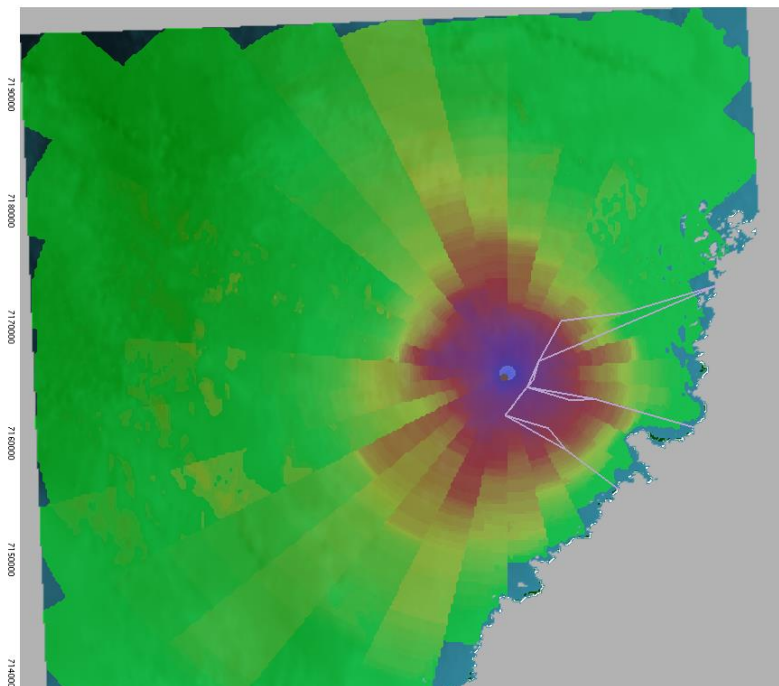


Tarkoitettu
Kaavaselostuksen liite
Asiakirjan tyyppi
Raportti
Päivämäärä
3, 2024

Maanahkiainen merituulivoimapuisto

Vedenalaisen melun mallinnus



Maanahkiainen merituulivoimapuisto

Vedenalaisen melun mallinnus

Projektin nimi	Vedenalaisen melun mallinnus, Maanahkiainen	Rambøll
Projekti nro.	15100678741510067874	Englanti 25
Vastaanottaja	Rajakiiri Oy	DK-5100 Odense C
Asiakirjan tyyppi	Mallinnusraportti	T +45 5161 1000
Päivämäärä	8.1.2024 (päivitetty 22.3.2024)	
Valmistanut	Søren Wegner	
Tarkastanut	Andreas Nielsen	
Hyväksynyt	Søren Wegner	
Kuvaus	Tämä tutkimus on ehdotetun merituulipuiston vedenalaisen melun etenemismallinnus	

Luottamuksellinen

Confidential

Sisällys

1.	Yhteenveto	3
1.1	Yhteenveto tuloksista	3
1.1.1	Pyöriäinen	3
1.1.2	Hylkeet	3
1.1.3	Kalat	4
2.	Johdanto	4
3.	Hankkeen kuvaus	5
4.	Vedenalainen ääni	5
5.	Vedenalaisen melun etenemisen malli	7
5.1	Laskennan asetukset	8
6.	Vedenalaisen melun vaikutusten arvioinnin lähtötilanne	8
6.1	Merinisäkkäät	8
6.1.1	Merinisäkkäiden kuulon painottuminen taajuuden suhteen	9
6.1.2	Melulähteen ominaisuudet	9
6.2	Pyöriäisen kriteerit	9
6.3	Kriteerit hylkeille	10
6.4	Kriteerit kaloille	10
6.5	Meriliikenteen taustamelutasot	12
7.	Vedenalaisen äänilähteen mallinnuksen tulokset	13
7.1	Rakennustoiminnan äänilähdetasot	14
7.2	Jatkuvan melulähteen tasot	14
8.	Geoakustisen mallinnuksen syöttötiedot	15
8.1	Syvyystiedot	15
8.2	Geoakustiset ominaisuudet	15
8.3	Äänennopeusprofiilit ja veden ominaisuudet	16
8.4	Laskentapisteet	17
9.	Vedenalaisen melun mallinnuksen tulokset	17
9.1	Pyöriäiset – etäisyydet sovellettaviin arviointikynnyksiin (kynnysarvot)	20
9.2	Hylkeet – etäisyydet sovellettaviin arviointikynnyksiin (kynnysarvot)	21
9.3	Kalat – etäisyydet sovellettaviin arviointikynnyksiin (kynnysarvot)	22
9.4	Toimintavaihe – etäisyydet sovellettaviin arviointikynnyksiin (kynnysarvot)	24
10.	Johdopäätökset	25
10.1	Pyöriäinen	25
10.1.1	Rakentaminen	25
10.1.2	Toimintavaihe	25
10.2	Hylkeet	25
10.2.1	Rakentaminen	25
10.2.2	Toimintavaihe	25
10.3	Kalat	25
10.3.1	Rakentaminen	25
10.3.2	Toimintavaihe	26
11.	Viittaukset	26

Termit ja lyhenteet

Yksiköt:

$\mu\text{m/s}$ – mikrometriä sekunnissa
 μPa – mikropascal
dB – desibeli
deg - astetta
h - tunti
Hz – hertsi
kHz – kilohertsi
km - kilometri
m – metri
 m^3 – kuutiometri
mm – mm
MW – megawattia
Pa - pascal
ppt – tuhannesosaa
s – sekunti
 $^{\circ}\text{C}$ – Celsius

Mittarit:

TL – transmission loss, äänen siirtotiellä tapahtuva vaimennus
SPL_{pk} - nollasta huippuun äänenpainetaso
SEL – äänialtistustaso
SEL_{cum} – kumulatiivinen äänialtistustaso
SPL – jatkuva äänenpainetaso
T – keskiarvon laskenta-aika
Z – akustinen ominaisimpedanssi
C – äänen nopeus
F – taajuus
P – paine
 P_0 – vertailupaine
 α - absorptiokerroin

Lyhenteet:

DBBC – kaksinkertainen iso kuplaverho
EMODnet – Euroopan meripoliittinen seurantakeskus ja tietoverkko
YVA – Ympäristövaikutusten arviointi
DEA – Tanskan energiavirasto
ICES – Kansainvälinen merentutkimusneuvosto
OWF – merituulipuisto
PTS – pysyvä kuulonalenema
PCW – fokidiset lihansyöjät vedessä, hylkeille painotettu äänitaso
SONAR – ääniluotain
TSHD - Perässä oleva imusuppilon ruoppaus
TTS – tilapäinen kuulonalenema
VHF – erittäin korkea taajuus
WTG – tuuliturbiinigeneraattori
N/A – ei saatavilla/ei sovellettavissa

1. Yhteenveto

Uutta merituulipuistoa, Maanahkiaista, on ehdotettu sijoitettavaksi Pohjanlahdelle, Raahan ja Pyhäjoen merialueen edustalle. Tässä tutkimuksessa mallinnetaan vedenalaisen melun etenemistä ehdotetun merituulivoimapuiston rakentamis- ja käyttövaiheessa. Mallinnusskenaariot määriteltiin vastaamaan mahdollisimman hyvin varsinaista projektia. Tavoitteena on määrittää odotettavissa olevat melutasot, mikä mahdollistaa tarkan vaikutustenarvioinnin. Mallinnus sisältää neliöllisen äänenpainetaso ($SPL_{RMS,125\text{ ms}}$), jota käytetään pyöriäisten käyttäytymiseen kohdistuviin vaikutuksiin, äänialistustason (SEL) ja kumulatiiviseen äänialistustason (SEL_{cum}), joita käytetään tilapäisen kuulonaleneman (TTS) ja pysyvän kuulonaleneman muutokseen (PTS) kohdistuviin vaikutuksiin. Äänenpaineen huipputasoja (SPL_{pk}) käytetään myös, mutta ainoastaan kaloille. Vertailemalla pyöriäisten, hylkeiden ja kalojen kirjallisuudesta saatuihin vaikutusten kriteereihin, saadaan taulukot, joissa on esitetty laajimmat vaikutusalueet merkittävien melulähteiden osalta (yksityiskohtaiset tiedot melulähteistä on esitetty luvussa 7).

1.1 Yhteenveto tuloksista

Yhteenveto tuloksista (korkeimmat lasketut jatkuvan melun tasot) on esitetty taulukoissa 1-1, 1-2 ja 1-3. Taulukoiden tulokset antavat yleiskuvan jatkuvan vedenalaisen melun mahdollisista vaikutusetaisyyksistä. Tulokset osoittavat, että pyöriäiset altistuvat melulle, joka voi johtaa tilapäiseen kuulonalenemaan (TTS) ja muutoksiin käyttäytymisessä, mutta ei pysyvään kuulonalenemaan (PTS). Hylkeet ja kalat eivät altistu melulle, joka ylittäisi eläimille määritetyt raja-arvot.

1.1.1 Pyöriäinen

Taulukko 1-1. Yhteenveto etäisyyksistä, joiden sisäpuolella jatkuva melu voi aiheuttaa pyöriäisille tilapäistä (TTS)- tai pysyvää (PTS) kuulonalenemaa tai vaikutuksia käyttäytymiseen.

Aktiviteetti	Lieventäminen	PTS	TTS	Käyttäytyminen
Poraus tai kallion murtaminen	Ei	0 metriä	5 metriä	0,7 km
Ruoppaus	Ei	0 metriä	20 metriä	2,9 km
Toiminta	Ei	0 metriä	0 metriä	0,3 km

1.1.2 Hylkeet

Taulukko 1-2. Yhteenveto etäisyyksistä, joiden sisäpuolella jatkuva melu voi aiheuttaa hylkeille tilapäistä (TTS)- tai pysyvää (PTS) kuulonalenemaa tai vaikutuksia käyttäytymiseen.

