.49	0.72	0.87	0.25	0.32	0.31	1.47	2.58	0.78	0.89	0.31	0.35	0.46
-20 m to -30 m	0.38	0.85	1.09	0.51	0.45	0.26	0.96	1.78	0.60	0.97	0.55	0.40	0.46
-30 m to -40 m	0.30	0.84	0.98	0.27	0.27	0.31	0.37	0.84	0.53	0.52	0.71	0.36	0.56
-40 m to -50 m	0.23	0.67	0.98	0.24	0.17	0.26	0.24	0.59	0.28	0.26	0.66	0.27	0.43
-50 m to -60 m	0.22	0.57	0.91	0.35	0.26	0.21	0.19	0.42	0.24	0.17	0.47	0.26	0.31
-60 m to -70 m	0.14	0.51	0.44	0.08	0.06	0.17	0.20	0.19	0.21	0.10	0.31	0.20	0.16
-70 m to -80 m	0.11	0.41	0.46	0.07	0.05	0.17	0.21	0.15	0.11	0.07	0.14	0.16	0.18

5% Percentile Difference (Decrease) in Temperature observed in the model area based on the mean over a specific period [°C]

Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	-0.02	-0.07	-0.09	-0.06	-0.03	-0.02	-0.02	-0.09	-0.08	-0.05	-0.11	-0.08	-0.05
-5 m to -10 m	-0.03	-0.07	-0.10	-0.06	-0.02	-0.02	-0.08	-0.31	-0.15	-0.07	-0.12	-0.08	-0.05
-10 m to -20 m	-0.06	-0.08	-0.12	-0.05	-0.02	-0.03	-0.22	-0.56	-0.54	-0.20	-0.13	-0.08	-0.05
-20 m to -30 m	-0.06	-0.08	-0.10	-0.04	-0.01	-0.03	-0.19	-0.31	-0.29	-0.52	-0.15	-0.07	-0.04
-30 m to -40 m	-0.03	-0.07	-0.06	-0.02	-0.01	-0.03	-0.10	-0.11	-0.08	-0.27	-0.16	-0.12	-0.05
-40 m to -50 m	-0.02	-0.06	-0.04	-0.02	-0.01	-0.01	-0.05	-0.05	-0.04	-0.12	-0.13	-0.13	-0.07
-50 m to -60 m	-0.02	-0.06	-0.02	-0.01	-0.01	0.00	-0.02	-0.02	-0.03	-0.05	-0.13	-0.10	-0.08
-60 m to -70 m	-0.01	-0.05	0.00	0.00	-0.01	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.03	-0.12	-0.08	-0.08
-70 m to -80 m	-0.01	-0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.02	-0.03	-0.10	-0.07	-0.08

95% Percentile Difference (Increase) in Temperature observed in the model area based on the mean over a specific period [°C]

Depth	2021	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
5 m to -5 m	0.10	0.04	0.09	0.07	0.06	0.15	0.23	0.36	0.31	0.24	0.09	0.11	0.07
-5 m to -10 m	0.10	0.06	0.13	0.10	0.09	0.13	0.19	0.39	0.35	0.26	0.10	0.12	0.10
-10 m to -20 m	0.11	0.11	0.15	0.13	0.11	0.10	0.18	0.55	0.34	0.27	0.10	0.13	0.14
-20 m to -30 m	0.09	0.11	0.19	0.15	0.12	0.09	0.11	0.31	0.20	0.12	0.13	0.14	0.16
-30 m to -40 m	0.09	0.09	0.24	0.12	0.09	0.12	0.09	0.16	0.10	0.05	0.16	0.14	0.15
-40 m to -50 m	0.08	0.12	0.25	0.09	0.07	0.12	0.09	0.10	0.05	0.03	0.13	0.15	0.12
-50 m to -60 m	0.07	0.18	0.22	0.05	0.06	0.11	0.09	0.09	0.05	0.03	0.08	0.13	0.09
-60 m to -70 m	0.07	0.26	0.17	0.03	0.04	0.10	0.11	0.10	0.07	0.03	0.06	0.10	0.07
-70 m to -80 m	0.07	0.24	0.09	0.03	0.04	0.10	0.14	0.11	0.08	0.03	0.04	0.06	0.06

Liite 9 Hydrodynaaminen vaikutus: lämpötilan vertailu

Taulukko 19: Keskilämpötilan erot [°C] - osa 1

(ottaen huomioon eri laajuudet (Pohjanlahti, sisä ja ulkolaatikko), eri syvyysvälit ja eri aikaväli).

		Temperature								
		Bothnian Bay			innerBox			outerBox		
		25MW	20MW	15MW	25MW	20MW	15MW	25MW	20MW	15MW
Koko vuosi	5 - -5m	0.018	0.018	0.018	0.172	0.183	0.170	0.13	0.13	0.12
	-5 - -10m	0.052	0.051	0.048	0.086	0.080	0.026	0.08	0.07	0.03
	-10 - -20m	0.033	0.029	0.025	0.002	-0.009	-0.057	0.00	-0.01	-0.04
	-20 - -30m	0.014	0.012	0.011	0.041	0.035	-0.006	0.03	0.03	0.02
	-30 - -40m	0.011	0.010	0.013	0.056	0.054	0.028	0.05	0.07	0.07
	-40 - -50m	0.009	0.010	0.014	0.042	0.045	0.029	0.04	0.07	0.08
	-50 - -60m	0.008	0.010	0.015	0.023	0.026	0.018	0.03	0.05	0.06
	-60 - -70m	0.008	0.011	0.015	0.017	0.021	0.016	0.02	0.04	0.05
	-70 - -80m	0.007	0.010	0.014	-0.009	-0.017	-0.021	0.01	0.03	0.04
Tammikuu	5 - -5m	-0.006	-0.005	-0.006	0.001	0.002	0.002	0.01	0.01	0.01
	-5 - -10m	-0.002	0.001	0.002	0.082	0.075	0.101	0.06	0.06	0.08
	-10 - -20m	0.004	0.006	0.008	0.160	0.142	0.185	0.08	0.08	0.11
	-20 - -30m	0.007	0.007	0.009	0.239	0.200	0.258	0.11	0.10	0.13
	-30 - -40m	0.009	0.008	0.010	0.115	0.080	0.115	0.05	0.03	0.05
	-40 - -50m	0.020	0.016	0.020	-0.076	-0.098	-0.115	0.00	-0.02	-0.03
	-50 - -60m	0.028	0.023	0.029	-0.170	-0.181	-0.229	-0.01	-0.03	-0.05
	-60 - -70m	0.031	0.027	0.033	-0.155	-0.156	-0.205	0.00	-0.01	-0.02
	-70 - -80m	0.022	0.018	0.022	-0.216	-0.209	-0.287	0.00	0.00	-0.02
Helmikuu	5 - -5m	-0.008	0.000	0.001	0.045	0.032	0.010	0.01	0.00	0.00
	-5 - -10m	-0.005	0.001	0.002	0.068	0.047	0.053	0.03	0.03	0.04
	-10 - -20m	0.004	0.004	0.002	0.131	0.083	0.101	0.08	0.07	0.09
	-20 - -30m	0.025	0.022	0.023	0.128	0.062	0.077	0.10	0.08	0.10
	-30 - -40m	0.036	0.031	0.037	-0.002	-0.034	-0.054	0.08	0.07	0.07
	-40 - -50m	0.034	0.028	0.034	-0.024	-0.037	-0.076	0.06	0.05	0.05
	-50 - -60m	0.032	0.026	0.032	0.005	-0.003	-0.020	0.03	0.03	0.02
	-60 - -70m	0.033	0.026	0.032	0.015	0.006	-0.003	0.02	0.01	0.01
	-70 - -80m	0.029	0.024	0.029	0.019	0.008	0.010	0.01	0.01	0.01
Maaliskuu	5 - -5m	0.003	0.007	0.006	0.023	0.015	-0.028	0.01	0.00	-0.01
	-5 - -10m	0.012	0.013	0.014	0.025	0.017	-0.016	0.02	0.01	-0.01
	-10 - -20m	0.023	0.022	0.023	0.058	0.050	0.003	0.04	0.03	0.01
	-20 - -30m	0.028	0.025	0.028	0.057	0.056	0.009	0.06	0.05	0.03
	-30 - -40m	0.024	0.021	0.023	0.042	0.044	0.021	0.04	0.04	0.03
	-40 - -50m	0.021	0.017	0.018	0.028	0.029	0.019	0.03	0.03	0.02
	-50 - -60m	0.018	0.014	0.015	0.020	0.018	0.017	0.02	0.02	0.01
	-60 - -70m	0.017	0.014	0.015	0.016	0.012	0.013	0.02	0.01	0.01
	-70 - -80m	0.017	0.015	0.016	0.014	0.013	0.012	0.02	0.01	0.01

