

Vastaanottaja  
**Nord Stream 2 AG**

Päivämäärä  
**Joulukuu 2016**

Asiakirjan numero  
**W-PE-EIA-PFI-REP-805-030600FI-02**

# **NORD STREAM 2** **VEDENALAISEN MELUN** **MALLINNUS, SUOMI**

Versio **02**  
Päivämäärä **07.12.2016**

Asiakirjan tunnus W-PE-EIA-PFI-REP-805-030600FI-02  
Viite 1100019533 / PO16-5068

## SISÄLLYS

<b>1.</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>HANKKEEN KUVAUS</b>	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>VEDENALAISEN MELUN LÄHTEET</b>	<b>4</b>
3.1	Mallinnustoiminnot ja -asemat Suomessa	5
3.1.1	Kiviaineksen kasaus	5
3.1.2	Ammusten raivaaminen	6
<b>4.</b>	<b>VEDENALAINEN ÄÄNI</b>	<b>8</b>
4.1	Sovellettavat akustiikkaparametrit	8
4.2	Vedenalaisten äänilähteiden tasot	9
<b>5.</b>	<b>VEDENALAISEN MELUN ETENEMISEN MALLI</b>	<b>10</b>
<b>6.</b>	<b>VEDENALAISEN MELUN VAIKUTUSTEN ARVIOINTI</b>	<b>12</b>
6.1	Kalat	12
6.2	Merinisäkkäät	12
6.3	Merinisäkkäitä ja kaloja koskevat kriteerit	13
<b>7.</b>	<b>VEDENALAISEN MELUN ETENEMISEN MALLIN TULOKSET</b>	<b>15</b>
7.1	Kiviaineksen kasauksesta aiheutuvan melun tasot ja äänispektri	15
7.2	Ammusten raivaamisen äänilähteiden tasot ja taajuusalue	15
7.3	Syvyysolosuhteet	18
7.4	Geoakustiset ominaisuudet	19
<b>8.</b>	<b>VEDENALAISEN MELUN MALLINNUKSEN TULOKSET</b>	<b>22</b>
8.1	Äänen etenemisen mallin skenaariot	22
8.2	Etäisyydet arvioinnissa sovellettaviin kynnsarvoihin	22
8.1	Vedenalaisen melun profiilikaaviot	25
<b>9.</b>	<b>JOHTOPÄÄTÖS</b>	<b>31</b>
<b>10.</b>	<b>LÄHTEET</b>	<b>32</b>

## LUETTELO LYHENTEISTÄ

DGPS	differentiaalinen GPS-paikannusjärjestelmä, Differential Global Positioning System
dB	desibeli
EEZ	talousvyöhyke, exclusive economic zone
EU	Euroopan unioni
FTA	Suomen liikenneviraston merikartoituspalvelu
ICES	Kansainvälinen meritutkimusneuvosto, International Council for the Exploration of the Sea
HELCOM	Itämeren suojelukomissio, Baltic Marine Environment Protection Commission
M	ammusten raivaaminen
NSP	Nord Stream -putkijärjestelmä
NSP2	Nord Stream 2 -putkijärjestelmä
P	paine
$P_0$	vertailupaine
Pa	pascal
PEAK	huippupainetaso, peak pressure level
PTS	pysyvä kuulonalenema, permanent threshold shift
RMS	neliöllinen keskiarvo, root mean square
ROV	kauko-ohjattava laite, remotely operated vehicle
RP	kiviaineksen kasaus, rock placement
SEL	äänialtistustaso, sound exposure level
SEL(cum)	kumulatiivinen äänialtistustaso
SPL	äänenpainetaso, sound pressure level
TTS	tilapäinen kuulonalenema, temporary threshold shift

## 1. JOHDANTO

Kaavaillun Nord Stream 2 -putkijärjestelmän (NSP2) rakentamisesta syntyy vedenalaista ääntä, joka voi vaikuttaa meriympäristöön. Vedenlaisen melun etenemistutkimus ja melun kartoitus tehdään Suomen merialueen läpi kulkevalle putkiosuudelle. Tutkimusten avulla arvioidaan kaavaillun putken mahdollisia vaikutuksia merinisäkkäisiin ja kaloihin. Tutkimukset kuuluvat NSP2-hankkeen ympäristövaikutusten arviointiin.

Vaikutusten arvioinnin menetelmät ja vaikutusten raja-arvot noudattavat Euroopan komission merivesien hyvästä ekologisesta tilasta tekemän päätöksen (2010/477/EU) 11. kuvaajan ohjeita, joissa yleisesti todetaan seuraavaa: "Energian mereen johtaminen, myöskään vedenalainen melu, ei ole tasoltaan sellaista, että se vaikuttaisi haitallisesti meriympäristöön."

## 2. HANKKEEN KUVAUS

NSP2-kaasuputki on Itämeren poikki kulkeva putkijärjestelmä, joka tuo maakaasua Venäjän suurista varannoista suoraan Euroopan unionin (EU) maakaasumarkkinoille. Putkijärjestelmä parantaa EU:n toimitusvarmuutta vastaamalla maakaasun kasvavaan tuontivajeeseen ja kattamalla vuoteen 2020 mennessä ennakoitusti esiintyvät tarve- ja toimitusriskit.

Merenpohjassa kulkevan 1 200 kilometrin pituisen putkiparin toimituskapasiteetti on noin 55 miljardia kuutiometriä kaasua vuodessa. Kaasu siirtyy putkilinjoissa taloudellisesti, luotettavasti ja ympäristöä säästäen. Yksityisesti rahoitettu kahdeksan miljardin euron infrastruktuurihanke vahvistaa maakaasun hankintakykyä EU:ssa. Maakaasu on puhdas polttoaine, jonka hiilidioksidipäästöt ovat vähäiset. Maakaasua tarvitaan, jotta EU pystyy saavuttamaan ympäristöä ja vähähiilisen talouden edistämistä koskevat kunnianhimoiset tavoitteensa.

NSP2-hankkeen pohjana ovat Nord Stream -kaasuputken onnistunut rakentaminen ja toiminta. NSP on jo saanut tunnustusta tiukoista ympäristö- ja turvallisuusstandardeistaan, ympäristöä säästävästä logistiikastaan ja avoimesta kuulemismenettelystään. NSP2-hankkeen kehittäjä on hankeyhtiö Nord Stream 2 AG.

## 3. VEDENALAISEN MELUN LÄHTEET

Putken rakentamisvaiheeseen ja käyttöön Suomessa kuuluu töitä, jotka mahdollisesti aiheuttavat merkittävää vedenalaista melua ja joilla voi olla todellisia melusta johtuvia vaikutuksia kaloihin ja/tai merinisäkkäisiin. Vedenalaista melua aiheuttavia työvaiheet ovat:

- kiviaineksen kasaus
- ammusten raivaaminen
- putken käyttö
- putkenlasku

Työssä käytetyt vedenalaisen melun lähdetasot ja taajuustiedot on kerätty, analysoitu ja korjattu niin, että niitä voidaan soveltaa erikseen määritettyyn toimintoon.

Jokaisen melua aiheuttavan toiminnan aktiivisuusaikea on määritetty niin, että sen perusteella voidaan ennustaa kumulatiiviset, keskimääräiset ja suurimmat mahdolliset melutasot ja laatia niiden perusteella vaikutusaluekartat. Rambollin akustiikka-asiantuntijat ja meribiologit ovat yhdessä määrittäneet sovellettavat vedenalaisen melun parametrit, joilla arvioidaan tiettyihin kala- ja merinisäkkäslajeihin mahdollisesti kohdistuvia vaikutuksia.