Aktiviteetti	Lieventäminen	PTS	TTS	Käyttäytyminen
Poraus tai kallion murtaminen	Ei	0 metriä	0 metriä	0 km
Ruoppaus	Ei	0 metriä	0 metriä	0 km
Toiminta	Ei	0 metriä	0 metriä	0 km

1.1.3 Kalat

Taulukko 1-3. Yhteenveto etäisyyksistä, joiden sisäpuolella jatkuva melu voi aiheuttaa vaikutuksia kaloihin.

Aktiviteetti	Lieventäminen	Kynnysetäisyys jatkuvan melun aiheuttamalle vammalle, josta kala voi toipua	Kynnys jatkuva melu TTS
Poraus tai kallion murtaminen	Ei	0 metriä	0 metriä
Ruoppaus	Ei	0 metriä	0 metriä
Toiminta	Ei	0 metriä	0 metriä

2. Johdanto

Raahan ja Pyhäjoen merialueen edustalle on ehdotettu Maanahkiaisen uutta merituulivoimapuistoa. Tämä tutkimuksessa selvitetään vedenalaisen melun etenemistä ehdotetussa merituulivoimapuistossa.

Merituulipuiston rakentamiseen ja toimintaan liittyy vedenalaista melua tuottavaa toimintaa, jossa merkittävät melulähteet voivat häiritä tai vahingoittaa alueen merinisäkkäitä ja kaloja. Rambøll Acoustics DK sai tehtäväkseen mallintaa merituulivoimapuiston rakennus- ja toimintavaiheessa syntyvää vedenalaista melua.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on ennustaa mahdolliset vedenalaiset melutasot ja altistumistasot, joiden perusteella voidaan arvioida pyöriäisiin, hylkeisiin ja kaloihin mahdollisesti kohdistuvat vaikutukset, ja toimittaa asiaankuuluvat ympäristölupamenettelyyn tarvittavat asiakirjat.

Tutkimuksessa on huomioitu merkittävät toiminnot, jotka liittyvät seuraaviin vaiheisiin:

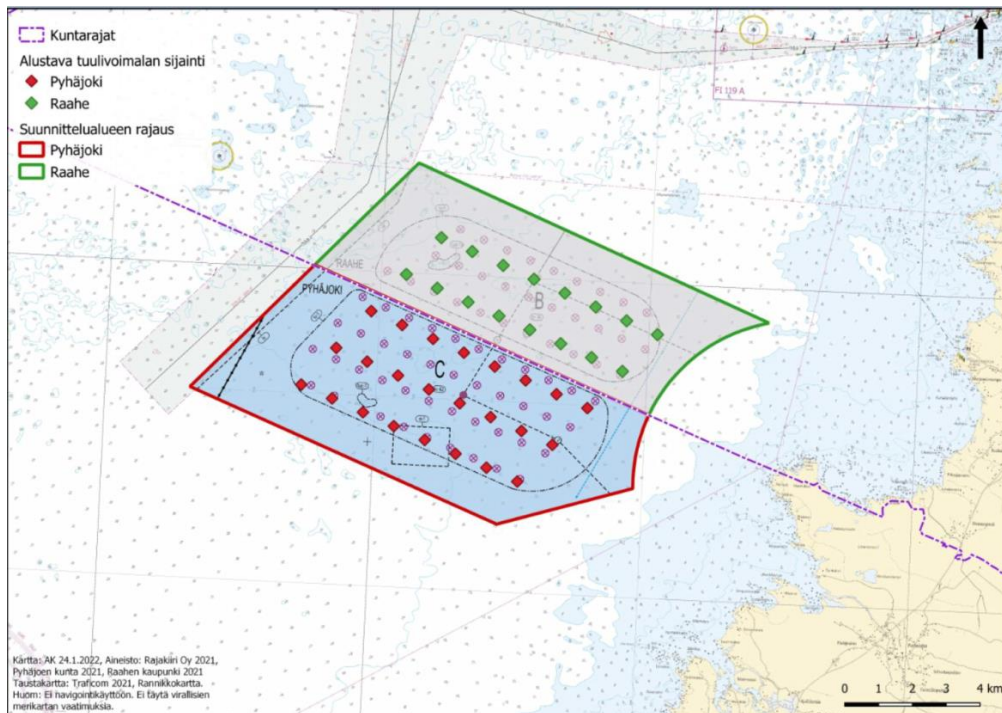
- rakentamisvaihe
- toimintavaihe

Mallinnus on tehty Tanskan energiaviraston (DEA) ohjeiden mukaisesti, jotka koskevat jatkuvan ja impulsiivisen vedenalaisen melun arviointia ympäristövaikutusten arvioinnin (YVA) yhteydessä: Vedenalaisen melun ohjeet, ennuste YVA:a ja strategista ympäristövaikutusten arviointia (SEA) varten, Tanskan energiavirasto (Energistyrelsen), toukokuu 2022 /1/. Ohjeet muodostavat perustan vedenalaisen melun laskennalle ja arvioinnille.

Hankkeen jokaiselle vaiheelle tunnistettiin merkittävät vedenalaiset melulähteet ja valittiin edustavat mallinnuspaikat. Mallinnuksessa on tehty käyttämällä vakiintunutta kolmiulotteista (3D) vedenalaisen äänen etenemisen dBSea mallinnusohjelmaa. Mallinnus perustuu saatavilla olevaan hankesuunnitelmaan milloin mahdollista. Mikäli suunnittelun tässä vaiheessa ei vielä ole ollut saatavissa tarvittavaa lähtötietoa, on mallinnus tehty varovaisuusperiaatetta noudattaen (worst-case). Mallinnuksella määritetään eri toiminnoista aiheutuvat vaikutusalueet (etäisyydet), joissa mahdollisia vaikutuksia voi esiintyä.

3. Hankkeen kuvaus

Maanahkiaisen merituulivoimapuiston sijainti on esitetty alla olevassa kuvassa.



Kuva 3-1. Maanahkiaisen tuulivoimapuiston suunnitelmakartta

Kunkin tuulivoimalan teho on noin 30 megawattia (MW) ja alueelle asennetaan noin 40 turbiinia. Tuulivoimalan perustamistavaksi on valittu gravitaatioperustus. Gravitaatioperustuksen rakentamisen aikaiset vedenalaisen melun päästöt aiheutuvat pääasiassa ruoppauksesta sekä merenpohjan kallion/kivien leikkaamisesta/rikkomisesta. Tässä raportissa on tutkittu seuraavia skenaarioita:

1. ruoppaus imuruoppaajalla (TSHD, Trailing suction hopper dredger)
2. kallion leikkaaminen/murtaminen
3. merituulivoimapuiston toimintavaihe

Rakentamis- ja toimintavaiheen osalta on mallinnettu kesäkausi. Mallinnuksessa merituulivoimapuiston jokaiseen kulmaan asetettiin laskentapisteet. Yksi laskentapisteistä edustaa samalla myös merikaapelikäytävän rakentamista.

4. Vedenalainen ääni

Vedenalainen ääni, kuten ilmassa kulkeutuva ääni, ilmentää äänilähteen aiheuttamaa häiriötä väliaineessa (tässä tapauksessa vedessä). Häiriö etenee kolmiulotteisesti äänennopeudella.

Ääni etenee eri nopeuksilla väliaineesta riippuen. Äänen nopeuden määrittää väliaineen tiheys ja kokoonpuristuvuus. Tiheys tarkoittaa aineen massaa suhteessa sen tilavuuteen. Puristuvuudella mitataan sitä, miten paljon ainetta voi puristaa kokoon tietyllä paineella. Mitä tiheämpi ja kokoonpuristuvampi väliaine on, sitä hitaammin ääniaallot etenevät. Vesi on huomattavasti

tiheämpää kuin ilma, mutta koska se on lähes kokoonpuristumatonta, ääni etenee vedessä noin neljä kertaa nopeammin kuin ilmassa. Äänen nopeuteen vaikuttaa myös lämpötila. Ääniaallot etenevät sitä nopeammin, mitä korkeampi lämpötila on.

Vedenalaista ääntä voidaan mitata paineen vaihteluna. Sitä kuvataan äänenpaineena ja mitataan paineherkällä laitteella (hydrofonilla).

Äänen paineamplitudilla on laaja vaihteluväli. Painetasoja mitataan sen vuoksi desibelin (dB) logaritmisella asteikolla. Vedenalaisen äänenpaineen taso määritetään desibeleinä seuraavassa yhtälössä:

$$\text{Äänenpaineen taso (SPL)} = 20\log_{10}(P/P_0)$$

P on paine ja P_0 on vertailupaine. Vedenalaisen äänen vertailupaine on 1 mikropascal (μPa), mikä eroaa ilmassa etenevän äänen paineen vertailuarvosta. Tästä syystä ilmassa ja vedessä mitatut äänenpaineen tasot eivät ole suoraan verrattavissa.

Vedenalaiset melutasot vaihtelevat äänilähteen ominaisuuksien ja akustisten ympäristöolosuhteiden mukaan, ja ne voidaan määrittellä altistumisen, keskimääräisten ja/tai enimmäistasojen perusteella. Seuraavia akustisia parametreja käytetään yleisesti arvioitaessa vedenalaisten melulähteiden meluvaikutuksia tunnistettuun paikalliseen meren eliöstöön.

Äänenpainetaso (SPL) – ilmaisee äänen voimakkuuden tietyssä pisteessä desibeleinä (dB) mitattuna. Suhteellisena yksikkönä dB ilmoitetaan suhteessa 1 mikropascalisiin vedenalaisissa tutkimuksissa (yksiköt dB re 1 μPa).

Äänialtistustaso (SEL) – desibelisuure, jolla kuvataan, kuinka paljon energiaa vaikutuskohde (esim. merinisäkäs) on vastaanottanut tapahtumasta; normalisoidaan yhden sekunnin jaksoille. Äänialtistustasoa voidaan ajatella äänialtistuksen logaritmisena mittana, jolloin äänialtistustason nousu kolmella desibelillä vastaa äänen energian kaksinkertaistumista (ilmaistaan yksikkönä dB re. 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$).