Taulukko 20: Keskilämpötilan erot [°C] - osa 2

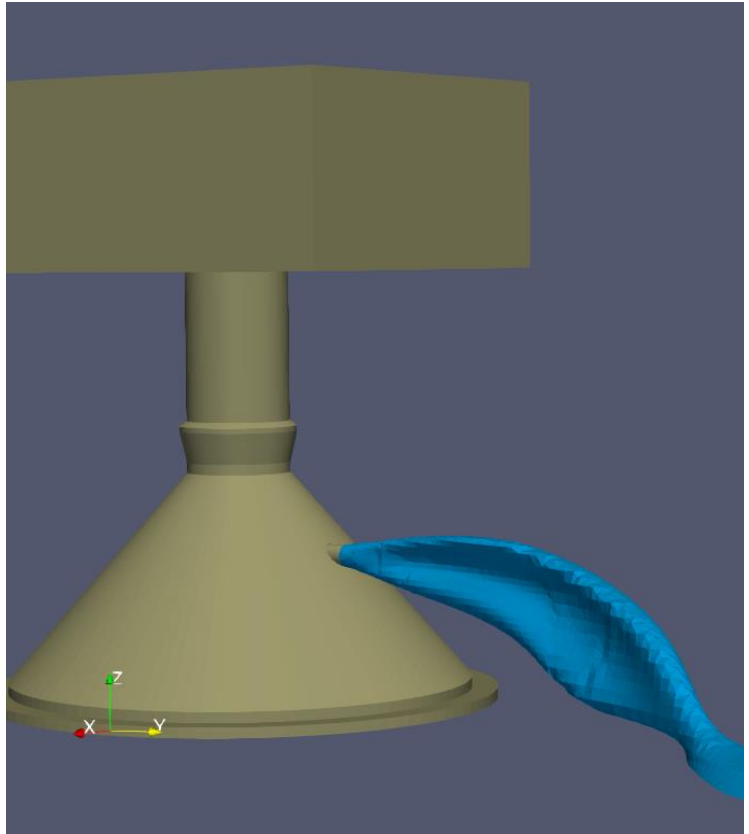
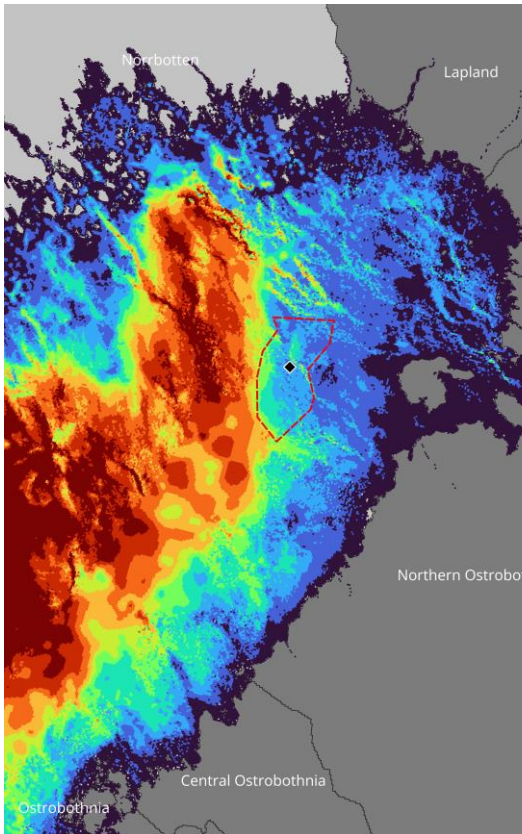
(ottaen huomioon eri laajuudet (Pohjanlahti, sisä ja ulkolaatikko), eri syvyyvälit ja eri aikaväli).

		Temperature								
		Bothnian Bay			innerBox			outerBox		
		25MW	20MW	15MW	25MW	20MW	15MW	25MW	20MW	15MW
		5 - -5m	5 - -5m	5 - -5m	5 - -5m	5 - -5m	5 - -5m	5 - -5m	5 - -5m	5 - -5m
Huhtikuu	5 - -5m	0.009	0.006	0.004	0.023	0.005	-0.018	0.02	0.00	-0.01
	-5 - -10m	0.017	0.014	0.014	0.044	0.033	0.032	0.04	0.03	0.03
	-10 - -20m	0.027	0.026	0.026	0.096	0.096	0.079	0.09	0.09	0.08
	-20 - -30m	0.026	0.025	0.026	0.106	0.111	0.064	0.10	0.10	0.09
	-30 - -40m	0.022	0.020	0.021	0.064	0.069	0.047	0.07	0.07	0.06
	-40 - -50m	0.020	0.018	0.019	0.042	0.041	0.032	0.04	0.04	0.04
	-50 - -60m	0.016	0.014	0.014	0.030	0.027	0.027	0.02	0.02	0.02
	-60 - -70m	0.015	0.013	0.013	0.024	0.021	0.022	0.02	0.01	0.01
	-70 - -80m	0.017	0.015	0.015	0.010	0.002	-0.004	0.01	0.01	0.00
Toukokuu	5 - -5m	0.031	0.026	0.027	0.163	0.170	0.186	0.14	0.15	0.15
	-5 - -10m	0.026	0.019	0.016	0.053	0.042	0.008	0.08	0.06	0.03
	-10 - -20m	0.017	0.009	0.005	-0.034	-0.054	-0.084	-0.01	-0.04	-0.07
	-20 - -30m	0.011	0.010	0.010	0.023	0.026	0.000	0.01	0.00	-0.02
	-30 - -40m	0.014	0.016	0.018	0.075	0.088	0.066	0.06	0.05	0.05
	-40 - -50m	0.018	0.022	0.024	0.086	0.086	0.070	0.06	0.05	0.05
	-50 - -60m	0.018	0.022	0.025	0.077	0.059	0.042	0.05	0.05	0.04
	-60 - -70m	0.021	0.026	0.028	0.074	0.054	0.040	0.06	0.06	0.06
	-70 - -80m	0.023	0.030	0.033	0.047	0.020	0.012	0.06	0.09	0.11
Kesäkuu	5 - -5m	0.041	0.038	0.039	0.434	0.473	0.480	0.29	0.31	0.32
	-5 - -10m	0.015	0.005	-0.005	-0.112	-0.165	-0.346	-0.01	-0.03	-0.11
	-10 - -20m	0.000	-0.011	-0.016	-0.400	-0.474	-0.582	-0.17	-0.16	-0.17
	-20 - -30m	-0.003	-0.004	-0.006	-0.226	-0.274	-0.367	-0.10	-0.11	-0.13
	-30 - -40m	0.002	0.005	0.007	-0.059	-0.080	-0.140	0.00	-0.01	-0.05
	-40 - -50m	0.009	0.015	0.019	-0.004	-0.013	-0.041	0.03	0.03	0.01
	-50 - -60m	0.016	0.024	0.028	0.024	0.024	0.017	0.04	0.04	0.03
	-60 - -70m	0.022	0.032	0.037	0.036	0.043	0.045	0.05	0.05	0.04
	-70 - -80m	0.026	0.039	0.043	0.032	0.049	0.063	0.06	0.08	0.09
Heinäkuu	5 - -5m	0.034	0.027	0.031	0.532	0.467	0.387	0.39	0.33	0.30
	-5 - -10m	0.009	-0.001	-0.010	0.016	-0.069	-0.353	0.07	-0.01	-0.18
	-10 - -20m	-0.021	-0.031	-0.041	-0.533	-0.516	-0.656	-0.27	-0.24	-0.33
	-20 - -30m	-0.009	-0.011	-0.013	-0.379	-0.332	-0.417	-0.09	0.01	0.00
	-30 - -40m	0.008	0.010	0.013	-0.154	-0.117	-0.218	0.05	0.12	0.11
	-40 - -50m	0.011	0.018	0.022	-0.049	-0.024	-0.105	0.07	0.13	0.12
	-50 - -60m	0.014	0.023	0.028	-0.006	0.006	-0.031	0.06	0.11	0.10
	-60 - -70m	0.019	0.031	0.036	0.033	0.048	0.035	0.06	0.10	0.10
	-70 - -80m	0.021	0.036	0.040	0.029	0.045	0.049	0.06	0.10	0.11
Elokuu	5 - -5m	0.040	0.039	0.039	0.337	0.318	0.287	0.24	0.21	0.16
	-5 - -10m	0.032	0.026	0.016	0.268	0.219	0.082	0.15	0.07	-0.09
	-10 - -20m	-0.030	-0.044	-0.059	0.034	0.028	-0.139	-0.18	-0.22	-0.40
	-20 - -30m	-0.018	-0.016	-0.014	0.019	0.040	-0.122	-0.04	0.00	-0.11
	-30 - -40m	-0.001	0.006	0.012	0.103	0.075	-0.034	0.04	0.08	0.03
	-40 - -50m	0.004	0.014	0.020	0.093	0.054	0.000	0.04	0.08	0.07
	-50 - -60m	0.008	0.019	0.024	0.051	0.026	0.010	0.03	0.07	0.07
	-60 - -70m	0.012	0.024	0.028	0.037	0.027	0.017	0.02	0.06	0.06
	-70 - -80m	0.010	0.024	0.028	-0.004	-0.024	-0.033	0.01	0.04	0.05

Taulukko 21: Keskilämpötilan erot [°C] - osa 3

(ottaen huomioon eri laajuudet (Pohjanlahti, sisä ja ulkolaatikko), eri syvyysvälit ja eri aikaväli).