### 3.1 Mallinnustoiminnot ja -asemat Suomessa

Vedenalainen melun mallinnus tai seuranta koski NSP-hankkeessa putken laskua ja putkilinjan kaivamista. Tulosten mukaan näiden rakennustöiden melu oli samalla tasolla kuin muusta laivaliikenteestä johtuva taustamelu.

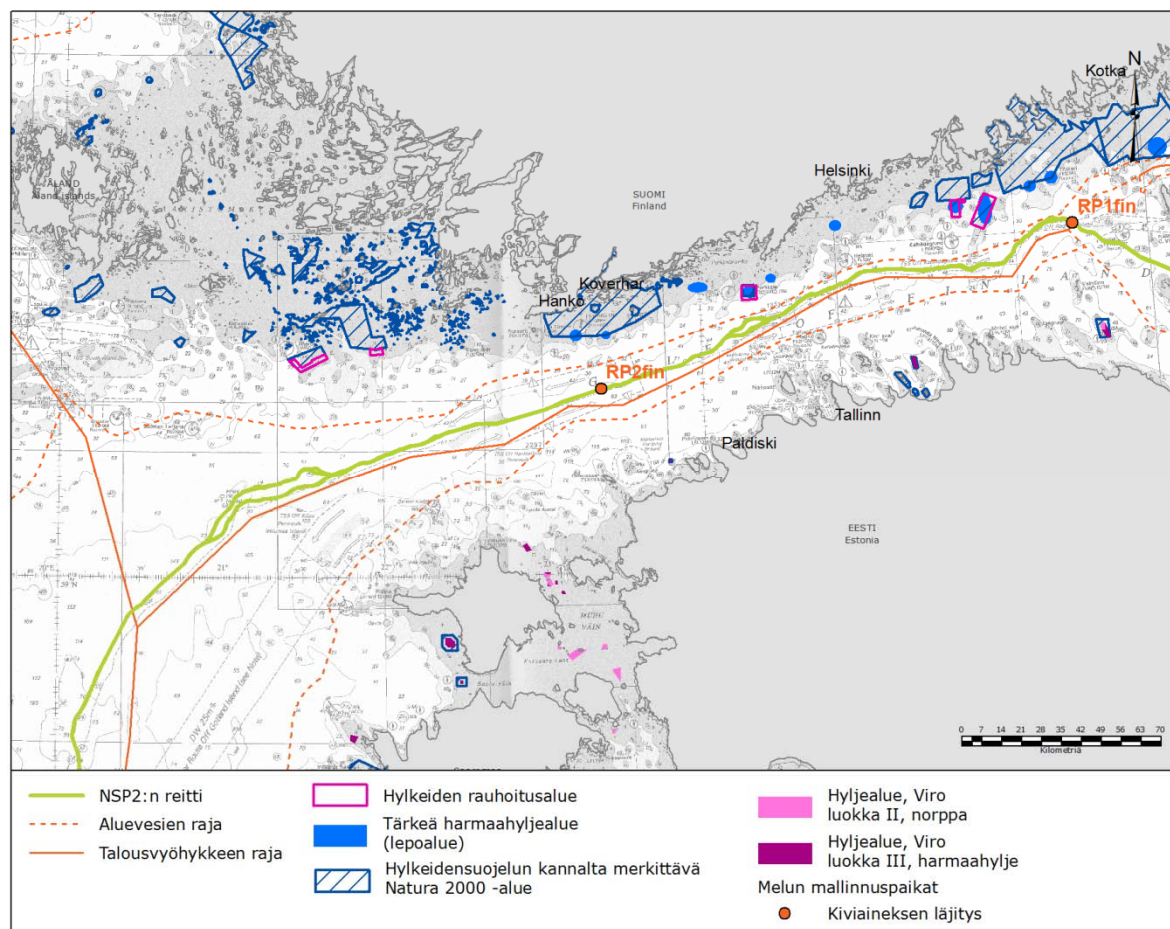
Vedenalaisen melun nykytilan mittauksissa (Luode, 2016), jotka suoritettiin toiminnassa olevan Nord Stream -putken lähistöllä, ei pystytty erottamaan putkesta aiheutuvaa melua Itämerellä Suomen vesillä liikkuvien laivojen aiheuttamasta melusta. Putken toiminnan ei sen vuoksi katsota aiheuttavan merkittävää melua Suomen vesillä.

Tulosten täydentämiseksi laadittiin melumallinnukset NSP2-hanketta varten Suomen talousvyöhykkeellä seuraavissa kohteissa:

- kiviaineksen kasaus kahdessa todennäköisessä kohteessa (katso kuva 3-1 ja taulukko 3-1);
- ammusten raivaaminen neljässä tyypillisessä kohteessa, joissa ammuksia on mahdollisesti raivattava ja jotka sijaitsevat herkkien kohteiden lähellä (katso kuva 3-2 ja taulukko 3-1).

#### 3.1.1 Kiviaineksen kasaus

Kiviainesta kasataan veden alle asennusaluksesta riippuvalla laskuputkella. Kiviaineksen asennusaluksen kantokyky voi olla 24 000 tonnia ja suurin kiviaineksen asennusnopeus 2 000 tonnia tunnissa. Laskuputkialus on tähän tarkoitukseen suunniteltu kiviaineksen kasausalus, jolla pystytään sijoittamaan soraa ja/tai kiviainesta tarkasti ja hallitusti jopa 600 metrin syvyyteen. Aluksessa on laskuputki, jota käytetään aluksen keskellä sijaitsevan kuilun läpi ja jolla aines ohjataan meren pohjaan. Laskuputken päätä ohjataan kauko-ohjattavalla laitteella. Laskuputki koostuu osista, joilla putken pituutta säädellään veden syvyyden mukaan. Kasausalueella laskuputki käynnistetään ja syöttölaiteella ohjataan nopeutta, jolla ainesta puretaan pääkuljetinhihnalle. Hihna kuljettaa aineksen laskuputkeen. Aluksen paikka valitaan differentiaalisella paikannusjärjestelmällä (Differential Global Positioning System, DGPS) ja/tai radiopaikannuksella. Niillä syötetään tietoja aluksen dynaamiseen paikannusjärjestelmään, joka ohjaa kahta pääsäättöpotkuria ja peräsintä, kahta keulapotkuria ja kahta ruoripotkuria.



Kuva 3-1. Melun mallinnuspaikat kiviaineksen kasausta (RP) varten.