Kumulatiivinen äänialtistus (SEL_{cum}) – toiseen potenssiin korotettujen paineiden aikaintegraali äänen tai äänisarjojen aikana. Kumulatiivinen äänialtistus mahdollistaa eripituisten ja -tasoisten äänien kuvaamisen äänienergian kokonaismääränä (yksiköt dB re. Pa^2s).

Huippupainetaso (SPL_{pk}) – äänenpaineen huipputaso tietyssä ajankohtana.

Neliöllinen keskiarvo (RMS) – tietyn ajan keskimääräinen äänenpaine; SPL_{rms} :ää käytetään yleisesti jatkuvien melulähteiden vaikutusten arviointiin. RMS-äänepainetaso tai SPL_{rms} on neliöllinen äänenpaineen keskiarvo.

Pulssi-/impulsiivinen ääni – epäjatkuva äänilähde, joka koostuu yhdestä tai useammasta hetkellisestä äänestä, kuten paalutuksesta tai ammusten raivauksesta (räjäytyksestä).

Jatkuva ääni – äänilähde, kuten aluksen moottori, tai humina kuten porauksessa.

Kaikuluotaus - tekniikka, joka käyttää vedenalaista äänen etenemistä paikan tutkimuksiin ja navigointiin lähettämällä äänipulseja (tietyillä taajuuksilla) ja kuuntelemalla kaikuja. Erityisiä mittauslaitteita, kuten akustisia karkotinlaitteita, pidetään kaikuluotaimina.

5. Vedenalaisen melun etenemisen malli

Vedenalaisen melun etenemisen malli laskee vedenalaisen melun äänilähteiden luoman äänikentän estimaatit. Mallinnuksen tuloksilla määritetään potentiaaliset vaikutusetäisyydet (melukartat) tunnistetuista merkittävistä vedenalaisen melun äänilähteistä alueen erilaiselle tunnistetulle merieliöstölle. Äänikenttä millä tahansa etäisyydellä lähteestä arvioidaan lähteen sijainnin ja vedenalaisen äänilähteen kokonaismelutason pohjalta dBSEA:n äänen etenemisen mallilla (parabolinen yhtälö, (≤ 500 Hz), säteen seuranta (> 500 Hz)) /3/. Äänen etenemisen mallinnuksessa käytetään tietyille maantieteelliselle alueelle sopivia akustiikkaparametreja mukaan luettuina vesipatjan oletettu äänennopeusprofiili, syvyyssuhteet ja pohjan geoakustiset ominaisuudet. Niiden avulla tuotetaan paikkakohtaiset estimaatit äänikentän leviämisen etäisyyden ja syvyyden funktiona. Akustisen mallin avulla ennustetaan lähteen sijainnin ja vastaanottajan sijainnin välinen suunnasta riippuva siirtovaimennus. Melutaso missä tahansa kolmiulotteisessa paikassa lähteen ulkopuolella lasketaan yhdistämällä äänilähteen lähtömelutaso ja äänen kulkutiellä tapahtuva siirtovaimennus, jotka kumpikin ovat suunnasta riippuvia. Äänen siirtyminen veden alla ja vastaanotetut melutasot ovat syvyyden, etäisyyden, suuntauksen ja ympäristöominaisuuksien funktio. Saatujen meluarvojen avulla voidaan laskea tai arvioida turvallisuuskriteerit siten, että huomioidaan merinisäkkäiden taajuusriippuvaiset kuulo-ominaisuudet.

Mallissa oletetaan, että lähtevä energia on voimakkaampaa kuin sironnut energia, ja lasketaan ratkaisu lähtevän aallon yhtälölle. Kaksiulotteiset siirtovaimennuksen arvot approksimoidaan etäisyyden ja syvyyden suhteen, eli siirtovaimennus etäisyyden ja syvyyden funktiona tietyssä säteittäisessä tasossa lasketaan läheisistä lähteistä riippumatta (oletetaan, että äänen eteneminen tapahtuu etupäässä pois päin lähteestä).

Vedenalaiset melutasot missä tahansa paikassa lasketaan 1/3 oktaavikaistoittain annetun äänilähteen melutasoista vähentämällä numeerisesti mallinnettu siirtovaimennus kussakin 1/3 oktaavikaistan keskitaajuudessa ja lopuksi laskemalla yhteen kaikki taajuudet melun kokonaistasoksi. Tätä tutkimusta (Maanahkiainen) varten siirtovaimennus ja vastaanotetut melutasot mallinnettiin 1/3-oktaavin taajuuskaistoille välillä 20–80000 Hz. Koska tässä tutkimuksessa tarkastellut vedenalaisen melun lähteet ovat pääasiassa matalataajuuslähteitä, tämä taajuusalue riittää kattamaan käytännössä kaiken tuotetun energian. Vastaanotetut melutasot muunnetaan kaikille soveltuville vedenalaisen melun akustiikkaparametreille.

Äänen etenemismalli sisältää melun lähtötasot, melulähteiden toiminta-ajat ja ympäristöparametrit, ja tuotetaan niiden perusteella melukartat. Melukarttojen osoittamat tasot ilmaisevat suurinta ennustettua melutasoa tietyssä paikassa missä tahansa syvyydessä pohjaan saakka. Kartoissa on esitetty seuraavat akustiset parametrit jokaisesta tunnistetusta merkittävästä äänilähteestä

- SEL, äänialtistustaso (lineaarinen, VHF- ja PCW-painotettu), dB re. $1\mu\text{Pa}2\text{s}$.
- SELcum, kumulatiivinen äänialtistustaso (VHF- ja PCW-painotettu), dB re. $1\mu\text{Pa}^{2\text{s}}$.
- SPLrms, 125ms tasot (lineaarinen), dB re. $1\mu\text{Pa}$.
- SPLPk (lineaarinen), dB re. $1\mu\text{Pa}$.

Akustisen mallinnuksen tulokset (melukartat ja vaikutusetäisyydet) on esitetty vedenalaisen äänen tasoina kustakin akustisesta mittarista 50 kilometriin saakka. Lisäksi laadittiin pystysuuntainen äänen etenemisen profiilipiirros äänilähteen pääasialliselle taajuuskaistalle. Profiilissa näkyy vedenalaisen äänen etenemisen vaihtelu veden syvyyden mukaan.

5.1 Laskennan asetukset

Jotta vaikutusetäisyyksille on mahdollista saada riittävä resoluutio, on dBSea ohjelmassa asetettu laskentaruudukko seuraavasti: pisteet, $x = 300$, $y = 300$, $z = 40$, säteittäiset viipaleet = 30, 5000 aluepisteellä.

6. Vedenalaisen melun vaikutusten arvioinnin lähtötilanne

Äänilähteiden äänialtistuksen tasot ja niiden vaikutusalueet voidaan käsittää suuntaa-antaviksi varovaisuusperiaatteen mukaisiksi vaihteluväleiksi. On tärkeää huomata, että on erittäin epätodennäköistä, että merinisäkkäät tai kalat pysyvät paikallaan tai tietyllä säteellä melunlähteestä. Vaikutuskohteiden (eläinten) käyttäytyminen on sisällytetty melualtistuksen mallinnukseen. Mallinnuksessa on mahdollista olettaa pahimman mahdollisen skenaarion mukaisesti, että eläin pysyy paikallaan suhteessa melulähteeseen, mutta tämä oletus todennäköisesti yliarvioi vaikutusetäisyyttä huomattavasti. Tämän vuoksi mallissa on mukana yksinkertainen oletus eläimen pakenemisesta, joka sisältää reaktiokynnyksen ja johtaa eläimen liikkeeseen pois päin melunlähteestä. Merinisäkkäiden liikkuminen mallinnetaan liikkeenä, jonka nopeus on 1,5 m/s.

Kalojen oletetaan pakenevan eri tavalla melulähteestä /1/. Kalojen karkottuminen mallinnetaan äänialtistuksen tasoa laskettaessa. Silakalle tässä tutkimuksessa on käytetty 1,04 m/s, lohelle 4,53 m/s ja turskalle 0,38 m/s (nuori) ja 0,9 m/s (aikuisen).

Eläimen karkottamiseen vaikuttaa kokonaisäänialtistus koko rakennustoiminnan ajan, ja se sisältyy laskelmiin, kuten on kuvattu Tanskan energiaviraston (DEA) ohjeessa /1/.

6.1 Merinisäkkäät

Melun vaikutus merinisäkkäisiin voidaan jakaa yleisesti neljään laajaan ryhmään, jotka riippuvat suurelta osin yksilön etäisyydestä äänilähteeseen:

- havaitseminen
- äänten peittyminen (masking)
- muutokset käyttäytymisessä
- fyysiset vauriot

Vaikutusalueiden rajat eivät ole tarkkoja, ja alueiden välillä on suurta päällekkäisyyttä. Nämä neljä luokkaa on kuvattu alla.

Havaitsemisetäisyys (alue, jolla äänen havaitseminen tapahtuu), riippuu taustamelun tasosta ja kyseessä olevan eläimen kuulokynnyksestä.

Äänten peittymistä tapahtuu, kun melu häiritsee eläimen kykyä huomata (havaita, tulkita ja/tai erottaa) ääntä. Äänten peittymisen vaikutukset merinisäkkäisiin sisältävät vielä monia epävarmuustekijöitä.

Käyttäytymiseen liittyvien muutosten esiintyminen ja merkitys vaihtelevat yksilön, lajin ja olosuhteiden mukaan. Jotkut äänet eivät välttämättä aiheuta mitään vastetta, kun taas toiset voivat johtaa pieniin tai merkittäviin muutoksiin käyttäytymisessä, kuten sukeltamisessa, pinnalle nousussa, ääntelyssä, ravinnonhankinnassa ja/tai lisääntymisessä.