		Temperature								
		Bothnian Bay			innerBox			outerBox		
		25MW	20MW	15MW	25MW	20MW	15MW	25MW	20MW	15MW
		5 - -5m	5 - -10m	10 - -20m	20 - -30m	30 - -40m	40 - -50m	50 - -60m	60 - -70m	70 - -80m
Syyskuu	5 - -5m	0.050	0.062	0.064	0.313	0.450	0.526	0.23	0.32	0.37
	5 - -10m	0.052	0.063	0.062	0.310	0.410	0.445	0.24	0.29	0.30
	10 - -20m	0.017	0.005	-0.005	0.176	0.178	0.156	0.07	-0.03	-0.09
	20 - -30m	-0.068	-0.084	-0.090	0.092	0.121	0.105	-0.12	-0.18	-0.17
	30 - -40m	-0.051	-0.048	-0.044	0.048	0.025	0.029	-0.05	-0.05	-0.03
	40 - -50m	-0.028	-0.020	-0.015	0.019	-0.025	-0.031	0.00	0.00	0.00
	50 - -60m	-0.012	-0.002	0.003	0.000	-0.053	-0.070	0.01	0.02	0.01
	60 - -70m	-0.004	0.006	0.011	-0.011	-0.056	-0.080	0.02	0.02	0.01
	70 - -80m	-0.002	0.008	0.013	-0.007	-0.050	-0.062	0.02	0.02	0.02
Lokakuu	5 - -5m	0.006	0.006	0.002	0.110	0.095	0.048	0.09	0.08	0.06
	5 - -10m	0.006	0.005	-0.001	0.104	0.076	0.010	0.08	0.07	0.04
	10 - -20m	0.004	-0.002	-0.012	0.084	-0.008	-0.157	0.08	0.04	-0.04
	20 - -30m	-0.008	-0.022	-0.034	0.142	0.052	-0.103	0.12	0.10	0.04
	30 - -40m	-0.018	-0.022	-0.017	0.266	0.314	0.281	0.19	0.32	0.36
	40 - -50m	-0.023	-0.012	0.005	0.279	0.429	0.482	0.18	0.40	0.52
	50 - -60m	-0.026	-0.019	-0.005	0.210	0.356	0.415	0.13	0.32	0.43
	60 - -70m	-0.025	-0.021	-0.011	0.144	0.284	0.340	0.08	0.21	0.29
	70 - -80m	-0.024	-0.022	-0.017	0.122	0.235	0.310	0.05	0.14	0.19
Marraskuu	5 - -5m	0.008	0.007	0.004	0.132	0.152	0.137	0.10	0.11	0.11
	5 - -10m	0.011	0.011	0.009	0.146	0.171	0.166	0.11	0.13	0.12
	10 - -20m	0.014	0.015	0.014	0.162	0.195	0.198	0.11	0.13	0.13
	20 - -30m	0.006	0.008	0.011	0.160	0.208	0.232	0.10	0.12	0.14
	30 - -40m	-0.014	-0.019	-0.018	0.092	0.130	0.157	0.05	0.08	0.10
	40 - -50m	-0.030	-0.036	-0.034	0.056	0.093	0.113	0.03	0.07	0.11
	50 - -60m	-0.032	-0.033	-0.027	0.036	0.081	0.108	0.01	0.08	0.13
	60 - -70m	-0.031	-0.030	-0.022	0.013	0.057	0.079	-0.01	0.04	0.09
	70 - -80m	-0.028	-0.026	-0.019	-0.016	-0.012	0.005	-0.04	-0.01	0.03
Joulukuu	5 - -5m	0.003	0.005	0.004	-0.052	0.017	0.019	0.00	0.04	0.05
	5 - -10m	0.012	0.016	0.019	0.027	0.105	0.141	0.05	0.10	0.14
	10 - -20m	0.024	0.034	0.042	0.108	0.179	0.230	0.09	0.14	0.19
	20 - -30m	0.023	0.026	0.034	0.135	0.157	0.201	0.09	0.10	0.14
	30 - -40m	0.010	0.003	0.007	0.073	0.048	0.057	0.04	0.02	0.03
	40 - -50m	-0.008	-0.019	-0.017	0.045	0.000	-0.006	-0.01	-0.05	-0.05
	50 - -60m	-0.020	-0.031	-0.029	0.003	-0.053	-0.071	-0.05	-0.09	-0.10
	60 - -70m	-0.029	-0.036	-0.034	-0.023	-0.090	-0.114	-0.07	-0.09	-0.10
	70 - -80m	-0.033	-0.034	-0.031	-0.137	-0.274	-0.322	-0.09	-0.09	-0.09



Hallan merituulivoimapuisto

**Keskitetyn vedyntuotannon prosessijätevesi,
vaikutus fyysiseen ympäristöön**

Halla Offshore Wind Oy

Päivämäärä: 29. marraskuuta 2024

Tekijänoikeudet © Halla Offshore Wind Oy. Kaikki oikeudet pidätetään. Tätä asiakirjaa, sen liitteitä tai mitään osaa niistä ei saa kopioida, jäljentää, julkaista, levittää tai muokata milteenkään osin ilman Halla Offshore Wind Oy:n kirjallista lupaa.

Rev.no.	Päivämäärä	Kuvaus	Tekijä	Tarkastaja	Hyväksyjä
01	20241031	Rev. 1	TEB	AWNI	TEB
02	20241104	Rev. 2 - Asiakkaan huomautukset	TEB	AWNI	TEB
03	20241129	Rev. 3 – Taulukko 4.1 korjattu	TEB	AWNI	TEB

Contents

1.	Johdanto	4
2.	Työn tarkoitus	4
3.	Menetelmä	5
4.	Mallin määrittäminen	5
4.1.	Tiedot	5
4.1.1.	Painovoimaperustusmalli	6
4.1.2.	Virtaus- ja kerrostuneisuus skenaariot.....	7
4.1.2.1.	Hyvin sekoittunut tilanne.....	8
4.1.2.2.	Kerrostunut tilanne(termokliini).....	8
4.1.3.	Reunaehdot ja hila.....	9
4.2.	Ratkaisin	9
5.	Tulokset.....	10
5.1.	Hyvin sekoittunut virtaus.....	10
5.2.	Kerrostunut virtaus.....	12
6.	Viitteet.....	16

1. Johdanto

Halla Offshore Wind Oy on pyytänyt NIRAS:ia tutkimaan vedyntuotannon prosessijätevesien leviämisestä johtuvia suolapitoisuuden ja veden lämpötilan muutoksia (CTR03, päivätty 2024-10-01). Mallinnettu vedyn tuotantolaitos tulee sijaitsemaan merellä tuulivoimapuistoalueen sisällä ja sen arvioitu vuosittainen sähköntarve on 4 TWh (1/3 tuulivoimapuiston 12 TWh:n kokonaistuotantokapasiteetista). Mallinnetun tuotantolaitoksen perustus asennetaan 22 metrin syvyyseen veteen.

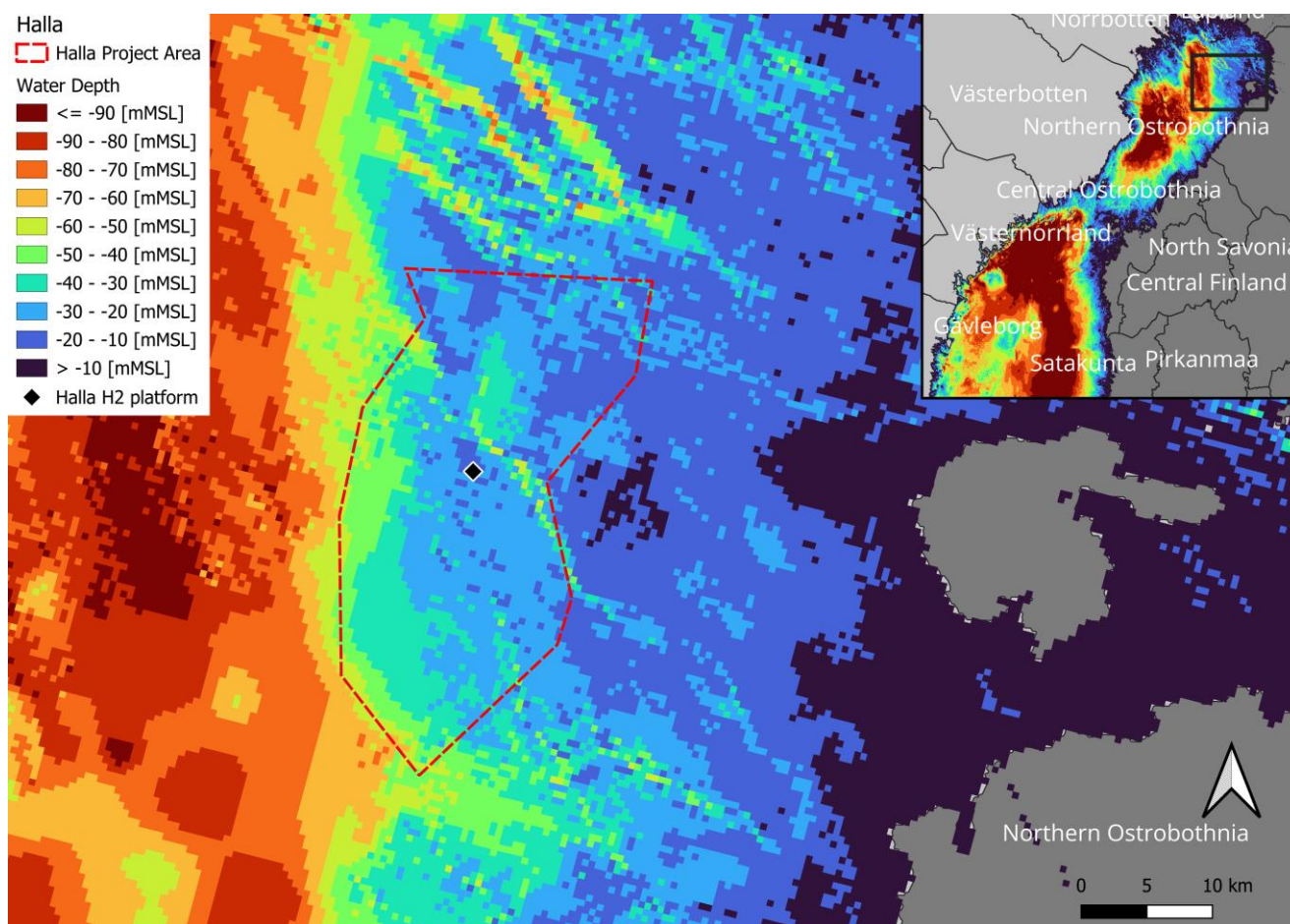
Tämä edustaa suurimpia vaikutuksia aiheuttavaa skenaariota, koska se on matalimmassa vedynsyvyydessä sekä lähimpänä Merikallan Natura-aluetta sijaitseva vedyntuotantolaitos. Kahden muun vetylaitoksen vaikutukset olisivat samantyyppisiä mutta pienempiä suuremman vesisyvyyden vuoksi.

Mallinnuksessa käytettiin maksimivaikutuslähestymistapaa tuotantolaitoksen suurimman lämpö- ja suolakuorman arvioimiseksi. Koska vaikutukset ovat paikallisia, mallinnuksessa keskityttiin yhteen keskitettyyn vedyn tuotantopaikkaan. Tämä paikka valittiin, koska se edusti herkintä vaihtoehtoa, kun otetaan huomioon läheiset herkkä alueet ja veden syvyys.