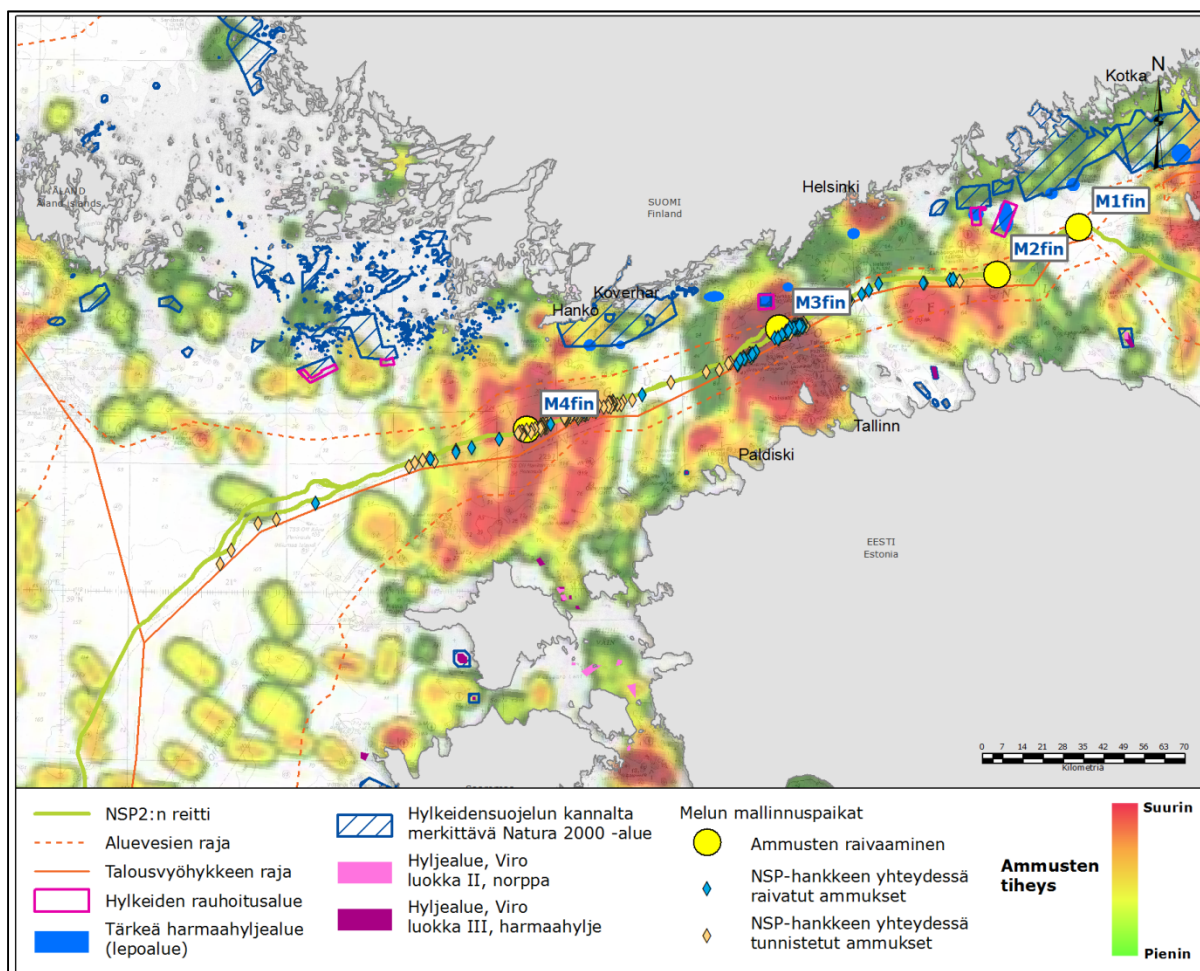
Taulukko 3-1. Syyt kiviaineksen kasauksen melun mallinnuspaikkojen valintaan.

Sijaintipaikat	Kuvaus
RP1 Finland	Suuria kiviainespenkereitä putken risteystä ajatellen; lähellä Venäjän ja Viron rajaa (mahdolliset rajat ylittävät vaikutukset); itämerennorpan kannat itäisellä Suomenlahdella.
RP2 Finland	Suuria kiviainespenkereitä putkien yhdistämistä varten noin kilometrikohdassa KP 300.

### 3.1.2 Ammusten raivaaminen

Ammusten raivaamisen peruserätyksenä on pienen panoksen sijoittaminen ammuksen viereen merenpohjaan käyttämällä kauko-ohjattua vedenalaista työrobotia (ROV). Panos laukaistaan alukselta, joka sijaitsee turvallisen matkan päässä kohteesta. Ammus tuhoutuu räjähdyksessä. Ennen ammuksen raivaamista tehdään raivauslaskelmat, joilla määritetään ammuksen räjäyttämiseen tarvittavan panoksen suuruus. Vaadittava määrä riippuu ammuksen koosta ja muodosta sekä sen sisältämän räjähteen määrästä.

Suomen kohteissa ammusten raivaamisen aiheuttamat äänitasot perustuvat toteutuneeseen suurimpaan ja keskimääräiseen huippupaineeseen; nämä mittaukselliset tiedot kerättiin raivattaessa ammuksia ensimmäisessä Nord Stream -putkihankkeessa (Witteveen+Bos, Nord Stream, Munitions clearance in the Finnish EEZ, 2011).



**Kuva 3-2.** Melun mallinnuspaikat ammuksset raivaamista varten (M1-M4). Ammuksset tiheys ja NSP:n aikana tunnistetut ja raivatut ammuksset on esitetty tässä, koska ne osaltaan vaikuttivat neljän mallinnetun kohteen valintaan (M1-M4).

**Taulukko 3-2.** Syyt ammuksset raivaamisen melun mallinnuspaikkojen valintaan.

Sijaintipaikat	Kuvaus (idästä länteen)
M1 <sub>Finland</sub>	Itämerennorpan kannat itäisellä Suomenlahdella; matalat alueet ja harmaaahyljeelle tärkeät alueet pohjoisessa, lähellä Venäjän ja Viron rajaa: mahdolliset rajat ylittävät vaikutukset
M2 <sub>Finland</sub>	Suuri ammuksset tiheys; Sandkallanin Natura 2000 -alueesta sekä Sandkallanin ja Stora Kolhällanin hylkeiden rauhoitusalueesta etelään
M3 <sub>Finland</sub>	Suuri ammuksset tiheys; lähinnä Kallbådanin hylkeiden rauhoitusalueutta sekä Kallbådanin luodot ja vesialue Natura 2000 -alueutta, jolla suojellaan harmaaahylkeitä
M4 <sub>Finland</sub>	Suuri ammuksset tiheys; BALSAM-tietojen mukaisia norppahavaintoja



## 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 seuraavasti:

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

P on paine ja  $P_0$  on viitepaine. Vedenalaisen äänen viitepaine on 1 mikropascal ( $\mu\text{Pa}$ ), mikä eroaa ilmassa etenevän äänen paineen viitearvosta. Tästä syystä ilmassa ja vedessä mitatut äänenpaineen tasot eivät ole suoraan verrattavissa.

Äänen mittauksen vertailuyksikkönä on yleensä paineen yksikkö pascal, (Pa) koska ääni muodostuu paineen vaihteluista. Yleensä ääntä kuvataan desibelillä (dB). Ilmassa etenevää ääntä kuvattaessa äänen vertailuarvona käytetään matalinta ihmiskorvan erottamaa äänenpainetasoa, joka on 20  $\mu\text{Pa}$ . Vedenalaista ääntä kuvattaessa vertailuyksikkö on 1  $\mu\text{Pa}$ . Äänenpaine, jonka vertailuyksikkönä on 20  $\mu\text{Pa}$ , muunnetaan vertailuyksikköön 1  $\mu\text{Pa}$  kertoimella  $20 \log(20/1)$ . Ensimmäiseen määrään siis lisätään 26 dB. Siten 60 dB vertailuarvona 20  $\mu\text{Pa}$  ilmassa on sama kuin 86 dB vertailuarvona 1  $\mu\text{Pa}$  vedessä. Kaikki vedenalaiset äänenpainetasot ilmaistaan muodossa dB vertailuarvona 1  $\mu\text{Pa}$ . Vedessä äänilähteen voimakkuus määritetään sen äänenpaineen tason perusteella ilmaistuna dB vertailuarvona 1  $\mu\text{Pa}$ , kuvitteellisella 1 metrin etäisyydellä oletetusta äänilähteestä.