Merinisäkkäiden fysikaaliset vauriot liittyvät kuuloelimen vaurioitumiseen. Kuuloelinten fysikaaliset vauriot voivat johtaa pysyviin muutoksiin eläinten kuulokynnyksessä (pysyvä kuulonalenema, PTS). Tämä voi johtua sisäkorvan aistinsolujen tuhoutumisesta tai aistinsolujen, tukisolujen tai jopa äänihermojen solujen aineenvaihdunnan hidastumisesta. Kuulonalenema on yleensä vain tilapäinen (tilapäinen kuulonalenema, TTS) ja alkuperäinen äänen havaitsemiskynnys palautuu palautumisajan päätteeksi. PTS:ssä ja TTS:ssä äänen voimakkuus on tärkeä tekijä kuulonaleneman asteen kannalta, samoin kuin taajuus, altistuksen kesto ja palautumisjakson kesto.

Tässä raportissa ehdotetut PTS:ää, TTS:ää ja käyttäytymisvastetta koskevat kriteerit perustuvat tieteellisessä kirjallisuudessa esitettyihin tuloksiin ja/tai yleisesti käytettyihin kriteereihin vedenalaisen äänen ympäristövaikutusten arvioinnissa. Vaikutuskohteiden (eläinten) käyttäytyminen on välttämätöntä sisällyttää altistuksen mallinnukseen.

6.1.1 Merinisäkkäiden kuulon painottuminen taajuuden suhteen

Kyky kuulla eri taajuisia ääniä vaihtelee lajin kuuloalueella. Useimmilla nisäkkäiden audiogrammeilla (kuulokäyrillä) on tyypillinen "U-muoto", ja U-kirjaimen alaosassa olevat taajuudet ovat niitä, joille eläin on herkempi kuulon suhteen. Kuulon painottuminen taajuuden suhteen (kuulokäyrä) heijastaa parhaiten eläimen kykyä kuulla ääni (eivätkä välttämättä heijasta sitä, miten eläin havaitsee äänen ja reagoi siihen käytöksellään). Suuremman kuuloherkkyyden huomioimiseksi tietyillä taajuuksilla tehdään äänille usein taajuuspainotus. Merinisäkkäille on ehdotettu taajuuspainotuksia, jotka liittyvät erityisesti PTS/TTS kynnyksiarvoihin SEL_{cum} , ja jotka ottaa huomioon merinisäkkäiden kuulo-ominaisuudet. Pyöriäisiin sovelletaan erittäin korkean taajuuden (VHF) painotettuja vaikutusten raja-arvoja. Hylkeisiin sovelletaan vesissä esiintyvien lihansyöjien painotettuja kynnyksiarvoja.

6.1.2 Melulähteen ominaisuudet

Melualtistuksen kuulovaikutuksia analysoitaessa on usein hyödyllistä luokitella melu laajasti joko impulsiiviseksi meluksi (korkea äänenpaineen huippu, lyhytkestoinen, nopea nousuaika ja laaja taajuusalue), tai ei-impulsiiviseksi meluksi (tasainen, vähän vaihtelua sisältävä). Kuulovaikutuksia tarkasteltaessa kaikuluotaimia, muita koherentteja aktiivisia lähteitä ja värähtelevää paalutusta pidetään ei-impulsiivisinä lähteinä, kun taas räjähteitä, iskupaalutusta ja seismisen tutkimuksen ilma-aseita käsitellään impulsiivisinä lähteinä.

6.2 Pyöriäisen kriteerit

Taulukossa 6-1 on esitetty yhteenveto pyöriäisiin kohdistuvien vaikutusten arviointikriteereistä. Kriteereihin liittyy erilaisia vaikutuksia ja rajoja. Nämä vaikutusten kynnyksiarvot on määritetty viimeisimmästä tieteellisestä kirjallisuudesta saatavilla olevien arvojen ja hyväksytyjen raja-arvojen arvioinnin perusteella.

Taulukko 6-1. Pyöriäisen melukynnyksikriteerit kuulon heikkenemiselle ja käyttäytymiselle.

Laji	Toiminnallinen kuuloryhmä	Melun vaikutus	Kynnys (Impulsiivinen melu)	Kynnys (Ei-impulsiivinen melu)	Viittaus
Pyöriäinen	Erittäin korkeataajuiset valaat	PTS	155 dB SEL_{cum} (painotettu)	173 dB SEL_{cum} (painotettu)	DEA 2023
		TTS	140 dB SEL_{cum} (painotettu)	153 dB SEL_{cum} (painotettu)	DEA 2023
		Käyttäytyminen	103 dB SPL _{rms,125} ms (painotettu)	103 dB SPL _{rms,125} ms (painotettu)	DEA 2023

Laji	Toiminnallinen kuuloryhmä	Melun vaikutus	Kynnys (Impulsiivinen melu)	Kynnys (Ei-impulsiivinen melu)	Viittaus
<i>Painotetut kynnysarvot ovat VHF-painotettuja (Very High Frequency). PTS- ja TTS-kynnysarvot sisältävät pakenemisnopeuden 1,5 m/s</i>					

6.3 Kriteerit hylkeille

Taulukossa 6-2 esitetään yhteenveto hylkeisiin kohdistuvien vaikutusten arviointikriteereistä. Kriteereihin liittyy erilaisia vaikutuksia ja rajoja. Nämä vaikutusten kynnysarvot on määritetty viimeisimmästä tieteellisestä kirjallisuudesta saatavilla olevien arvojen ja hyväksytyjen raja-arvojen arvioinnin perusteella.

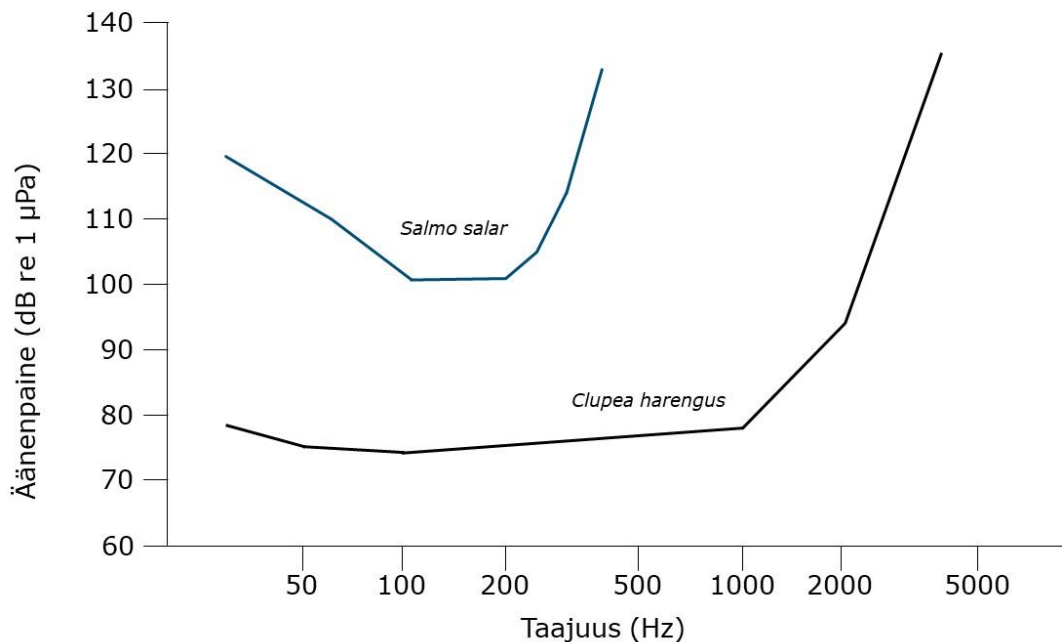
Taulukko 6-2. Sulje kuulonaleneman ja käyttäytymisen melukynnyskriteerit.

Laji	Toiminnallinen kuuloryhmä	Melun vaikutus	Kynnys (Impulsiivinen melu)	Kynnys (Ei-impulsiivinen melu)	Viittaus
Hylkeet	Focid-lihansyöjät	PTS	185 dB SEL _{cum} (painotettu)	201 dB SEL _{cum} (painotettu)	DEA 2023
		TTS	170 dB SEL _{cum} (painotettu)	181 dB SEL _{cum} (painotettu)	DEA 2023
		Käyttäytyminen	151 dB SEL _{ss} (painottamaton)	-	Russel ym. 2016
<i>Painotetut kynnysarvot ovat PCW-painotettuja (Phocid carnivores). PTS- ja TTS-kynnysarvot sisältävät pakenemisnopeuden 1,5 m/s</i>					

6.4 Kriteerit kaloille

Voimakkaammilla äänillä voi olla monenlaisia vaikutuksia kaloihin. Näitä voivat olla kuolema, kuulon heikkeneminen, anatomisten rakenteiden vauriot ja muutokset fysiologiassa, hermoston toiminnassa, käyttäytymisessä ja negatiiviset vaikutukset kehitykseen.

Silakka (*Clupea harengus membras*, sillin *Clupea harengus* alalaji,) ja Atlantin lohi (*Salmo salar*) kuuluvat ekologisen ja taloudellisen merkittävyytensä vuoksi kohdealueen huomionarvoisiin kalalajeihin, ja ne edustavat kuuloelintensä rakenteen perusteella eri kalaryhmiä. Atlantin lohi kuuluu kalaryhmään, jolla on uimarakko, mutta ei kuulemiseen erikoistunutta rakennetta korvan ja uimarakon välillä, mikä tekee lajista vähemmän herkän vedenalaiselle melulle kuin silakka. Silakalla ja sillillä, kuten kaikkien sillikalajien lahkoon edustajilla, on erityinen yhteys uimarakon ja korvan välillä, minkä vuoksi silakalla on suhteellisen matala kuulokynnys ja laji on siten verrattain herkkä vedenalaiselle melulle (Kuva 6-1).



Kuva 6-1. Atlantin lohen (*Salmo salar*) ja sillin (*Clupea harengus*) kuulokynnykset (mukaillen Hawkins, D. A. 2018, julkaisussa: Popper & Hawkins 2019: An overview of fish bioacoustics and the impacts of anthropogenic sounds on fishes).