NIRAS on aiemmin tutkinut hajautetun vedyntuotannon vaikutuksia sekä rakenteiden ja tuulen sekä aaltojen vaikutuksia (NIRAS, 2023-12-20).

2. Työn tarkoitus

Työn tarkoitus on määritellä vedyntuotannosta peräisin olevan prosessijäteveden (suola- ja lämpökuorma) leviäminen tuulivoimapuistoalueen sisäpuolella sijaitsevalta vedyntuotantolaitoksen perustukselta joka on 22 metrin vesisyvyydessä (Kuva 2-1).



Kuva 2-1: Hallan merituulivoimapuisto, vedyntuotantolaitoksen sijainti.

3. Menetelmä

Jäähdytyksestä ja meriveden puhdistuksesta syntyvä prosessijätevesi on määrältään melko pieni jonka lämpötila ja suolapitoisuus voivat kuitenkin vaikuttaa paikalliseen ympäristöön. Tämän tutkimiseksi tarkemmin luotiin yksityiskohtainen CFD eli virtausmalli painovoimaisesta perustuksesta ja lähivesistä käyttäen OpenFOAMin Multi-component -työkalua tiheys- ja lämpötilavaihteluiden mallintamiseksi.

Kahden peruslämpötilaskenaarion (talvi ja kesä) käsittelemiseksi simulaatiot tehtiin sekä kerrostuneissa että kerrostumattomissa olosuhteissa. Kerrostuneessa skenaariossa malliin sisällytettiin termokliini.

4. Mallin määrittäminen

4.1. Tiedot

Prosessijäteveden määrä ja jäähdytysveden tarve perustuu mallissa oletukseen, että kyseisellä vedyntuotanto-aseamalla 1/3 tuulipuiston kokonaiskapasiteetista (2200 GW) muunnetaan vedyksi, kuten on esitetty seuraavassa (Taulukko 4.1).

Taulukko 4.1: Vedyn tuotannon luvut mallinnuksessa.

Kohde	Yksikkö	Arvo
Vedyn tuotantoon asemalla käytettävä sähkö	MWh	4000
Hyötysuhde		60%
Tuotetun vedyn energiamäärä	MWh	2400
Suolaisen prosessijäteveden määrä	m ³ /s	0.085
Suolakuorma	PSU	9.96
Jäähdytysveden kulutus	m ³ /s	2.16
Lämpökuorma	°C	15.0
Putken halkaisija	m	1
Putken pinta-ala	m ²	0.79
Ulostuloputken tilavuus (jäähdytys + suolavesi)	m/s	2.80

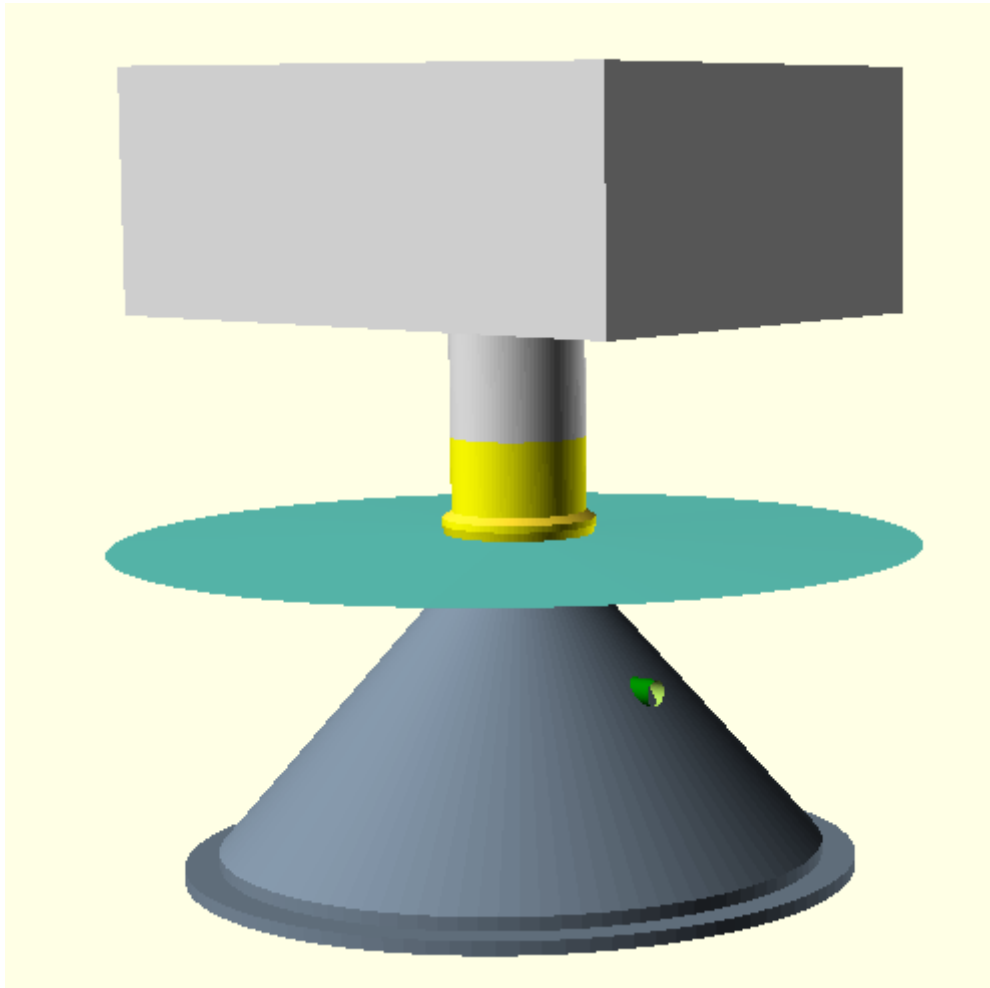
4.1.1. Painovoimaperustusmalli

Käytettävissä olevien tietojen perusteella voidaan olettaa, että alustan painovoimaperustus on 22 metrin syvyydessä ja ulostuloaukko 10 metriä keskimääräisen merenpinnan tason alapuolella.

Painovoimaperustuksen kartiomaisen muodon kokonaismitat ovat:

- pohjalaatta, jonka halkaisija on 71,5 m
- halkaisijaltaan 45 metrin kartio pohjalaatan päällä
- kartio, jonka halkaisija on korkeimmassa kohdassa 10 m
- 20 metriä korkea kartio
- läpivienti 10 m keskivedenpinnan alapuolella
- jääkartio keskiveden korkeudella
- piirustukseen on lisätty havainnollistamiseksi yläpuoli

Ainoastaan keskimääräisen merenpinnan alapuolella oleva osa vaikuttaa mallin tuloksiin. Mallissa käytetty rakenne on kuvattu seuraavassa (Kuva 4-1).



Kuva 4-1: Painovoimaperustuksen luonnos ja ohjeellinen yläpuoli (havainnollistus). Keskimääräinen merenpinta on merkitty turkoosilla ympyrällä.

4.1.2. Virtaus- ja kerrostuneisuus skenaariot

Tilanteen, jossa on selkeä termokliini sekä sellaisen tilanteen, jossa termokliiniä ei ole, välisen eron tutkimiseksi simuloidaan kaksi skenaariota:

- 1) Hyvin sekoittunut tilanne, jossa lämpötila ja suolapitoisuus ovat vakiot koko vesipatsaassa.
- 2) Kerrostunut tilanne, jossa on selkeä termokliini mutta vakiosuolaisuus.

Molempia skenaarioita simuloidaan yhden tunnin ajan käyttäen vakioitua taustavirran nopeutta, suuntaa, tiheyttä ja lämpötilaa - olosuhteita, joita ei esiinny todellisuudessa ja joita siksi pidetään konservatiivisina. Tämä tarkoittaa sitä, että mallinnetun plyn laajuus on suurempi ja sekoittuminen ympäröivään veteen on vähäisempää kuin luonnollisessa ympäristössä. Luonnollinen skenaario sisältäisi esimerkiksi seuraavia tekijöitä:

- Virtaussuuntien muuttuessa pplymi leviää yhden suunnan lisäksi useampaan suuntaan, mikä lisää sekoittumista ja vähentää laajuutta.
- Virtausnopeuden muuttuminen lisää turbulenssia ja muuttaa siten plyn muotoa ja lisää siten sekoittumista.

- Tiheyksien (lämpötilan ja suolapitoisuuden) vaihtelu vaikuttaa plyn muotoon ja siten sekoittumiseen.