Vertailussa käytettävät eri vertailupainetasot hankaloittavat äänen vertailua ilmassa ja vedessä. Lisäksi koska ilman ja veden impedanssit ovat erilaisia, niiden toteutunut tehon virtaus eroaa toisistaan, vaikka paineet olisivatkin yhtenäisiä. Ilman ja veden äänitasojen vertailussa on sen vuoksi noudatettava erityistä huolellisuutta.

Vedenalaiset äänitasot vaihtelevat äänilähteen herätteen ja akustisen ympäristön olosuhteiden mukaan. Äänitasot voidaan määritellä altistuksen sekä keskimääräisen ja/tai suurimman tason mukaan. Seuraavia akustisia parametreja käytetään yleisesti arvioitaessa vedenalaisten äänilähteiden melun vaikutuksia merieliöstöön.

### 4.1 Sovellettavat akustiikkaparametrit

Asiakirjassa käytettävät tärkeimmät termit:

Äänenpainetaso (SPL) – ilmaisee äänen voimakkuuden tietyssä pisteessä desibeleinä (dB) mitattuna. Suhteellisena yksikkönä dB on esitetty vedenalaisissa tutkimuksissa suhteessa 1 mikropascaliin (ilmaistaan dB vertailuarvo 1  $\mu\text{Pa}$ ).

Äänialtistustaso (SEL) – desibelisuure, joka kuvaa, miten paljon energiaa vaikutuskohde (esim. merinisäkäs) on vastaanottanut tapahtumasta; normalisoidaan yhden sekunnin jaksoille

(ilmaistaan dB vertailuarvo  $1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$ ). Äänialtistustasoa voidaan ajatella äänialtistuksen logaritmisena mittana, jolloin äänialtistustason nousu kolmella desibelillä vastaa äänen energian kaksinkertaistumista.

Kumulatiivinen äänialtistus (SEL(cum)) – toiseen potenssiin korotettujen paineiden aikaintegraali äänen tai äänisarjojen aikana. Kumulatiivinen äänialtistus mahdollistaa eripituisten ja -tasoisten äänien kuvaamisen äänienergian kokonaismääränä (ilmaistaan dB vertailuarvo  $1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$ ).

Huippupainetaso (PEAK) – äänenpaine nollasta huippuun tiettyä ajankohtana.

Neliöllinen keskiarvo (RMS) – äänenpaine keskiarvotettuna tietyltä ajalta.

Pulssi/impulssiääni – katkonainen äänilähde, johon sisältyy yksi tai useampia hetkellisiä ääniä, esimerkiksi ammusten raivaamisen aikana.

Jatkuva ääni – äänilähde, esimerkiksi laivan moottori, tai humina, kuten putken toiminnan aiheuttama ääni.

RMS SPL on yleisesti käytetty tapa arvioida jatkuvien äänilähteiden vaikutuksia. RMS-äänenpaineen taso tai SPL ilmaisevat paineen neliöllisen keskiarvon impulssin sisältävällä ajanjaksolla.

#### 4.2 Vedenalaisten äänilähteiden tasot

Melutasot ja taajuusspektrit on arvioitu potentiaalisille merkittäviä vedenalaisen melun vaikutuksia aiheuttaville äänilähteille olemassa olevien vedenalaisen melun mittausten, äänilähdetietojen ja NSP:n tutkimusten perusteella.

Jotta kiviaineksen kasaukselle saadaan äänen etenemisen mallinnuksessa samanarvoinen äänilähteen melutaso 1 metrin etäisyydellä lähteestä, painekenttä takaisinpropagoitiin sylinterimäisen/puolipallomaisen leviämismallin eli  $15 \cdot \log(r)$  mukaan. Takaisinpropagointivaiheen tarkoituksena on määrittää 1 m etäisyydellä tehollinen konservatiivinen äänilähteen melutaso, jota käytetään äänen etenemisen mallissa.

Ammusten raivaamista varten suoritettiin tarkempi, yksityiskohtainen äänilähteen melutason takaisinpropagointilaskenta NSP-hankkeesta saatua todellista, mitattua huippupainedataa käyttäen. Tämä menetelmä sisältää paikkakohtaiset merenpohjan olosuhteet, todellisen mittauspaike (etäisyys, syvyys) ja sovellettavat vuodenaikakohtaiset vesipatjan tiedot. Takaisinpropagointivaiheen tarkoituksena on määrittää tarkempi äänilähteen melutaso 1 metrin etäisyydellä, mitä käytetään äänen etenemisen mallissa.

## 5. VEDENALAISEN MELUN ETENEMISEN MALLI

Vedenalaisen melun etenemisen malli laskee vedenalaisen melun äänilähteiden luoman äänikentän estimaatit. Mallinnuksen tuloksilla määritetään potentiaaliset vaikutusetäisyydet (melukartat/ääriviivat) 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 tasoitusmenetelmä, [ $\leq 500$  Hz], Jensen 2011 ja säteen jäljitys [ $> 500$  Hz]). Äänen etenemisen mallinnuksessa käytetään tietyille maantieteelliselle alueelle sopivia akustiikkaparametreja mukaan luettuina vesipatjan oletettu äänennopeusprofiili, syvyysolosuhteet ja pohjan geoakustiset ominaisuudet. Niiden avulla tuotetaan paikkakohtaiset estimaatit äänikentän leviämislle etäisyyden ja syvyyden funktiona. Akustisen mallin avulla ennustetaan lähteen sijainnin ja vastaanottajan sijainnin välinen suunnasta riippuva siirtovaimennus. Vastaanottotaso missä tahansa kolmiulotteisessa paikassa lähteen ulkopuolella lasketaan yhdistämällä äänilähteen melutaso ja siirtovaimennus, jotka kumpikin ovat suunnasta riippuvia. Äänen siirtovaimennus veden alla ja vastaanotetut melutasot veden alla ovat syvyyden, etäisyyden, suuntauksen ja ympäristöominaisuuksien funktio. Saatujen arvojen avulla voidaan laskea tai arvioida turvallisuuskriteerit siten, että huomioidaan taajuusriippuvaiset merinisäkkäiden kuulovalmiudet.

Vedenalaisen äänilähteiden tasot syötetään vedenalaisen melun etenemisen ohjelmaan, joka laskee äänikentän etäisyyden, syvyyden ja äänilähteen suunnan funktiona.

Mallissa oletetaan, että lähtevä energia on voimakkaampaa kuin sironnut energia, ja lasketaan ratkaisu lähtevän aallon tasoitukselle. 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 poispäin lähteestä).

Veden alla tutkimusalueella vastaanotetut melutasot lasketaan 1/1-oktaavin kaistan äänilähteen melutasoista. Laskutoimituksessa vähennetään numeerisesti mallinnettu siirtovaimennus kussakin 1/1-oktaavin kaistan keskitaajuudessa ja lasketaan yhteen kaikki taajuudet. Näin saadaan laajakaistainen arvo. Tätä tutkimusta varten siirtovaimennus ja vastaanotetut melutasot mallinnettiin 1/1-oktaavin taajuusalueille välillä 10–3000 Hz. Koska tässä tutkimuksessa käsitellyt vedenalaisen melun lähteet ovat etupäässä matalataajuuslähteitä, riittää tämä taajuusalue esittämään kaiken oleellisen energiatehon. Vastaanotetut melutasot konvertoidaan kaikille soveltuville vedenalaisen melun akustiikkaparametreille.