Taulukossa 6-3 esitetään yhteenveto kaloihin kohdistuvien vaikutusten arviointikriteereistä. Kriteereihin liittyy erilaisia vaikutuksia ja rajoja. Nämä vaikutusten kynnyksarvot on määritetty viimeisimmästä tieteellisestä kirjallisuudesta saatavilla olevien arvojen ja hyväksytyjen raja-arvojen arvioinnin perusteella.

Vaikutusten määritelmät

- Kuolleisuus ja kuolettava vamma: välitön tai viivästynyt kuolema.
- Vaurio, joista on mahdollista palautua: vammat, mukaan lukien hiussoluvauriot, vähäinen sisäinen tai ulkoinen hematooma jne. Mikään näistä vammoista ei todennäköisesti johda kuolemaan.
- TTS: tilapäinen kuulonalenema
- Käyttäytymisvaikutukset: Käyttäytymisen muutos voi vaihdella siirtymisestä ensisijaisista syönnösalueista lisääntymisalueiden vaihtamiseen ja vaelluksen muuttumiseen. Tällä hetkellä käyttäytymisvaikutuksille ei ole kriteereitä, eikä tätä tutkita tarkemmin tässä raportissa.
- Äänten peittyminen: Melu vaimentaa äänisignaaleja ja vihjeitä, joita eläin käyttää navigointiin tai viestintään. Peittäville vaikutuksille ei ole tällä hetkellä kriteereitä, eikä tätä tutkita tarkemmin tässä raportissa.

Kalojen kynnyksarvot eri vaurioille sekä mallinnuksessa käytetyt lajikohtaiset pakenemisnopeudet on esitetty taulukossa 6-3.

Taulukko 6-3. Kuulon heikkenemisen ja vamman kalakynnyskriteerit.

	Pakenemisnopeus [m/s]	Melun vaikutus	Kynnys (Jatkuva melu)
Kala	Turska (poikasvaihe) – 0,38 Silli – 0,9 Turska (aikuinen) – 1,04 Atlantin lohi - 4,53	Kuolettava vamma	-
	Turska (poikasvaihe) – 0,38 Silli – 0,9 Turska (aikuinen) – 1,04 Atlantin lohi - 4,53	Vaurio, josta mahdollista palautua	222 SEL _{cum, 48h}
	Turska (poikasvaihe) – 0,38 Silli – 0,9 Turska (aikuinen) – 1,04 Atlantin lohi - 4,53	TTS (tilapäinen kuulonalenema)	204 SEL _{cum, 12h}
<i>Kaikki tasot ovat laajakaistaisia ja taajuuspainottamattomia. Viittaus Popperin ohjeisiin 2014</i>			

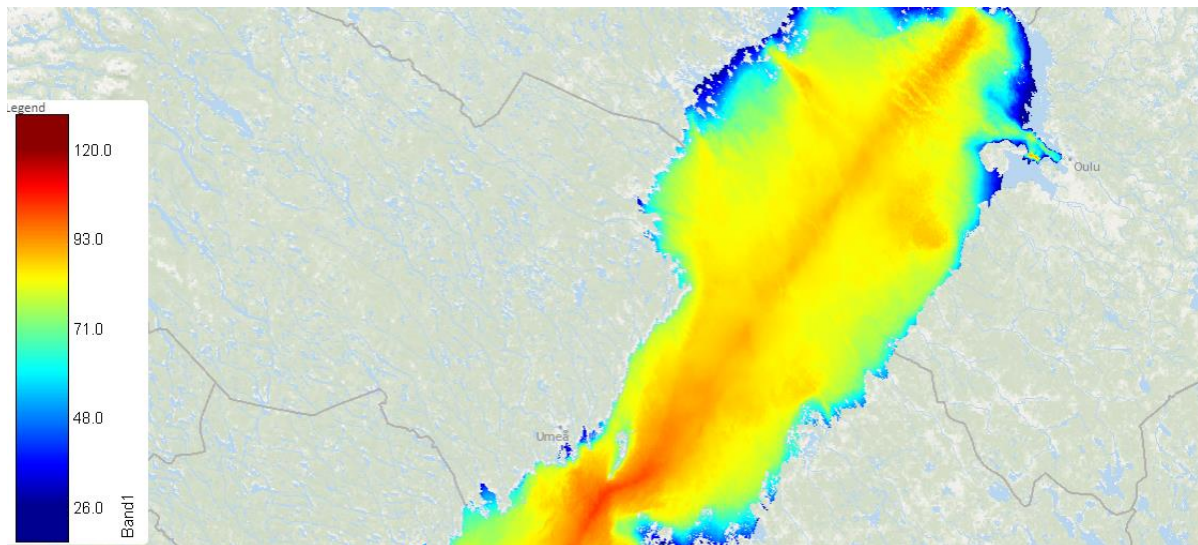
Popper ym. (2014) julkaisussa jatkuvan melun raja-arvot ovat 170 dB rms, palautuvan vaurion 48 h ja tilapäisen kuulonaleneman (TTS) 158 rms, 12 h. Tämä vastaa kumulatiivista melukynnystä 222 SEL_{cum, 48 h} ja 204 SEL_{cum, 12 h}, jotka on esitetty taulukossa 6-3.

6.5 Meriliikenteen taustamelutasot

Itämeren osa-alueella Pohjanlahdella on merkittävä määrä laivaliikennettä, sillä rannikolla on lukuisia satamia.

Alueen laivaliikenteen määrän ja vedenalaisen melun perustilamittauksista saatujen tietojen perusteella merenkulun keskimääräinen vedenalainen taustamelutaso on noin 100 dB (> 500 metrin päässä) - 120 dB laivaväylän läheisyydessä.

Seuraavasta kuvasta (Kuva 6-1) saa suuntaa-antavan käsityksen keskimääräisestä vedenalaisesta melutasosta keskitaajuudella 500 Hz.



Kuva 6-1. Meriliikenteen keskimääräisen vedenalaisen melutaso 500 Hz:n keskitaaajuudella vuonna 2018 Pohjanlahdella¹.

7. Vedenalaisen äänilähteen mallinnuksen tulokset

Seuraavassa esitetään merkittävät vedenalaiset melulähteet hankkeen kullekin vaiheelle ja annetaan niiden äänilähdetasot, ominaisuudet ja taajuusspektri.

Olemassa olevien vedenalaisten äänimittausten perusteella arvioitiin äänilähteiden tasot ja taajuusspektri tunnistetuille merkittäville äänilähteille mahdollisten vedenalaisen melun vaikutusten osalta.

¹ ICESistä tuotettu kartta: <https://underwaternoise.ices.dk/continuous/viewonmap>, parametreineen; 2018, 500 Hz, koko vesipatsas, L10, liikenne, viimeksi käytetty 28-09-2023.

7.1 Rakennustoiminnan äänilähdetasot

Rakentamistoiminnoille tunnistetut äänilähdetasot perustuvat projektikohtaiseen empiiriseen mallinnukseen melutasoista, joita ei ole lievennetty. Rakentamistoiminnan melulähteet, joilla voi olla vaikutusta merinisäkkäisiin ja kaloihin, ovat ruoppaus ja kallion leikkaaminen/poraus. Kumpikaan melulähteistä ei ole impulsiivinen ja ne lähettävät melua tasaisesti kaikkiin suuntiin (ympärisäteilevä 360 astetta).

Taulukko 7-1. Rakennustoiminnan melun etenemisen mallintamisessa käytetyt lähtötiedot ja äänilähdetasot.

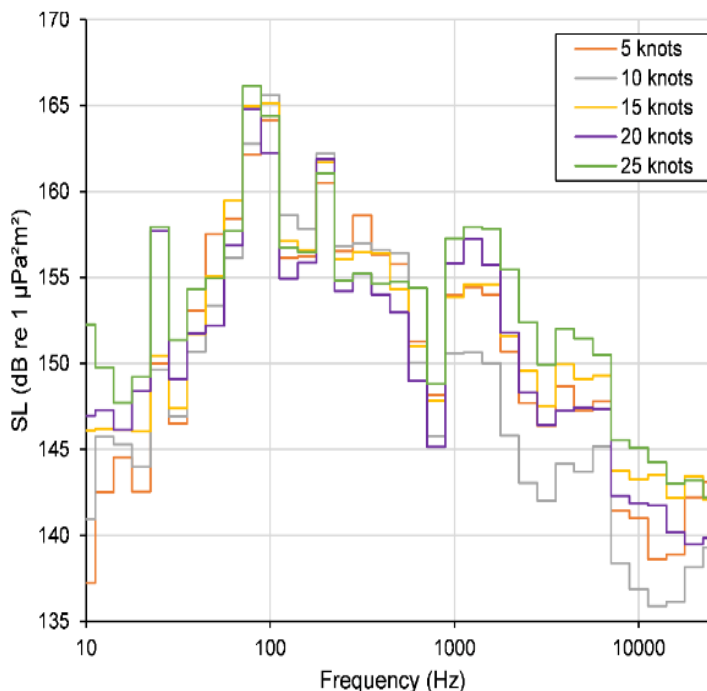
Lähde	Kesto (h/pvä)	Nopeus (solmua/h)	Mallin tyyppi (viite)	Äänilähteen syvyys (m)	Taajuus (kHz)	SPLrms (dB)	SEL (dB)
Ruoppaus - TSHD	24	1,2	Kapasiteetti 8000 m ³ (Wyatt 2008)	Merenpohja	0,01-10	186,5	177,5
Kallion leikkaus / poraus	24	-	(Barham 2017)	2 m merenpohjan yläpuolella	0,03-2	185,3	176,3

7.2 Jatkuvan melulähteen tasot

Jatkuvaksi meluksi tunnistetut äänilähdetasot koskevat valmistunutta merituulivoimapuistoa täydessä toiminnassa sekä alusten aiheuttamaa melua rakentamisen ja kunnossapidon aikana. Nämä melulähdetasot perustuvat vastaavien projektien empiirisiin tietoihin. Tässä hankkeessa käytetyt äänilähdetasot on arvioitu alusten melusta ja merituulivoimapuistoista tällä hetkellä saatavissa olevan datan perusteella. Lieventämistoimenpiteitä ei yleensä käytetä, koska äänilähdetasot ovat suhteellisen alhaiset. Käytön aikaisten äänilähteiden tasot vaihtelevat merkittävästi tuulivoimalan liikkuvien ja vuorovaikutuksessa olevien osien tyypistä ja määrästä. Sama koskee alusten melutasoa, koska se riippuu aluksen koosta ja työntövoimajärjestelmästä. Toinen käytön aikaiseen meluun vaikuttava tekijä on myös erilaiset aineistojen analyysimenetelmät, joita eri mittauksissa käytetään, mikä voi johtaa hyvin erilaisiin tuloksiin, koska tuulivoimalan vedenalaista melua mitattaessa on otettava huomioon monia tekijöitä.