Hydrodynamiikka (NIRAS, 2023-12-20) perustuksen sijaintipaikalla on kuvattu liitteessä 1 tiheyden, lämpötilan, suolapitoisuuden, virtausnopeuden ja virtaussuunnan aikasarjoina vuodelta 2022, ja niistä lyhyempi yhteenveto alla:

- Tiheys: suurimman osan vuodesta tiheys on vakiona noin 1003 kg/m^3 lukuun ottamatta huhtikuun puoliväliä (päivä 100), jolloin tiheys noin 10 metrin syvyyteen asti on hieman alhaisempi (luultavasti valuma-alueelta tulevan valunnan vuoksi), ja jälleen pidemmän ajanjakson ajan kesäkuusta alkaen, jolloin tiheys on korkeimmillaan heinäkuun puolivälissä ja lokakuussa. Huippuvaiheessa pintaveden tiheys on 1001 kg/m^3 ja pohjan 1003 kg/m^3 .
- Lämpötila: tammikuussa pohjan lämpötila on noin $4 \text{ }^\circ\text{C}$ ja pinnan lämpötila hieman yli $0 \text{ }^\circ\text{C}$, kunnes molempien lämpötila laskee alle $0 \text{ }^\circ\text{C}$:n muutamaksi päiväksi helmikuun lopussa, minkä jälkeen lämpötila nousee jälleen positiiviseksi pohjalla, mutta pysyy alle $0 \text{ }^\circ\text{C}$:n veden pinnassa huhtikuun loppuun. Tällöin aurinko alkaa hitaasti lämmittää pintavettä, ja heinäkuun puolivälissä lämpötila on korkeimmillaan $19 \text{ }^\circ\text{C}$. Samaan aikaan pohjan lämpötila nousee $5 \text{ }^\circ\text{C}$:een ja saavuttaa huippunsa elokuun puolivälissä, jolloin vesipatsas on täysin sekoittunut ja lämpötila on $16 \text{ }^\circ\text{C}$. Tästä alkaa muodostua termokliini, kunnes pintavesi jäähtyy syyskuun puolivälissä samaan lämpötilaan kuin pohjavesi, noin $8\text{-}9 \text{ }^\circ\text{C}$:seen, ja pysyy hyvin sekoittuneena joulukuun alkuun asti, jolloin pintavesi alkaa jäähtyä.
- Virtausnopeus: Yleensä se vaihtelee vuoden aikana ja veden syvyyden mukaan $0\text{-}0,3 \text{ m/s}$ ilman selkeää kausittaista mallia.
- Virtaussuunta: Useimmiten virtaussuunta ei ole vakio ja kulkee joko samaan tai vastakkaiseen suuntaan pinnalla verrattuna pohjaan, tai termokliinin ollessa läsnä virtaussuunta kulkee samaan suuntaan pinnalla ja pohjassa mutta eri suuntaan termokliinissä.

4.1.2.1. Hyvin sekoittunut tilanne

Luettelo mallin lähtötiedoista:

- 1) Taustavirtaus on 5 cm/s
- 2) Veden tiheys ja lämpötila 1002 kg/m^3 ja $2 \text{ }^\circ\text{C}$
- 3) Prosessijäteveden tiheys on 1008 kg/m^3 (10 PSU) ja lämpötila $2 \text{ }^\circ\text{C}$
- 4) Jäähdytysveden tiheys on $999,7 \text{ kg/m}^3$ ja lämpötila $17 \text{ }^\circ\text{C}$ ($2 \text{ }^\circ\text{C} + 15 \text{ }^\circ\text{C}$)
- 5) Tällöin syntyvän johdettavan jäteveden kokonaistiheys on $999,7 \text{ kg/m}^3$

4.1.2.2. Kerrostunut tilanne(termokliini)

Luettelo mallin lähtötiedoista:

- 1) Kerrostunut virtaus, jossa on lämpöraja 10 metrin syvyydessä.
- 2) Puhdistettavan meriveden ja jäähdytysveden otto on sijoitettu lämpölinjan alapuolelle, yli 10 metrin syvyyteen.
- 3) Taustavirtaus on ylimmässä kerroksessa 5 cm/s ja alimmassa kerroksessa 3 cm/s .
- 4) Tiheys ja lämpötila ovat $1001,3 \text{ kg/m}^3$ (2 PSU) ja $10 \text{ }^\circ\text{C}$ pohjakerroksessa ja $1001,4 \text{ kg/m}^3$ (3 PSU) ja $15 \text{ }^\circ\text{C}$ pintakerroksessa.
- 5) Prosessijäteveden tiheys on $1007,5 \text{ kg/m}^3$ (10 PSU) ja lämpötila $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

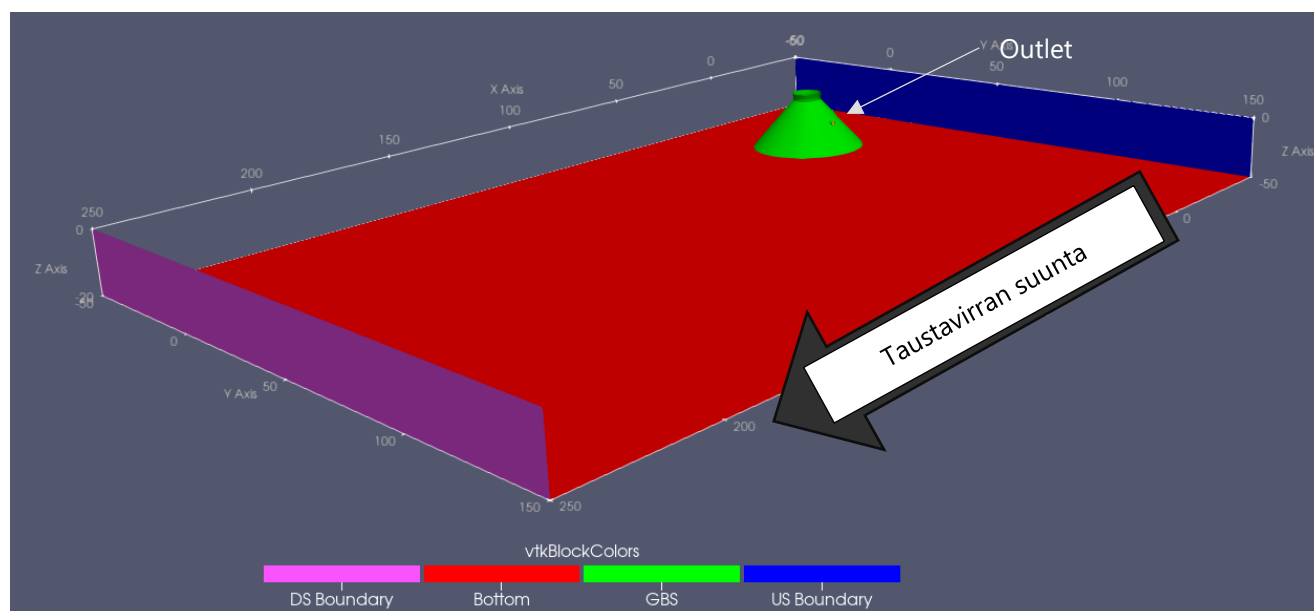
- 6) Jäähdytysveden tiheys on $999,6 \text{ kg/m}^3$ ja lämpötila $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ($10 \text{ }^\circ\text{C} + 15 \text{ }^\circ\text{C}$).
- 7) Tällöin syntyvän jäteveden kokonaistiheys on $999,7 \text{ kg/m}^3$

4.1.3. Reunaehdot ja hila

Numeerisen laskualueen päätarkoitus on sisältää ympäröivä vesi ja paikat reunaehtoien määrittelyä varten (Kuva 4-2).

Tässä alhaisen taustavirran tapauksessa (ks. luku 4.1.2.1 ja 4.1.2.2) virtaussuunnan mukaisen laskualueen laajuus on -50 m - 250 m , kohtisuoraan $-50 \text{ m}/+150 \text{ m}$ ja syvyys 20 m . Näin on riittävästi tilaa virtauksen lähtemiselle ylävirtaan, jolloin alavirran puolelta ei ole vaikutusta mahdollisen tukkeutumisen välttämiseksi ja jotta ulostuloputkesta lähtevä virtaussuihku voi kehittyä vapaasti. Koska ulostuloputken aukko sijaitsee 90° :n kulmassa alusrakenteen virtaukseen nähden, on sen purkautuminen suorassa kulmassa päävirtaukseen nähden.

Perushila on $1 \times 1 \text{ m}$, jota pienennetään $0,25 \times 0,25 \times 0,25 \text{ metriin}$ painovoimaperustuksen lähellä 10 m:n etäisyydellä ja edelleen $0,03125 \text{ metriin}$ lähellä ulostuloputken aukkoa 2 m:n etäisyydellä.



Kuva 4-2: Painovoimaisen perustuksen CFD-laskenta-alue sekä ylävirran ja alavirran puoleinen merenpohja. DS: alavirtaan, US: ylävirtaan.

Hyvin sekoittuneessa skenaariossa ylävirran puoleinen raja määräytyy luvussa 4.1.2.1 kuvatus ehdon mukaisesti. Sitä vastoin kerrostuneessa skenaariossa ylävirran puoleinen raja on jaettu termokliinin tasolla ja sitä ohjaavat luvussa 4.1.2.2 määritellyt arvot.

4.2. Ratkaisin

OpenFOAM (Open Field Operation and Manipulation - (OpenFOAM, n.d.)) on avoimen lähdekoodin CFD-ohjelmisto (Computational Fluid Dynamics), jonka avulla voidaan simuloida ja analysoida monimutkaisia nestevirtausongelmia. Yksi OpenFOAMin ominaisuuksista on monikomponenttisten nesteiden mallintaminen, esim. eri tiheyksiä sisältävän veden sekoittuminen, jossa tiheys on lämpötilan funktio käyttäen Boussinesqin approksimaatiota kuvaamaan tiheyttä lämpötilan funktiona.

Monikomponenttiset nesteet tarkoittavat seoksia, jotka koostuvat useista eri kemiallisista lajeista. Esimerkkejä ovat kaasuseokset, nesteliuokset ja monifaasivirtaukset. OpenFOAM tarjoaa puitteet tällaisten nesteiden käyttäytymisen simulointiin käyttämällä erilaisia matemaattisia malleja ja numeerisia tekniikoita.

OpenFOAM-ohjelmassa monikomponenttisten nesteiden mallintaminen edellyttää yksittäisten komponenttien kulkeutumisen ja vuorovaikutuksen tarkastelua seoksen sisällä. Tämä sisältää massansiirron, lajien diffuusion ja kemiallisten reaktioiden huomioon ottamisen, mukaan lukien kunkin komponentin ominaisuudet ja käyttäytyminen, kuten tiheys, viskositeetti, diffuusiokyky ja reaktiokinetiikka.