Syvyysolosuhteiden tiedot toimitti Suomen liikenneviraston merikartoituspalvelu. Tiedoissa käytetään vaihtelevaa, 500–1000 metrin horisontaalista resoluutiota.

Vesipatjan tiedot (suolapitoisuus, lämpötila, vedenalaisen äänen nopeus/syvyys) saatiin International Council for the Exploration of the Sea (ICES) -järjestön HELCOM-kohtaisilta mittausasemilta, jotka sijaitsevat valittujen mallinnuspaikkojen lähellä.

Tiedot merenpohjan olosuhteista (hiekkä, savi / syvyys) saatiin NSP-hankkeen geologisista tutkimustiedoista alueilta, jotka sijaitsevat mallinnuspaikkojen lähellä.

Vesipatjan olosuhteille sekä talvella (joulukuu–maaliskuu) että kesällä (heinäkuu–syyskuu) on tehty ennusteet, joissa kussakin on erilaiset vedenalaisen äänen etenemisen ominaisuudet ja joissa on esitetty vedenalaisen melun suurin taso koko meren syvyydeltä.

Äänen etenemisen mallissa käytetään malliskenaarioita (Peak, RMS, SEL, SELcumulative [kaksi tuntia]), lähteen tasoja, toiminnan aikaa ja ympäristöparametreja, joista laaditaan 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:

Kiviaineksen kasaus:

- SELcum, kumulatiivinen äänialtistuksen taso (lineaarinen), dB vertailuarvo 1  $\mu\text{Pa}^2\text{s}$  (2 tunnin jakso)

Ammusten raivaaminen:

- SEL, yhden tapahtuman äänialtistuksen taso (lineaarinen), dB vertailuarvo 1  $\mu\text{Pa}^2\text{s}$  (1 tapahtuma)

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.

Ammusten raivaamisen äänilähteiden tasot perustuvat mittauksiin Nord Stream 1 -hankkeen ammusten raivaamisesta. Sen vuoksi niihin kuuluu tietoja myös osittain hautautuneiden miinojen vaikutuksista.

## 6. VEDENALAISEN MELUN VAIKUTUSTEN ARVIOINTI

Äänilähteiden äänialtistuksen tasot ja niiden vaikutusalueet voidaan käsittää suuntaa-antaviksi varovaisuusperiaatteen mukaisiksi vaihteluväleiksi. Jatkuvia melunlähteitä kuten kiviaineksen kasausta arvioitaessa on huomattava, että merinisäkkäät tai kalat tuskin pysyvät paikallaan tai tietyllä säteellä aluksesta (tai muustakaan melunlähteestä). Vahingoittumisalueet on sen vuoksi ymmärrettävä pahimpana kuviteltavissa olevana vaihtoehtona. Kun otetaan huomioon varovaisuusperiaatteen mukaiset, vahingoittumisperusteista johdetut oletukset sekä kumulatiivisen äänialtistuksen tason (SELCum) arvoista johtuva äänialtistuksen mahdollinen yliarviointi, voidaan todeta, että tässä raportissa arvioituja vahingoittumisalueita on pidettävä realistisena oletuksena arvioitaessa kahden tunnin altistusta jatkuville melunlähteille.

### 6.1 Kalat

Kaloihin kohdistuvat vaikutukset keskittyvät fyysisiin vaurioihin ja käyttäytymisen muutoksiin. Kalojen käyttäytymistä niiden reagoiessa meluun ymmärretään toistaiseksi heikosti. Äänenpainet tasot, jotka saattavat pelottaa joitakin lajeja, voivat houkutelaa toisia.

Kalojen kuuloelinten fyysikaaliset vahingot johtavat harvoin havaintokynnyksen (pysyvä kuulonalenema) pysyviin muutoksiin, koska aistihavaintoihin liittyvä epiteelikudos uusiutuu ajan myötä (Smith et al. 2006, Song et al 2008). Tilapäistä kuulon menetystä (tilapäinen kuulonalenema) voi esiintyä (Popper et al 2006). Tärkeitä kuuloa heikentäviä tekijöitä ovat äänen voimakkuus eli intensiteetti, taajuus, altistuksen kesto ja palautumisen kesto.

Tutkimusalueelle merkityksellisten lajien kuulosta on vain vähän tietoa. Atlantin turska ja Atlantin silakka on sen takia otettu malliksi muille kalalajeille (Halvorsen et al 2011).

Kaloihin kohdistuvien vaikutusten kynnysraja-arvot ovat valinneet Rambollin meribiologit perustuen tutkimukseen "Popper, ASA S3/SC1.4 TR-2014, Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles". Raja-arvot on esitetty kappaleessa 6.3.

### 6.2 Merinisäkkäät

Melun vaikutukset merinisäkkäisiin voidaan yleisesti ottaen jakaa neljään laajaan ryhmään, joihin lähinnä vaikuttaa yksilön etäisyys äänilähteestä:

- Havaitseminen
- Peittäminen
- Käyttäytymisen muutokset
- Fysikaaliset vahingot

Vaikutusalueiden rajat eivät ole tarkkoja, ja alueilla on suuria päällekkäisyyksiä. Ryhmät on esitelty alla perustuen tutkimukseen Southhall et al 2007.

Havaitsemisetäisyydet riippuvat taustamelun tasoista ja eläimen kuulokynnyksestä.

Peittäminen on vaikutus, jossa toistuva tai pitkä-aikainen vedenalainen ääni peittää esimerkiksi viestinnän yksilöiden välillä. Peittämistä ei pidetä ongelmana ammusten raivaamisessa.

Käyttäytymisen muutosten arvioiminen on vaikeaa. Muutokset vaihtelevat hyvin voimakkaista reaktioista, kuten paniikista tai pakenemisesta, maltillisempiin reaktioihin, joissa eläin voi kääntyä ääntä kohti tai liikkua hitaasti siitä pois päin. Eläimen reaktio voi kuitenkin vaihdella merkittävästi kauden, käyttäytymistilan, iän ja sukupuolen sekä käyttäytymisen muutoksia aiheuttavan äänen voimakkuuden, taajuuden ja aikarakenteen mukaan (Southhall et al 2007).

Merinisäkkäiden fysikaaliset vahingot liittyvät kuuloelinten vaurioihin. Kuuloelinten fysikaalinen vaurioituminen voi johtaa eläimen kuulokynnyksen pysyviin muutoksiin (pysyvä kuulonalenema). Sen voivat aiheuttaa sisäkorvan aistinsolujen tuhoutuminen tai aistinsolujen, tukisolujen tai jopa äänihermojen solujen aineenvaihdunnan hidastuminen. Kuulon menetys on yleensä vain tilapäinen (tilapäinen kuulonalenema), ja eläimen havaitsemiskyvyt palautuvat ennalleen palautumisjakson päätteeksi. Tärkeitä kuuloa pysyvästi tai tilapäisesti heikentäviä tekijöitä ovat äänen voimakkuus eli intensiteetti, taajuus, altistuksen kesto ja palautumisjakson kesto.

### 6.3 Merinisäkkäitä ja kaloja koskevat kriteerit

Taulukoissa 6-1 ja 6-2 on esitetty yhteenveto kynnyksarvoista, joilla arvioidaan merinisäkkäisiin ja kaloihin kohdistuvia vaikutuksia. Eri vaikutuksilla, esimerkiksi pysyvä (PTS) tai tilapäinen (TTS) kuulonalenema, on omat kynnyksarvonsa.