Käytön aikaisten melulähteiden tasot perustuvat yksittäisen tuulivoimalan kokoon (MW), kun taas alusten äänilähtetasot perustuvat erikokoisten alusten keskiarvoon, kuormalla ja ilman kuormaa. Parhaat arviomme lähdetasoista on esitetty taulukossa 7-1.

Laskelmissa käytetään 1/3 oktaavin taajuusspektriä (Kuva 7-1), koska se edustaa ajantasaisinta ja kattavinta spektritietoa.



Kuva 7-1. Taajuusspektri, jota käytetään merituulipuistojen operatiiviseen meluun. Taulukossa käytetyt englanninkieliset suuret ovat suomeksi knots=solmua ja Frequency (Hz)=taajuus (Hz).

Taulukko 7-1. Jatkuvat melulähdetasot aluksille ja merituulivoimapuistoille. Lähdetasot ilmoitetaan RMS-tasoina, huipputasoina ja altistumistasoina.

Melulähde	Informaatio	Lähdetaso, huippu, re. 1µPa @ 1 metri*	Lähdetaso, RMS 125 ms, re. 1µPa @ 1 metri*	Lähdetaso, SEL(1sek), re. 1µPa²s @ 1 metri*, yksi melutapahtuma
Yksi turbiini	30 MW	169 dB	161 dB	153 dB
Alus	Keskimääräiset lähdetasot	182 dB	175 dB	166 dB

* @ 1 metri = äänitaso laskettuna 1 metrin etäisyydelle

8. Geoakustisen mallinnuksen syöttötiedot

8.1 Syvyystiedot

Merenpohjan muoto on tärkeä vedenalaisen äänen etenemiseen vaikuttava parametri, ja siksi yksityiskohtaiset syvyystiedot ovat välttämättömiä tarkan mallinnuksen kannalta.

Koko tutkimusaluetta koskeva perusresoluution syvyysaineisto saatiin julkisesta lähteestä, EMODnetistä (European Marine Observation and Data Network).

8.2 Geoakustiset ominaisuudet

Tiedot merenpohjan kerroksista saatiin asiakkaalta, koska sedimenttikerrosten ja syvyyksien aiemmat mittaukset olivat saatavissa. Aineistoa on käsitelty siten että kullekin sedimenttityypille saatiin keskimääräinen paksuus ja mediaanipaksuus. Pahimman mahdollisen tapauksen laskelmassa

selvitettiin antaako keskiarvon vai mediaanin käyttäminen pidempiä laskettuja äänen etenemisen etäisyyksiä ja päädyttiin käyttämään keskiarvoa (Taulukko 8-1).

Taulukko 8-1. Äänen etenemismallissa käytetyt sedimenttikerrokset.

Merenpohjan kerros	Materiaali	Geoakustiset ominaisuudet
0 – 0,2 metriä	Savi	$C_p = 1.500 \text{ m/s}$ ja $\alpha = 0,2 \text{ dB}/\lambda$
0,2 – 0,9 metriä	Liete	$C_p = 1,575 \text{ m/s}$ ja $\alpha = 1 \text{ dB}/\lambda$
0,9 – 4,4 metriä	Moreeni	$C_p = 1,950 \text{ m/s}$ ja $\alpha = 0,4 \text{ dB}/\lambda$
4,4 – ∞ metriä	Peruskallio	$C_p = 5,250 \text{ m/s}$ ja $\alpha = 0,1 \text{ dB}/\lambda$

8.3 Äänennopeusprofiilit ja veden ominaisuudet

Kesän ja talven kerrostuneisuutta kuvaavat vesipatsaan profiilit (suolapitoisuus, lämpötila ja syvyys) perustuvat ICESin (International Council for the Exploration of the Sea) julkisesti saatavilla oleviin tietoihin. Aineistot ovat tämän projektin tutkimusalueen lähellä sijaitsevilta asemilta. Aineistoa on käytetty mallinnuspaikkojen äänennopeusprofiilin laskemiseen ja vedenalaisen äänen etenemismallin syötteenä.

Ennusteet tehtiin talvelle ja kesälle. Vesipatsaan profiilit ovat erilaisia perustuen eri vuodenaikojen olosuhteisiin, joten niillä on erilaiset äänen etenemisominaisuudet. Taulukossa 8-2 on esitetty veden fysikaaliset olosuhteet ja taulukossa 8-3 äänennopeusprofiili kesän avovesikaudella.

Taulukko 8-2. Meriveden keskimääräiset fysikaaliset olosuhteet kesällä.

Meriveden fysikaaliset olosuhteet	
Vuodenaika	Kesä
Keskilämpötila [°C]	8,3
Avg. Suolapitoisuus [ppt]	3,5

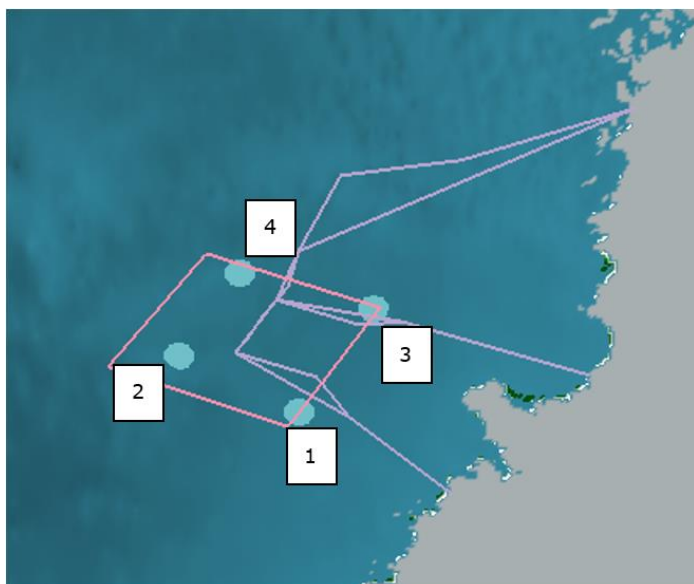
Taulukko 8-3. Kesän vesipatsaan äänennopeuden profiili, joka osoittaa äänen nopeuden kussakin syvydessä.

Äänen nopeus	
Syvyys [m]	Äänen kesänopeus [m/s]
0	1478
5	1470,3
10	1463,4
15	1457,2
20	1451,6
25	1446,7
30	1442,5
35	1438,8
40	1435,7
45	1433,1
50	1431,1
55	1429,5
60	1428,4
65	1427,6
70	1427,3

Äänen nopeus	
Syvyys [m]	Äänen kesänopeus [m/s]
75	1427,6
80	1429,2
85	1431,7

8.4 Laskentapisteet

Laskelmissa on käytetty neljää eri laskentapistettä (Kuva 8-1) edustamaan merituulivoimapuistoa, jotta voidaan määrittää vedenalaisen äänen etenemisestä alueen rajoista ja löytämään pahin mahdollinen skenaario. Kohdat 1, 2 ja 4 edustavat tuulipuistoon liittyviä sijainteja, kun taas 3 kohta edustaa merituulivoimapuiston ja puistosta mantereelle johtavan kaapelikäytävän sijaintia.