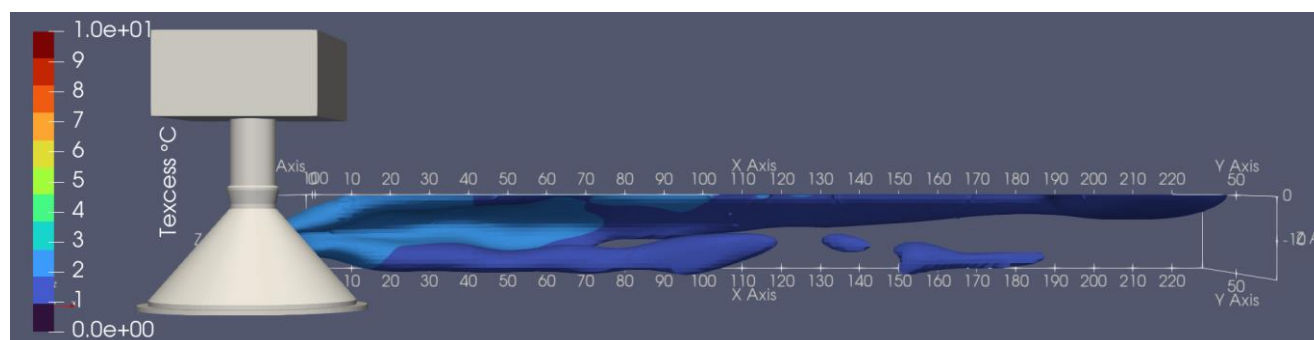
5. Tulokset

Kun tarkastellaan seuraavissa alaluvuissa esitettyjä kuvia, on huomioitava seuraavat seikat:

- Plyymi on kuvattu tietyillä laimennuksilla, jotka on ilmoitettu prosentteina. 100 prosenttia vastaa pitoisuutta, joka havaitaan ainoastaan ulostuloputken aukossa, jossa ei ole tapahtunut laimennusta.
- Kuvaaja havainnollistaa plyymin laajuuden ja osoittaa, missä pinnan laimeneminen saavuttaa määritellyn prosenttiosuuden. Tämän rajan sisäpuolella on siis tilavuuksia, joissa laimeneminen on vähäisempää.
- Koska prosessijäteveden suolaisuus on 9,96 PSU, laimennus 0,1 prosenttiin tarkoittaa 0,01 PSU:n ylimääräistä suolaisuutta.
- Lämpökuormalla tarkoitetaan ympäristön veden lämpötilan ylittävää lämpötilaa.

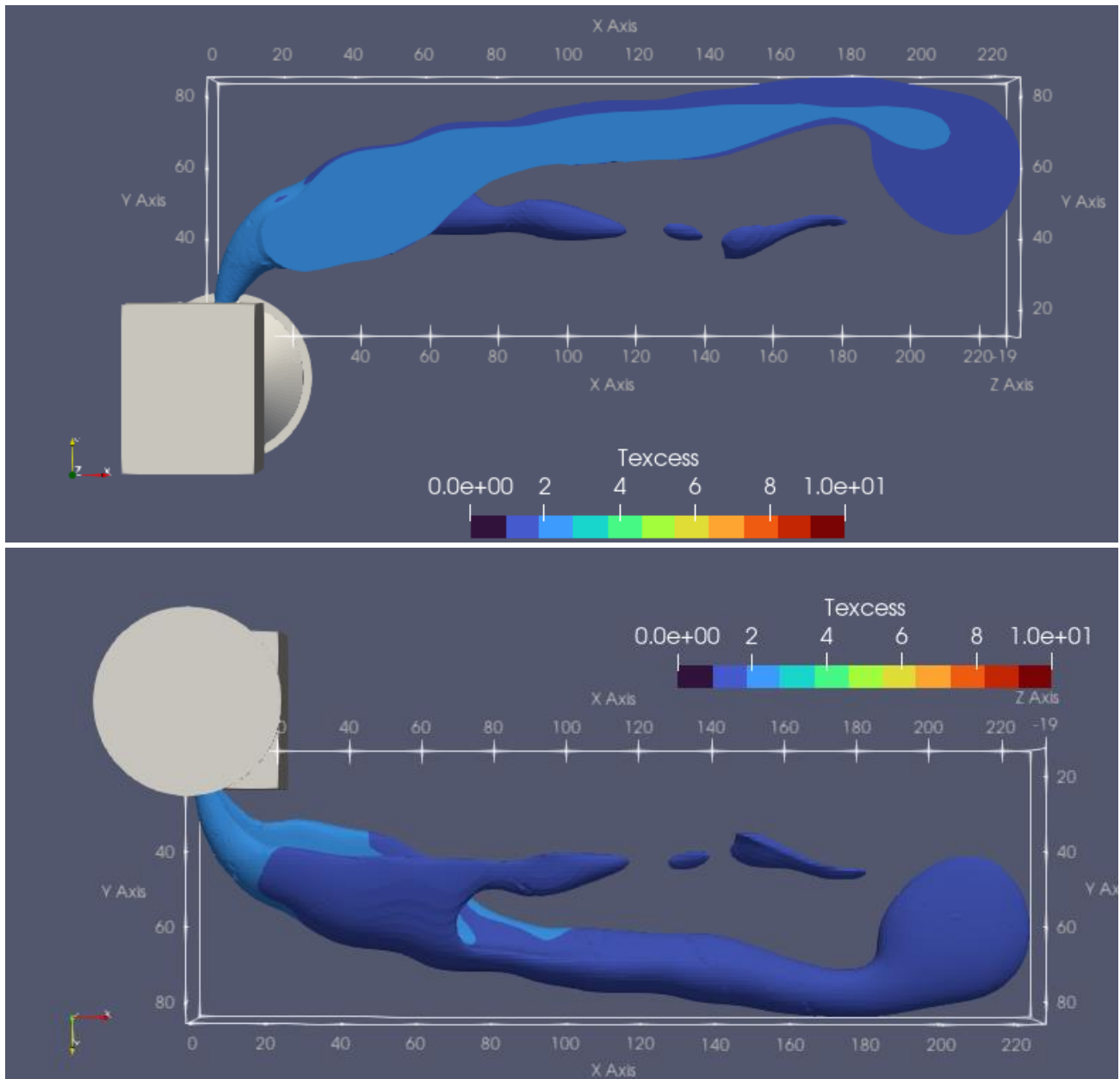
5.1. Hyvin sekoittunut virtaus

Kuva 5-1 ja Kuva 5.2 havainnollistavat 0,1 %:iin laimennetun plyymin laajuutta yhden tunnin kuluttua sivulta, ylhäältä ja alhaalta katsottuna. Suurin laajuus on pinnalla, koska johdetun jäteveden tiheys on hieman pienempi kuin ympäröivän veden. Plyymi ulottuu 80 metrin päähän poikittain katsottuna ja 230 metrin päähän virtauksen suuntaan katsottuna, ja sen paksuus on 100 metrin matkalla 18 metriä, minkä jälkeen se muuttuu hajanaisemmaksi ja sen paksuus on 9-0 metriä, kun lämpökuorma on enintään 1 °C.



Kuva 5-1: Hyvin sekoittunut, 0,1 %:iin laimennetun plyymin laajuus 1 tunnin kuluttua. Näkymä: Taustavirta kulkee vasemmalta oikealle. Akselin yksiköt ovat metreinä.

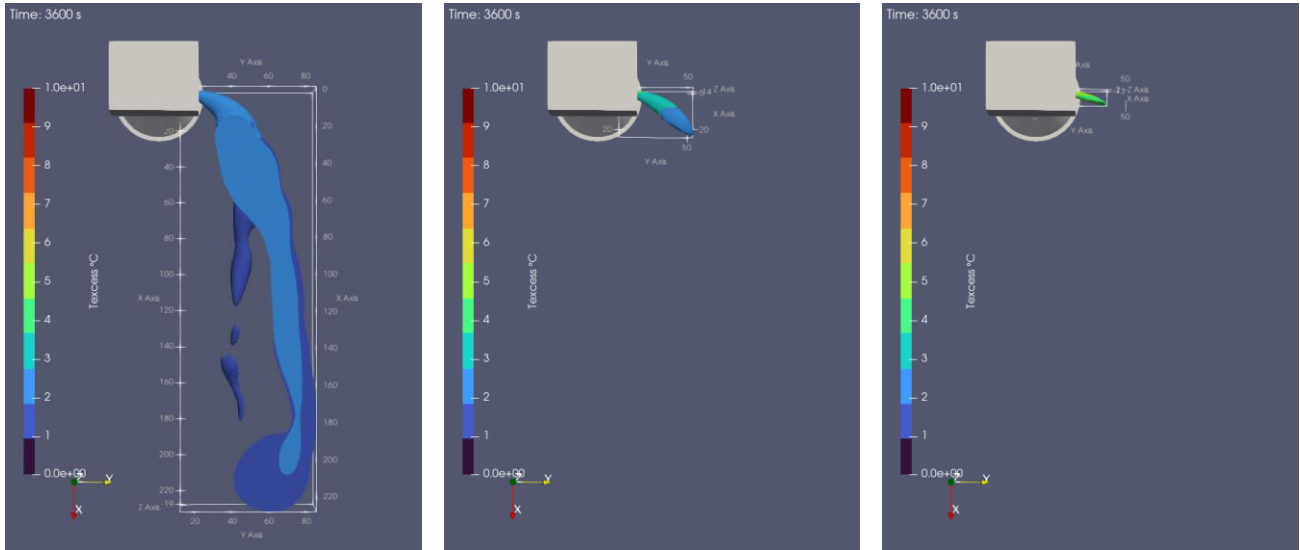
Yli 1 °C:n lämpökuorma kattaa kuitenkin vain pienen, noin 200 m x 20 m kokoisen alueen pinnalla, mutta ei ulotu merenpohjaan.