Vaikutuksen aiheuttavat kynnyksarvot perustuvat saatavissa olevien tietojen arviointiin. Arvot on koottu uusimmasta tieteellisestä kirjallisuudesta (HELCOM Assessing the Impact of Underwater Clearance of Unexploded Ordnance on Harbour Porpoises in the Southern North Sea, Sveegaard, Teilmann and Tougaard, Marine mammals in the Baltic Sea in relation to NSP2 – Environmental Impact Assessment, DCE/Institute for Bioscience, 2016).

**Taulukko 6-1. Hankkeen meribiologien suosittelemat kynnyksarvot pysyvän tai tilapäisen kuulonaleneman aiheutumiseen merinisäkkäillä ammusten raivaamisen ja kiviaineksen kasauksen seurauksena. Kaikki tasot ovat painottamattomia SEL-arvoja.**

Melun lähde	Laji	TTS (dB vertailuarvo 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s SEL cum}$ )	PTS (dB vertailuarvo 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s SEL cum}$ )
kiviaineksen kasaus	Harmaahylje ja norppa	188	200
kiviaineksen kasaus	Pyöriäiset	188	203
Ammusten raivaaminen	Harmaahylje ja norppa	164	179
Ammusten raivaaminen	Pyöriäiset	164	179

Kaikki tasot ovat laajakaistaisia, painottamattomia melun altistustasoja (dB vertailuarvo 1  $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ ). Kiviaineksen kasauksen melun oletetaan kumuloituvan sen ajanjakson ajan, jonka eläin todennäköisesti varovaisuusperiaatteen mukaisen arvion mukaan viettää melunlähteen lähistöllä.

**Taulukko 6-2. Hankkeen meribiologien suosittelemat kynnysarvot kaloille (perustuu tutkimukseen Popper 2014).**

	<b>Ammusten raivaaminen</b>	
		<b>Arvioinnin tasot</b>
<b>Merieläinryhmä</b>		<b>SEL(Cum*)</b>
	<b>Vaikutus</b>	<b>dB vertailuarvo 1<math>\mu</math>Pa<sup>2</sup>s</b>
Kalat	Kuolleisuus (kuolemaan johtava vamma)	207 dB (229–234 dB peak)
	Vamma	203 dB

\* Kumulatiivinen SEL (1 tapahtuma)

## 7. VEDENALAISEN MELUN ETENEMISEN MALLIN TULOKSET

Vedenlaisen äänen etenemisen malliin syötettiin seuraavat parametrit.

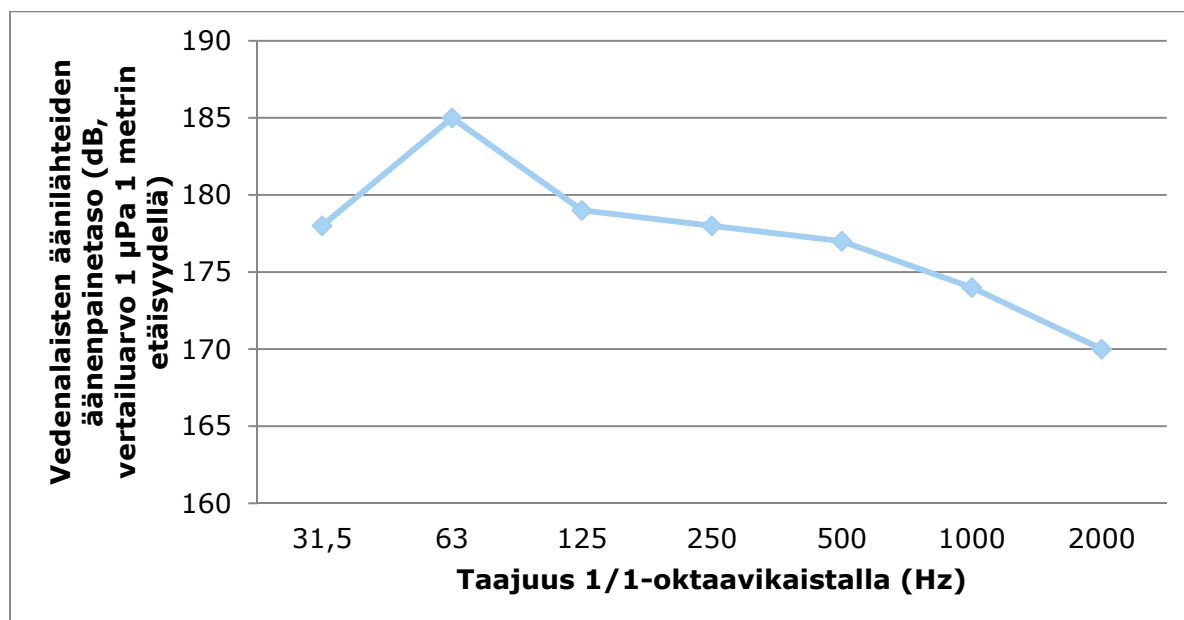
### 7.1 Kiviaineksen kasauksesta aiheutuvan melun tasot ja äänispektri

Melun mittaustiedot (Nedwell, 2004, Wyatt 2008) osoittavat, että kiviaineksen kasauksen aiheuttama pääasiallinen vedenalainen melu johtuu pinnalla suoritettavista toiminnoista (laivan moottorit, potkurit, kuljettimet, kiviaineksen kaataminen) eikä niinkään kiviaineksen sijoittamisesta merenpohjaan. Hankkeen aluksen/alusten melupäästöt on määritetty yleisesti saatavana olevan tiedon pohjalta. Taulukossa on tehty +3 dB korjaus RMS-äänenpaineen tasoon äänen todennäköisen huippupainetason arvioimiseksi. Kunkin äänilähteen SEL-arvot on estimoitu kahden tunnin jatkuvan käytön perusteella. Alusten lähdemelutasot riippuvat aluksen koosta ja nopeudesta, potkurien mallista ja muista tekijöistä. Melun voimakkuus ja luonne voi vaihdella paljonkin jopa saman luokan alusten välillä. Hankkeen lähdetiedot perustuvat sen vuoksi lähinnä pahimpiin kuviteltavissa oleviin tilanteisiin (esim. melutietoja on sovellettu asteikon yläpäästä alusluokan korvaavissa indikaattoreissa).

Taulukko 7-1. Jatkuva rakennustyö.

Toiminto	Äänilähteen painetaso 1 m etäisyydellä	SEL, dB vertailuarvo 1 $\mu$ Pa <sup>2</sup> s
	RMS, dB vertailuarvo 1 $\mu$ Pa	
Kiviaineksen kasaus (dynaaminen sijoitus) Wyatt 2008	188	226 (Kumulatiivinen 2 h)

### Kiviaineksen kasauksesta aiheutuvan melun äänispektri



Kuva 7-1. Kiviaineksen kasauksesta aiheutuvan melun äänispektri (Wyatt 2008).