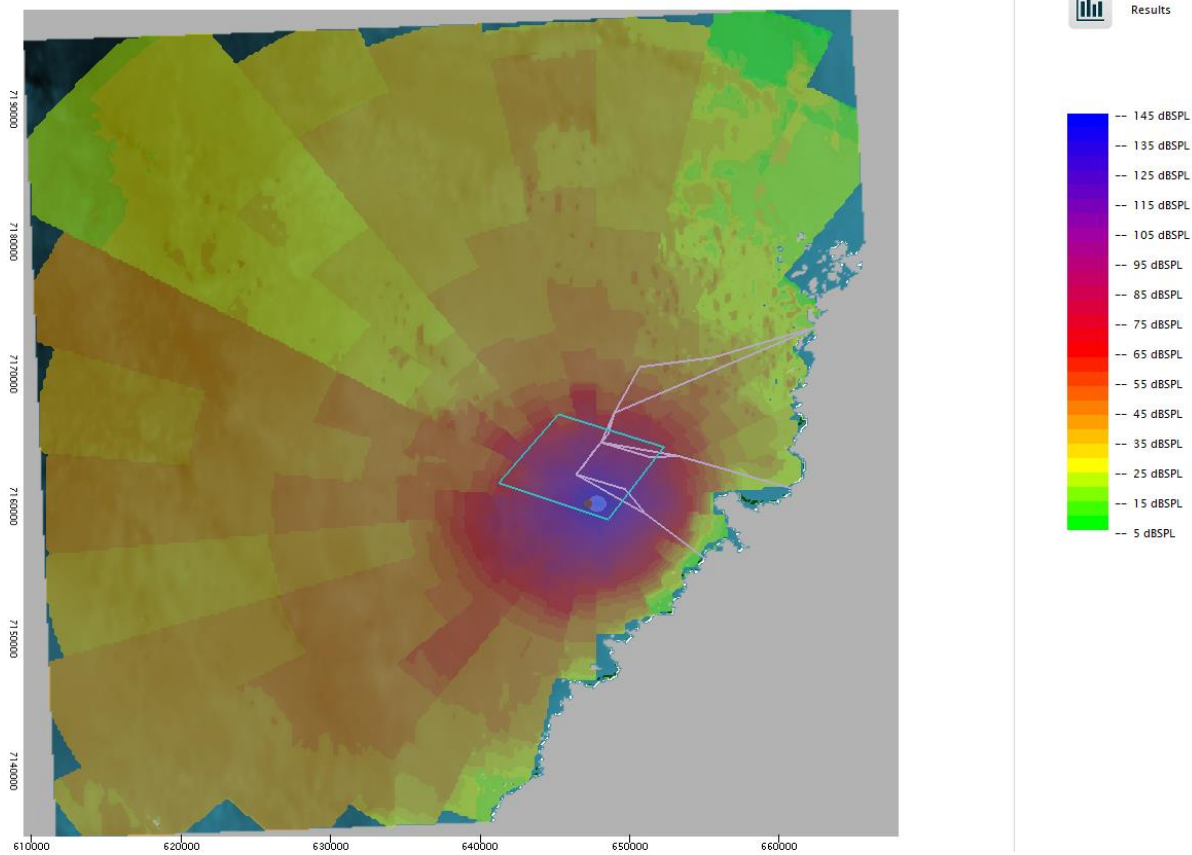


Kuva 8-1. Vedenalaisen melun mallinnuksen laskentapisteiden sijoittaminen.

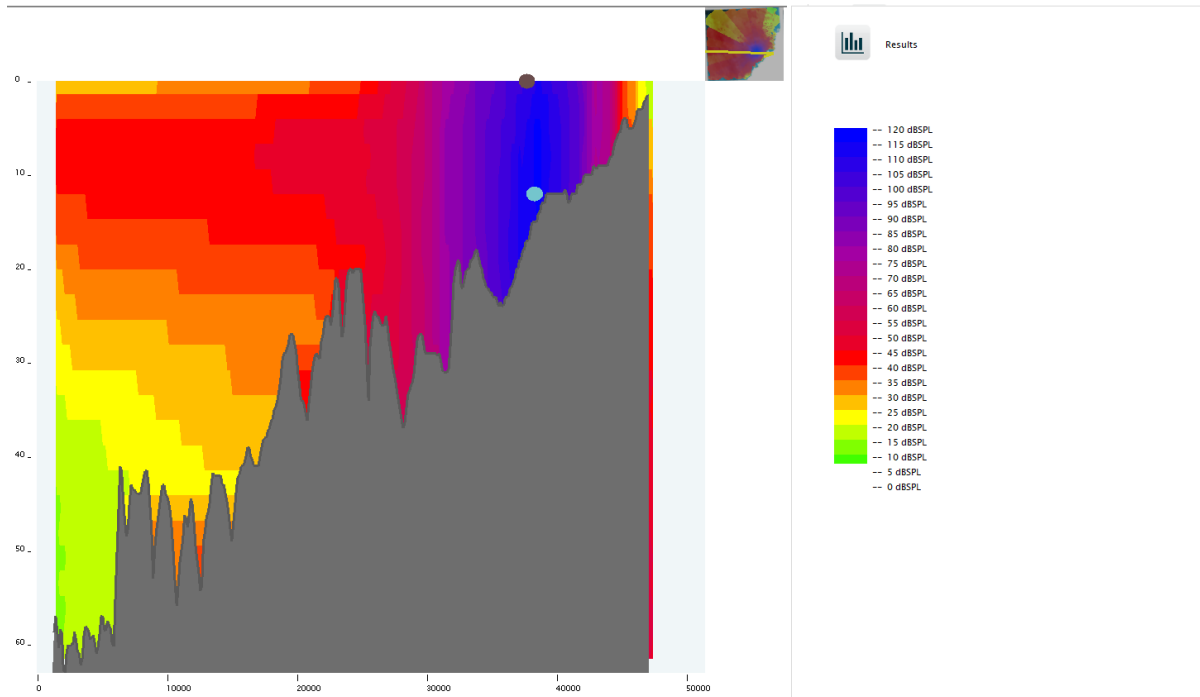
9. Vedenalaisen melun mallinnuksen tulokset

Vedenalaisen melun etenemistä mallinnettiin käyttämällä edellisissä luvuissa kuvattuja äänilähdetasoa, äänilähteen spektriä sekä ympäristöolosuhteita. Eri kynnyksiarvoille ennustetuille etäisyyksille on käytetty maksimiarvoja millä tahansa syvyydellä merenpohjaan asti. Seuraavissa taulukoissa on yhteenveto akustisen mallinnuksen tuloksista rakentamis- ja toimintavaiheessa enimmäisetäisyyksinä, soveltaen kesälle määritellyjä vedenalaisen melun kynnyksiarvoja (Taulukot 9-1, 9-2 ja 9-3).

Kun tavoitteena on esittää pahin mahdollinen tapaus (worst-case), ilmoitetaan tyypillisesti suurimmat etäisyydet suhteessa kynnyksiarvoihin. Seuraavissa kuvissa (Kuvat 9-1 ja 9-2) on esitetty esimerkinomaisesti millä tavoin melu etenee vaaka- ja pystysuunnassa. Kuvat havainnollistavat vedenalaisen melun kolmeulotteista etenemistä.



Kuva 9-1. Esimerkki horisontaalisesta (vaakasuntaisesta) melun leviämisestä ruoppauksessa



Figuri 9-2. Esimerkki ruoppauksesta aiheutuvan melun leviämisestä vertikaalisesti (syvyysuuntaisesti).

Seuraavissa luvuissa on yhteenveto akustisen mallinnuksen tuloksista eri rakentamisen- ja toiminnan aikaisten toimintojen aiheuttamina enimmäisetäisyyksinä suhteessa merinisäkkäille ja kaloille määriteltyihin vaikutuskynnysarvoihin vedenalaiselle melulle (ks. Luku 6). Osalla eläimistä ei ole kynnysarvoja eri vaikutusryhmille, koska hylkeillä ei ole kynnysarvoa käyttäytymisen muutoksille jatkuvalla melulähteellä. Tällaiselle altistukselle on annettu taso N/A seuraavissa tuloksissa.

9.1 Pyöriäiset – etäisyydet sovellettaviin arviointikynnyksiin (kynnysarvot)

Taulukko 9-1. Impulsiivisen melun etäisyydet suhteessa pyöriäisten eri kynnysarvoihin (kesä). Laskentapisteet, ks. Kuva 8-1.

Laskentapiste	Toiminto	Jatkuva PTS (pysyvä kuulokynnyksen alenema)	Jatkuva TTS (tilapäinen kuulokynnyksen alenema)	Muutos käyttäytymisessä
Pyöriäinen (kesä)		173 SEL	153 SEL	103 SPLrms, 125ms
1	Ruoppaus	0 metriä	5 metriä	2 900 metriä
1	Kallion leikkaaminen/kallion murtaminen	0 metriä	20 metriä	660 metriä
2	Ruoppaus	0 metriä	5 metriä	2 800 metriä
2	Kallion leikkaaminen/kallion murtaminen	0 metriä	20 metriä	680 metriä
3	Ruoppaus	0 metriä	5 metriä	2 900 metriä
3	Kallion leikkaaminen/kallion murtaminen	0 metriä	20 metriä	720 metriä
4	Ruoppaus	0 metriä	5 metriä	2 800 metriä
4	Kallion leikkaaminen/kallion murtaminen	0 metriä	20 metriä	680 metriä

Huomautus: 0 m tarkoittaa, että kynnysarvoa ei saavuteta mallinnuksessa.

9.2 Hylkeet – etäisyydet sovellettaviin arviointikynnyksiin (kynnysarvot)

Taulukko 9-2. Jatkuvan melun etäisyydet hylkeiden eri raja-arvoihin (kesä). Laskentapisteet, ks. Kuva 8-1.

Laskentapiste	Toiminto	Jatkuva PTS (pysyvä kuulokynnyksen alenema)	Jatkuva TTS (tilapäinen kuulokynnyksen alenema)	Muutos käyttäytymisessä
Hylkeet (kesä)		201 SEL	181 SEL	151 SEL
1	Ruoppaus	0 metriä	0 metriä	N/A
1	Kallion leikkaaminen/kallion murtaminen	0 metriä	0 metriä	N/A
2	Ruoppaus	0 metriä	0 metriä	N/A
2	Kallion leikkaaminen/kallion murtaminen	0 metriä	0 metriä	N/A
3	Ruoppaus	0 metriä	0 metriä	N/A
3	Kallion leikkaaminen/kallion murtaminen	0 metriä	0 metriä	N/A
4	Ruoppaus	0 metriä	0 metriä	N/A
4	Kallion leikkaaminen/kallion murtaminen	0 metriä	0 metriä	N/A

Huomautus: 0 m tarkoittaa, että kynnysarvoa ei saavuteta mallinnuksessa.

9.3 Kalat – etäisyydet sovellettaviin arviointikynnyksiin (kynnysarvot)

Taulukko 9-3. Jatkuvan melun etäisyydet kalojen eri raja-arvoihin. Laskentapisteeet, ks. Kuva 8-1.