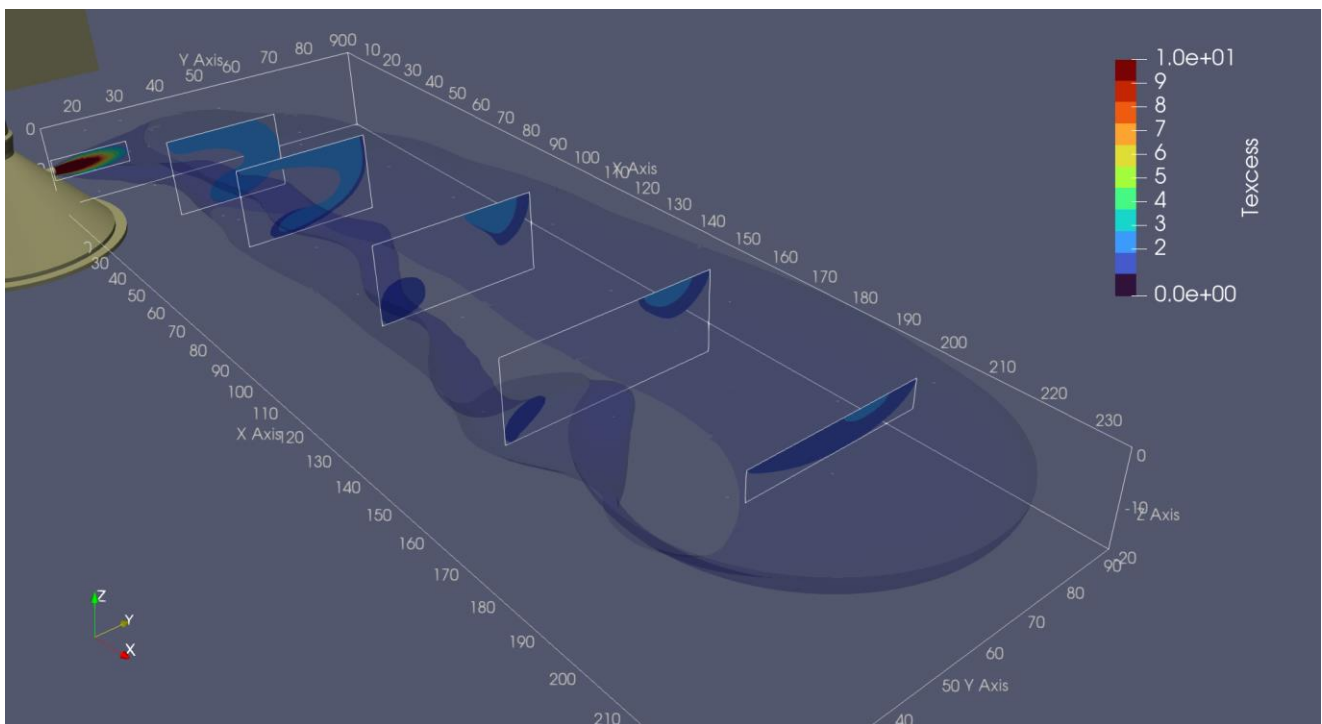
Kuva 5.2: Hyvin sekoittunut, 0,1 %:iin laimennetun plyn laajuus 1 tunnin kuluttua. Yläkuva: ylhäältä, alakuva: alhaalta. Taustavirta kulkee vasemmalta oikealle. Akselien yksiköt ovat metreinä.

Kuva 5.3 havainnollistaa tarkemmin, miten pplymi laimenee 0,1 0,25 ja 0,5 prosentin pitoisuuksiin yhden tunnin kuluttua. Tämä osoittaa, että prosessijätevesi sekoittuu nopeasti ympäröivään veteen, kun se poistuu putkesta.

Kuvassa 5.4 on esitetty lämpökuorma kuudessa poikkileikkauksessa pitkin pplymiä tunnin kuluttua sen poistumisesta poistoputkesta mitattuna putkessa ja 60, 140 ja 210 metrin etäisyyksillä. Tulokset osoittavat, että yli 1 °C:n yllämpötiloja havaitaan pplymin varrella 230 metrin matkalla.



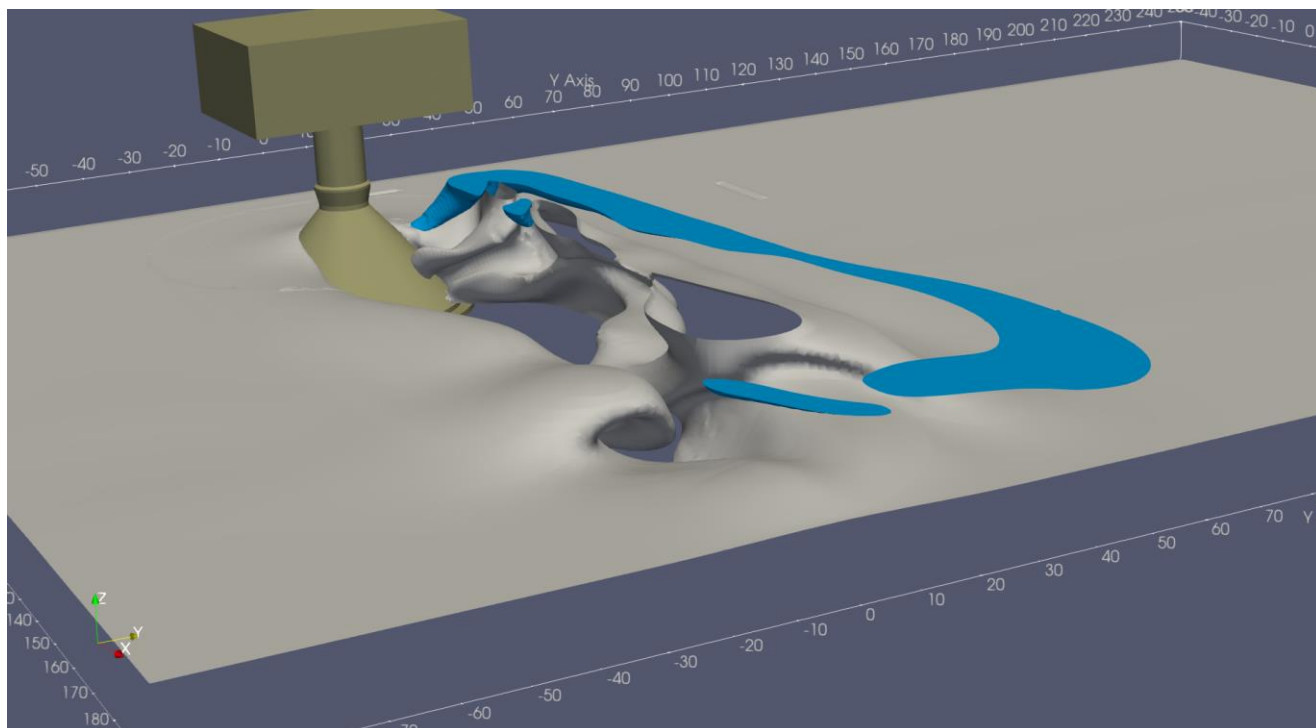
Kuva 5-3: Hyvin sekoittuneen, 0,1 %:n (vasemmalla), 0,25 %:n (keskellä) ja 0,5 %:n (oikealla) laimennetun plyn laajuus 1 tunnin kuluttua. Näkymä: ylhäältä virtausta vasten. Akselien yksiköt ovat metreinä.



Kuva 5-4: Hyvin sekoittunut, poikkileikkaus plyn (0,1 % laimennettu) varrella, jossa näkyy ylitämpötila. Näkymä: ylhäältä päin virtausta vastaan. Akselien yksiköt ovat metreinä.

5.2. Kerrostunut virtaus

Plyn leviämisen havainnollistamiseksi kuvassa 5-5 on esitetty plyn ja termokliini tunti kevyemmän jäteveden päästämisen jälkeen. Plynin havaitaan olevan lähellä pintaa pian sen jälkeen, kun se on lähtenyt ulos poistoputkesta. Termokliinin epäsymmetrinen häiriöityminen johtuu osittain perustuksen läsnäolosta mutta myös jäteveden ulostulosta.



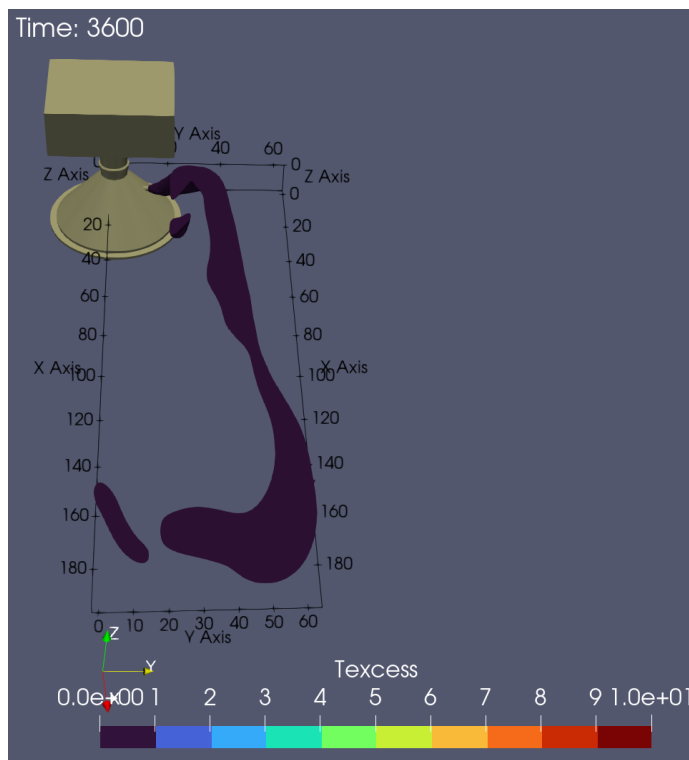
Kuva 5-5: 0,1 %:iin laimennetun plynin (vaaleansininen) ja termokliinin (harmaa) laajuus 1 tunnin kuluttua. Näkymä: ylhäältä päin virtausta vasten. Akselin yksiköt ovat metreinä.