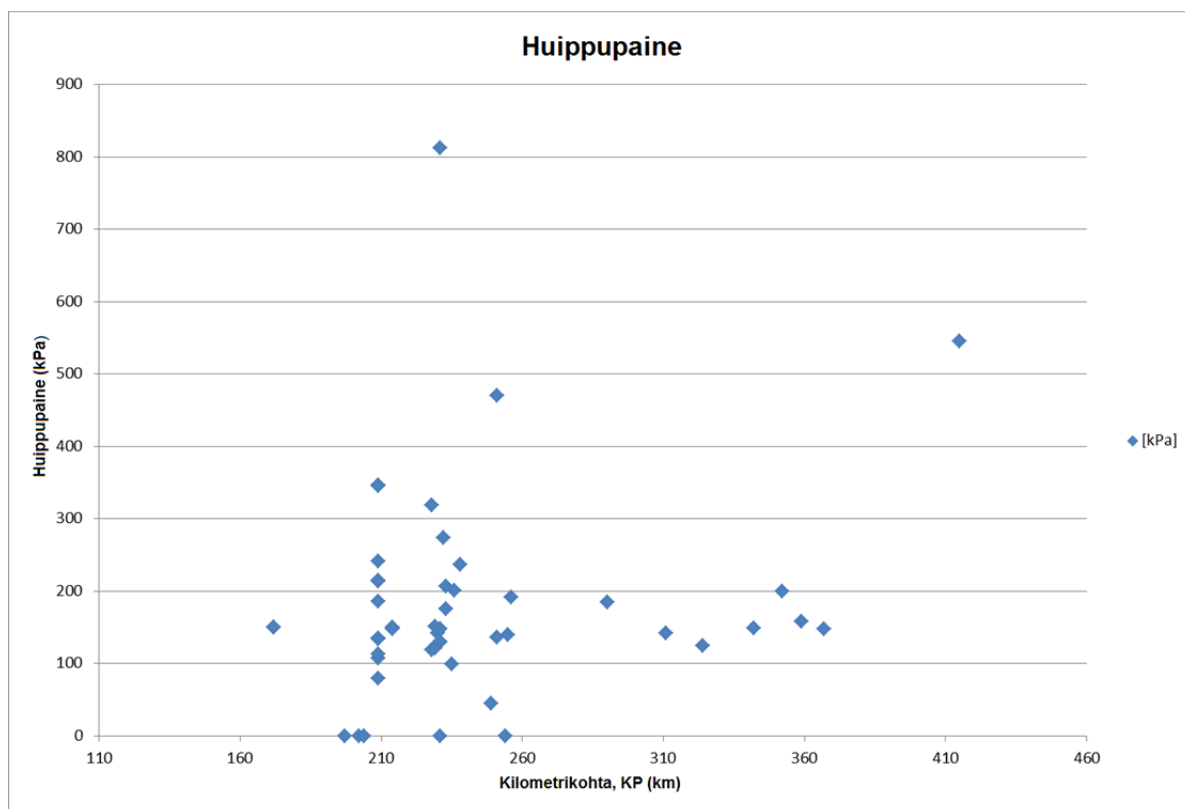
### 7.2 Ammusten raivaamisen äänilähteiden tasot ja taajuusalue

Suomen kohteissa ammusten raivaamisen aiheuttamat äänitasot perustuvat toteutuneeseen suurimpaan ja keskimääräiseen huippupaineeseen, jonka mittaustiedot kerättiin raivatessa ammuksia NSP-hankkeessa (Nord Stream, Munitions clearance in the Finnish EEZ, 2011).



Mitattujen tietojen tarkastelu osoitti, että ammusten yhdistetyn räjähdysaineen paino, raivaamiseen käytetyn räjähdysaineen paino ja aiheutunut huippupaine eivät ole suoraan verrannollisia keskenään. Puuttuva korrelaatio ammusten räjähdysaineen painon ja mitatun huippupaineen välillä johtuu oletettavasti siitä, että kussakin tapauksessa ammus tuhoutuu täydellisesti, vaikka se ei räjähdä kokonaan.

Seuraavassa kuvassa on näytetty ammusten raivaamisesta johtuneet mitatut huippupainetasot NSP-hankkeen aikana suhteessa putkeen.



**Kuva 7-2. NSP-hankkeen aikaisen ammusten raivaamisen aikana mitatun huippupaineen mittaustiedot (Nord Stream, Munitions clearance in the Finnish EEZ, 2011).**

Kaikki ammusten raivaamisen aikana mitatut huippupainetiedot jaettiin neljälle Suomen alueella sijaitsevalle putken osalle, ja kunkin mallinnuspaikan ympärille. Kustakin osasta käytettiin suurinta ja keskimääräistä mittaustulosta ammusten raivaamisen aiheuttaman vedenalaisten äänilähteiden melutasojen laskemiseen kussakin mallinnuskohteessa (katso taulukko 7-2).

**Taulukko 7-2. NSP-hankkeessa raivattujen ammusten lukumäärä jaettuna M1-M4-osilla (suoritettu keväällä).**

Osa	NSP-hankkeessa raivattujen ammusten lukumäärä (putken kilometrikohdat, KP)	NSP-hankkeen ammusten raivaamisen aikana kerätty keskimääräinen mitattu huippupainetieto, mittauksen etäisyys ja syvyys	NSP-hankkeen ammusten raivaamisen aikana kerätty suurin mitattu huippupainetieto, etäisyys ja syvyys
M1 <sub>Finland</sub>	2 (KP110-175)	150 KPa 300 metrin etäisyys 20 metrin syvyys	150 KPa 300 metrin etäisyys 20 metrin syvyys
M2 <sub>Finland</sub>	20 (KP175-230)	187 KPa 300 metrin etäisyys 34 metrin syvyys	346 KPa 356 metrin etäisyys 37 metrin syvyys
M3 <sub>Finland</sub>	20 (KP230-260)	213 KPa 338 metrin etäisyys 39 metrin syvyys	812 KPa 338 metrin etäisyys 33 metrin syvyys
M4 <sub>Finland</sub>	8 (KP260-415)	206 KPa 300 metrin etäisyys 67 metrin syvyys	545 KPa 297 metrin etäisyys 98 metrin syvyys

Yksityiskohtainen äänilähteen melutason takaisinpropagointilaskenta (dBSEA) suoritettiin NSP-hankkeesta saatua todellista, mitattua huippupainetietoa käyttäen. Tämä menetelmä sisälsi paikkakohtaiset merenpohjan olosuhteet, todellisen mittaustaikana (etäisyys, syvyys) ja sovellettavat vuodenaikakohtaiset vesipatjan tiedot. Takaisinpropagointivaiheen tarkoituksena on määrittää tarkempi äänilähteen melutaso 1 m etäisyydellä, mitä käytetään äänen etenemisen mallissa.

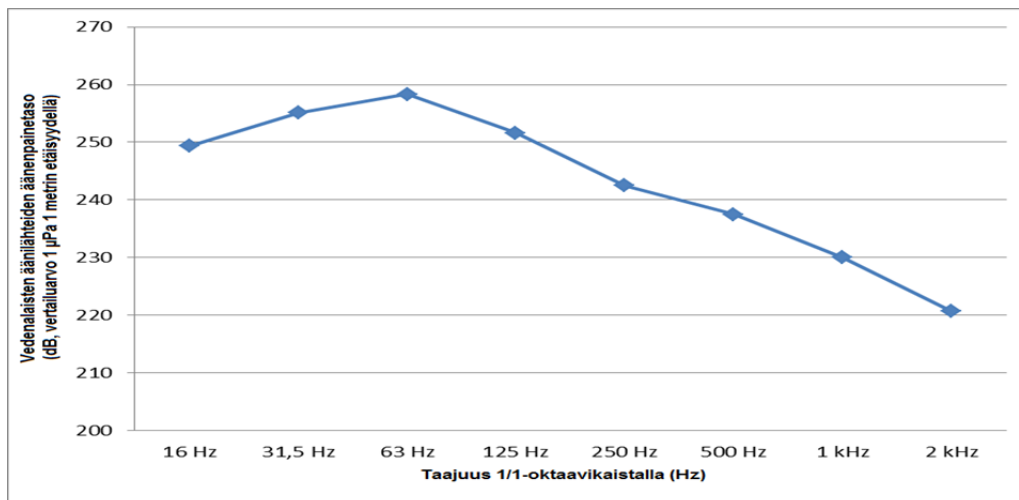
Menetelmä perustuu toteutuneeseen mitattuun tietoon, ja sen voi olettaa kuvaavan todellista keskimääräistä ja pahinta kuviteltavissa olevaa tilannetta kussakin mallinnuspaikassa.