Laskentapiste	Toiminto	Laji Pakenemisnopeus [m/s]	TTS _{SELcum,12h}	Vamma, josta voi palautua SPL _{cum,48h}
Kalat (kesä), jatkuva melu			204 dB	222 dB
1	Ruoppaus	Turska (j), 0,38 Silli, 0,9 Turska (a), 1,04 Lohi, 4,53	0 km 0 km 0 km 0 km	0 metriä 0 metriä 0 metriä 0 metriä
1	Kallion leikkaaminen/kallion murtaminen	Turska (j), 0,38 Silli, 0,9 Turska (a), 1,04 Lohi, 4,53	0 km 0 km 0 km 0 km	0 metriä 0 metriä 0 metriä 0 metriä
2	Ruoppaus	Turska (j), 0,38 Silli, 0,9 Turska (a), 1,04 Lohi, 4,53	0 km 0 km 0 km 0 km	0 metriä 0 metriä 0 metriä 0 metriä
2	Kallion leikkaaminen/kallion murtaminen	Turska (j), 0,38 Silli, 0,9 Turska (a), 1,04 Lohi, 4,53	0 km 0 km 0 km 0 km	0 metriä 0 metriä 0 metriä 0 metriä
3	Ruoppaus	Turska (j), 0,38 Silli, 0,9 Turska (a), 1,04 Lohi, 4,53	0 km 0 km 0 km 0 km	0 metriä 0 metriä 0 metriä 0 metriä
3	Kallion leikkaaminen/kallion murtaminen	Turska (j), 0,38 Silli, 0,9 Turska (a), 1,04 Lohi, 4,53	0 km 0 km 0 km 0 km	0 metriä 0 metriä 0 metriä 0 metriä
4	Ruoppaus	Turska (j), 0,38 Silli, 0,9 Turska (a), 1,04	0 km 0 km 0 km	0 metriä 0 metriä 0 metriä

Laskentapiste	Toiminto	Laji Pakenemisnopeus [m/s]	TTS _{SELcum,12h}	Vamma, josta voi palautua SPL _{cum,48h}
		Lohi, 4,53	0 km	0 metriä
4	Kallion leikkaaminen/kallion murtaminen	Turska (j), 0,38 Silli, 0,9 Turska (a), 1,04 Lohi, 4,53	0 km 0 km 0 km 0 km	0 metriä 0 metriä 0 metriä 0 metriä

Huomautus: 0 m tarkoittaa, että kynnyksarvoa ei saavuteta mallinnuksessa.

9.4 Toimintavaihe – etäisyydet sovellettaviin arviointikynnyksiin (kynnysarvot)

Taulukko 9-4. Toiminnan aikaisen melun aiheuttamat etäisyydet suhteessa eri merieläinten kynnysarvoihin.

Laji	Käyttäytyminen	TTS SEL	PTS SEL _{cum}	Vamma, josta voi palautua SEL _{cum}
Tuulivoimala, laskentapiste 1				
Pyöriäinen	0,3 km	0 metriä	0 metriä	N/A
Hylje	N/A	0 metriä	0 metriä	N/A
Kala	N/A	0 metriä	N/A	0 metriä
Tuulivoimala, laskentapiste 2				
Pyöriäinen	0,25 km	0 metriä	0 metriä	N/A
Hylje	N/A	0 metriä	0 metriä	N/A
Kala	N/A	0 metriä	N/A	0 metriä
Tuulivoimala, laskentapiste 3				
Pyöriäinen	0,3 km	0 metriä	0 metriä	N/A
Hylje	N/A	0 metriä	0 metriä	N/A
Kala	N/A	0 metriä	N/A	0 metriä
Tuulivoimala, laskentapiste 4				
Pyöriäinen	0,25 km	0 metriä	0 metriä	N/A
Hylje	N/A	0 metriä	0 metriä	N/A
Kala	N/A	0 metriä	N/A	0 metriä

Huomautus: 0 m tarkoittaa, että kynnysarvoa ei saavuteta mallinnuksessa.

10. Johtopäätökset

Tämä tutkimus on vedenalaisen melun etenemismallinnus suunnitellun merituulivoimapuiston rakennus- ja toimintavaiheissa. Tutkimuksen tarkoituksena on ennustaa mahdolliset vedenalaiset melutasot ja altistumistasot, joiden perusteella voidaan arvioida pyöriäisiin, hylkeisiin ja kaloihin kohdistuvat melun aiheuttamat vaikutukset, ja toimittaa asiaankuuluvat ympäristölupamenettelyyn tarvittavat asiakirjat.

Mallinnettuja mahdollisia vedenalaisia melutasoja ja altistumistasoja verrattiin pyöriäisiä, hylkeitä ja kaloja koskeviin kynnysarvoihin. Tuloksista voidaan tehdä seuraavat yleiset johtopäätökset.

10.1 Pyöriäinen

10.1.1 Rakentaminen

- Mallinnustulokset osoittavat, että pyöriäiset eivät altistu ruoppauksesta tai kallion leikkauksesta/murtamisesta aiheutuville melutasoille, jotka voisivat johtaa pysyvään kuulonalenemaan (PTS). Kallion porauksesta tai kallion murtotöistä aiheutuvaista melutasoista noin 20 m säteellä voi aiheutua tilapäistä kuulonalenemaa (TTS) ja vastaavia vaikutuksia voi aiheutua ruoppauksesta noin 60 m säteellä. Muutoksia käyttäytymiseen voi aiheutua noin 0,7 km etäisyydellä kallion porauksesta/murtamisesta ja noin 2,9 km säteellä ruoppauksesta.

10.1.2 Toimintavaihe

- Pysyvälle tai tilapäiselle kuulonalenemalle (PTS ja TTS) ei ole vaikutusetäisyyksiä, koska toiminnassa olevien tuulipuistojen melu on suunnilleen samaa tasoa kuin laivaliikenteessä ja suurin osa energiasta keskittyy matalille taajuuksille.
- Etäisyys, jonka sisäpuolella voi aiheutua muutoksia käyttäytymisessä on pieni, noin 0,3 km, tämä etäisyys ottaa huomioon yhden tuulivoimalan osuuden melusta.

10.2 Hylkeet

10.2.1 Rakentaminen

- Hylkeet eivät altistu melutasoille, jotka voivat aiheuttaa pysyvää- tai tilapäistä kuulonalenemaa (PTS ja TTS). Jatkuvasta melusta aiheutuville käyttäytymisen muutoksille ei ole saatavissa kynnysarvoja, joita voitaisiin käyttää arvioinnissa.

10.2.2 Toimintavaihe

- Hylkeet eivät altistu melutasoille, jotka voivat aiheuttaa pysyvää- tai tilapäistä kuulonalenemaa (PTS ja TTS). Jatkuvasta melusta aiheutuville käyttäytymisen muutoksille ei ole saatavissa kynnysarvoja, joita voitaisiin käyttää arvioinnissa.

10.3 Kalat

10.3.1 Rakentaminen

- Kalat eivät altistu rakennustöiden seurauksena melutasoille, jotka voisivat aiheuttaa kuolemaan johtavia vammoja, tilapäistä kuulonalenemaa (TTS) tai ohimeneviä tai pysyviä vammoja.

10.3.2 Toimintavaihe

- Kalat eivät altistu toimintavaiheessa melutasoille, jotka voisivat aiheuttaa tilapäistä kuulonalenemaa (TTS), vammoja, joista kalat voivat palautua tai kuolemaan johtavia vammoja.

11. Viittaukset

- /1/ Danish Energy Agency, 2022, "Guidelines for underwater noise, Prognosis for EIA and SEA assessments".
- /2/ Danish Energy Agency, 2023, "Guidelines for underwater noise – Installation of impact or vibratory driven piles".
- /3/ Jensen, F.B., Kuperman, W.A., Porter, M., B., Schmidt, H., 2011, "Computational Ocean Acoustics", Second Edition Springer, New York, Dordrecht, Heidelberg, London.
- /4/ Anderson et al., 2017, "A framework for regulating underwater noise during pile driving", Swedish Defence research Agency (FOI), Swedish Environmental Protection Agency 2017.
- /5/ Southall, B.L., Bowles, A.E., Ellison, W.T., Finneran, J.J., Gentry, R.L., Greene, C.R.J., Kastak, D., Ketten, D.R., Miller, J.H., Nachtigall, P.E., Richardson, W.J., Thomas, J.A., Tyack, P., 2007, "Marine mammal noise exposure criteria: initial scientific recommendations, Aquatic Mammals 33, 411-512.
- /6/ Southall, "Marine mammal noise exposure criteria: updated scientific recommendations for residual hearing, 2019, Aquatic Mammals, 45(2), 125-232.
- /7/ Russell et al., 2016, "Avoidance of wind farms by harbor seals is limited to pile driving activities, Journal of Applied Ecology.
- /8/ Popper, 2014, "Sound exposure guidelines for fishes and sea turtles: A technical report prepared by ANSI-Accredited Standards Committee S3/SC1 and registered with ANSI".
- /9/ Bellmann et al., 2020, "Underwater noise during percussive pile driving: Influencing factors on pile-driving noise and technical possibilities to comply with noise mitigation values", itap.
- /10/ Nehls et al., 2015, "Noise mitigation during pile driving efficiently reduces disturbance of marine mammals", Advances in Experimental Medicine and Biology 875, 755-762.
- /11/ Bellmann et al., 2014, "Overview of existing noise mitigation systems for reducing pile-driving noise", itap.
- /12/ Tougaard et al., 2020, "How loud is the underwater noise from operating offshore wind turbines", JASA 148, 2885-2893.
- /13/ Burns et al., 2022, "Hywind Scotland floating offshore wind farm: Sound source characterisation of operational floating turbines", JASCO Applied Sciences.
- /14/ Risch et al., 2023, "Characterisation of underwater operational noise of two types of floating offshore wind turbines", SAMS Xi Engineering Consultants.
- /15/ Wyatt et al., 2008, "Joint industry programme on sound and marine life review of existing data on underwater sounds produced by the oil and gas industry – Issue 1".
- /16/ Barham, 2017, "App D13.09 – Underwater noise baseline and modelling", Subacoustech Environmental.
- /17/ Robinson, S.P., et al., 2011, "Measurement of underwater noise arising from marine aggregate dredging operations", MALSF Reports.
- /18/ de Jong et al., 2010, "Underwater noise of trailing suction hopper dredgers at Maasvlakte 2: Analysis of source levels and background noise", TNO Defence, Security and Safety.
- /19/ Suedel et al., 2019, "Evaluating effect of dredging-induced underwater sound on aquatic special: A literature review", ERDC.