Kuva 5-6 ja Kuva 5-7 kuvaavat 0,1 %:iin laimennetun plynin laajuutta tunnin kuluttua sekä ylhäältä että alhaalta katsottuna. Pinnalla 0,1 %:n plymi ulottuu jopa 70 metrin päähän kohtisuoraan virtaukseen nähden, 200 metrin päähän virtauksen suuntaisesti, ja sen paksuus on muutama metri, siltä osin kun lämpötila ylittää veden normaalin lämpötilan 1 °C asteella.

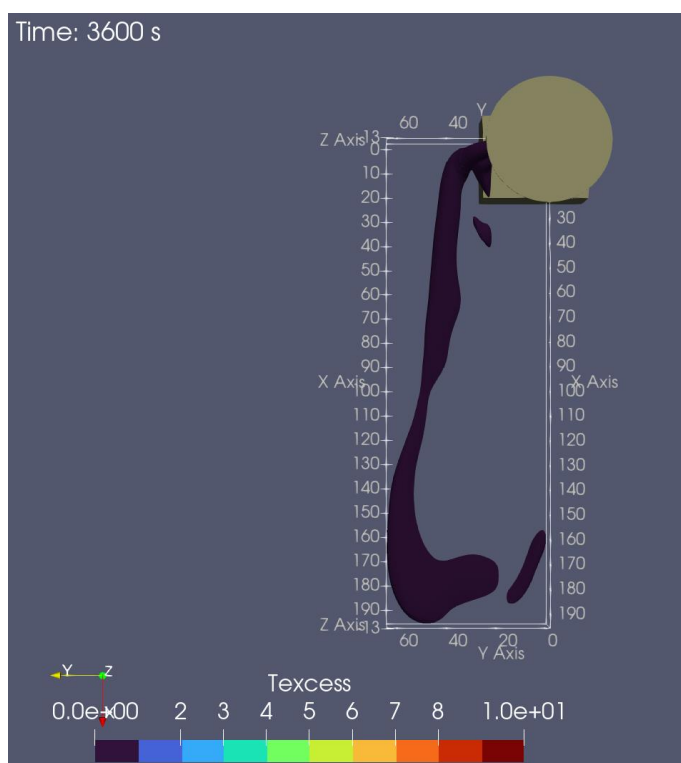
Koska jäähdytysveden ottoapaikan oletetaan olevan termokliinin alapuolella, pintakerroksen ylälämpötila nousee alle 1 °C:een pian sen jälkeen, kun jätevesi on lähtenyt poistoputkesta.

Laimeneminen alkaa heti, kun prosessijätevesi poistuu putkesta, ja sen avulla saavutetaan 0,1, 0,25 ja 0,5 prosentin tasot, kuten kuvassa 5-3 on esitetty. Kun laimennus on 0,5 %, plymi ulottuu vain 20 metrin päähän virtaukseen nähden kohtisuoraan ja 15 metrin päähän virtauksen suuntaisesti.

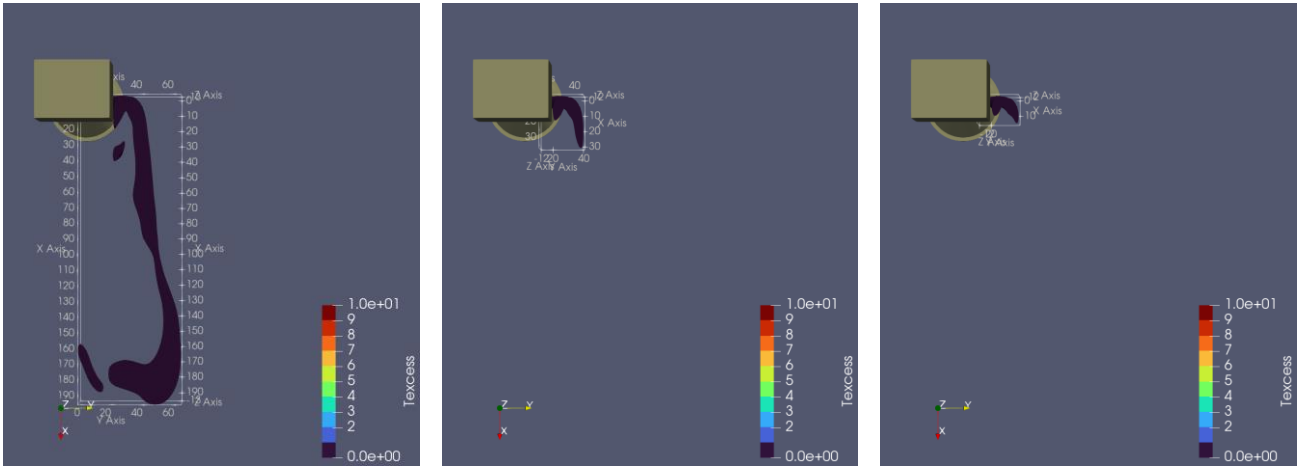
Kuvassa 5-8 on esitetty lämpökuorma putkesta noin 200 metriä alavirtaan ulottuvan putken varrella. Lähellä pintaa ja kohti pohjarakennetta 1 °C:n lämpökuorma säilyy noin 20 metrin etäisyydelle alavirtaan asti, minkä jälkeen lämpökuorma laskee 1 °C:n välille.



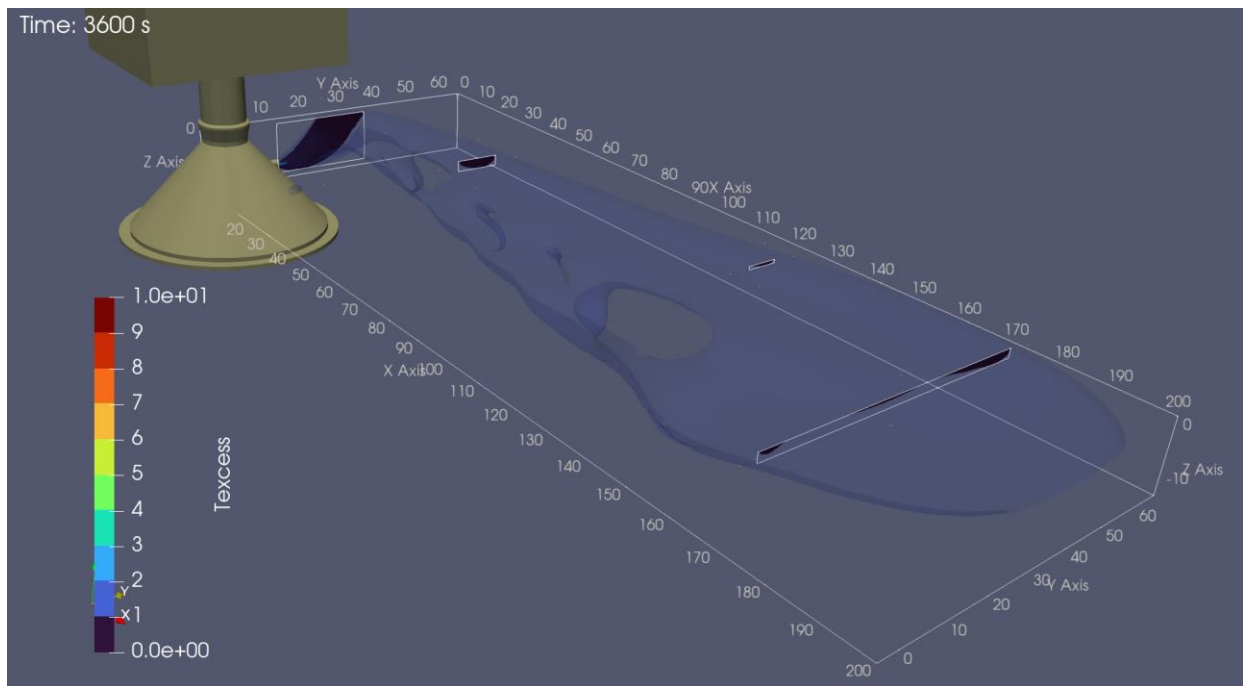
Kuva 5-6: Kerrostunut, 0,1 %:iin laimennetun plyn laajuus 1 tunnin kuluttua. Näkymä: ylhäältä virtausta vasten. Lämpökuorma pintakerroksen lämpötilan mukaan. Akselin yksiköt ovat metreinä.



Kuva 5-7: Kerrostunut, 0,1 %:iin laimennetun plyn laajuus 1 tunnin kuluttua. Näkymä: alhaalta virtausta vasten. Lämpökuorma pintakerroksen lämpötilan mukaan. Akselin yksiköt ovat metreinä.



Kuva 5-8: Kerrostunut, 0,1 %:iin (vasemmalla), 0,25 %:iin (keskellä) ja 0,5 %:iin (oikealla) laimennetun plyn laajuus 1 tunnin kuluttua. Näkymä: ylhäältä päin virtausta vasten. Lämpökuorma pohjakerroksen lämpötilan mukaan. Akselien yksiköt ovat metreinä.



Kuva 5-9: Kerrostunut, Plyn poikkileikkaus, jossa näkyy lämpökuorma. Näkymä: ylhäältä virtausta vastaan. Ylilämpötila pohjakerroksen lämpötilan mukaan. Akselien yksiköt ovat metreinä.

6. Viitteet

NIRAS. (2023-12-20). *Halla OWF, hydrodynamiikka - Sedimentin leviämisen ja virtausten mallintaminen*.

OpenFOAM. (n.d.). *OpenFOAM*. Haettu osoitteesta <https://www.openfoam.com/>: <https://www.openfoam.com/>

Liite 1. Tiheyden, lämpötilan, suolapitoisuuden ja virtausnopeuden ajalliset profiilit .

Esitetyt profiiliaikasarjat osoittavat perusolosuhteet (tilanne ennen perustuksen asentamista) mallinnetun perustuksen sijaintipaikalla. (NIRAS, 2023-12-20).

Päivä 0 vastaa 2022-01-01.