**Taulukko 7-3. Ammusten raivaamisen äänilähteiden kokonaismelutasot (dB SEL, 1 metrin etäisyydellä).**

Paikka/alue		Äänilähde SEL, dB vertailuarvo 1µPa <sup>2</sup> -sec. 1 metrin etäisyydellä
M1 <sub>Finland</sub>	Suurin	238
M1 <sub>Finland</sub>	Ka	238
M2 <sub>Finland</sub>	Suurin	243
M2 <sub>Finland</sub>	Ka	238
M3 <sub>Finland</sub>	Suurin	255
M3 <sub>Finland</sub>	Kesk.	241
M4 <sub>Finland</sub>	Suurin	252
M4 <sub>Finland</sub>	Ka	246

Nämä äänilähteiden tasot on syötetty malliin (neljä paikkaa, talvi, kesä, suurin [suurin], keskiarvo [ka]).

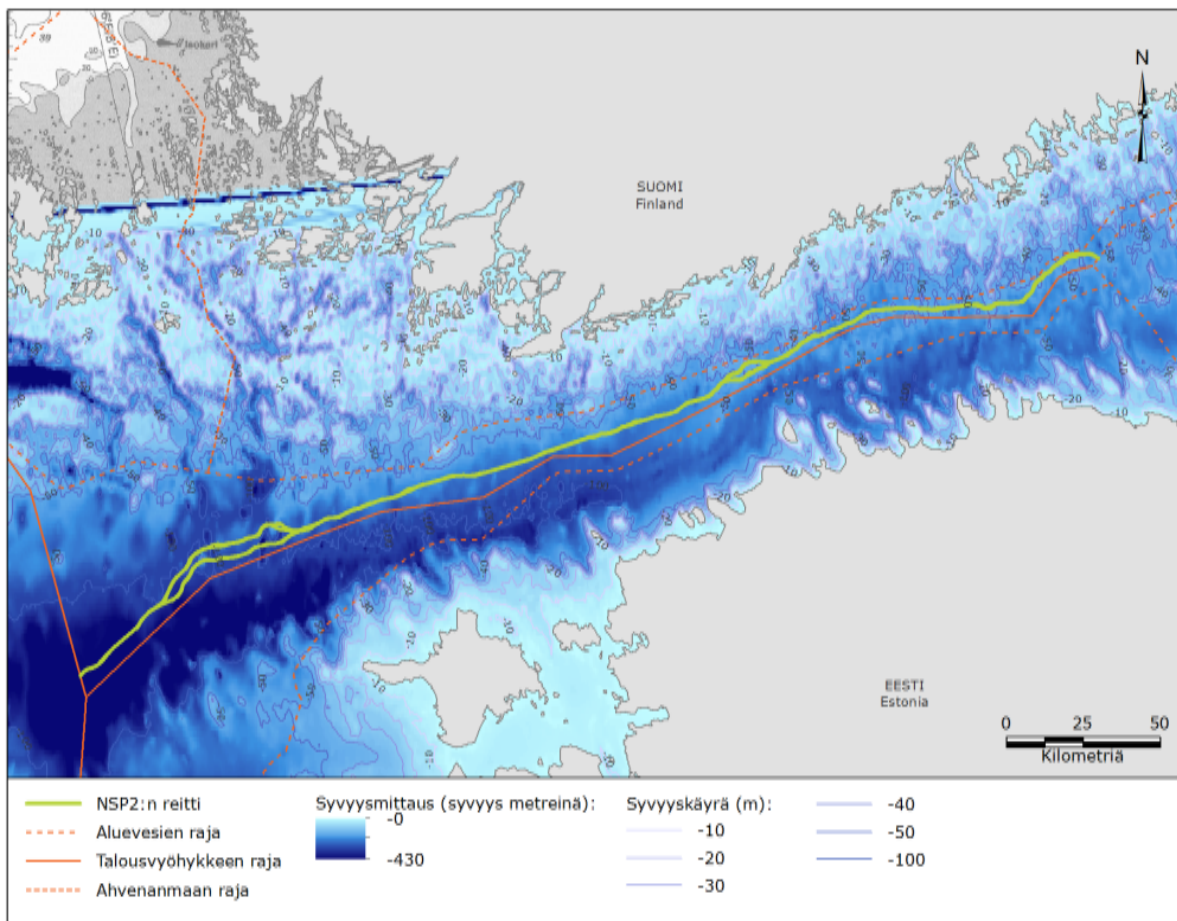
### Ammusten äänilähteiden taajuusalue



Kuva 7-3. Ammusten raivaamisen aiheuttaman melun äänispektri (Maxon, Nuuk measurements 2015).

### 7.3 Syvyysolosuhteet

Merenpohjan profiili on tärkeä parametri, joka vaikuttaa vedenalaisen äänen etenemiseen. Yksityiskohtaiset tiedot syvyysolosuhteista ovat sen vuoksi ehdottoman tarpeen tarkan mallin laatimista varten. Suomen liikennevirasto toimitti kaikki tutkimusalueen syvyysolosuhteita koskevat tiedot.



Kuva 7-4. Syvyysolosuhteet Nord Stream 2 -putkilinjan Suomen osuudella.

#### 7.4 Geoakustiset ominaisuudet

Tietoja merenpohjasta saatiin NSP-hankkeen geologisesta tutkimuksesta alueilta, jotka ovat lähellä mallinnuspaikkoja; näitä käytettiin mallinnuksessa. Taulukot 7-4 – 7-8 esittävät mallinnukseen otetut kerrokset ja niiden tärkeimmät parametrit. Suomenlahden merenpohjan olosuhteet vaihtelevat. Tutkimustulokset perustuvat kunkin alueen keskimääräisiin olosuhteisiin ja niiden katsotaan olevan konservatiivisia suhteessa vedenalaisen äänen etenemiseen.

**Taulukko 7-4. Yleiskuva mallinnuksessa käytetystä merenpohjan geoakustisesta profiilista paikassa M1<sub>Finland</sub> RP1<sub>Finland</sub> ( $C_p$  = puristusaallon nopeus,  $\alpha$  = puristusvaimennus).**

Merenpohjan kerros (m)	Aines	Geoakustinen ominaisuus
0–3 metriä	Erittäin pehmeä savi	$C_p = 1700$ m/s $\alpha = 1$ dB/ $\lambda$
3–11 metriä	Savi ja karkea sedimentti	$C_p = 1500$ m/s $\alpha = 0,2$ dB/ $\lambda$
11 – metriä	Kallioperä	$C_p = 5250$ m/s $\alpha = 0,1$ dB/ $\lambda$

**Taulukko 7-5. Yleiskuva mallinnuksessa käytetystä merenpohjan geoakustisesta profiilista paikassa M1<sub>Finland</sub> RP1<sub>Finland</sub> ( $C_p$  = puristusaallon nopeus,  $\alpha$  = puristusvaimennus).**

Merenpohjan kerros (m)	Aines	Geoakustinen ominaisuus
0–3 metriä	Erittäin pehmeä savi	$C_p = 1700$ m/s $\alpha = 1$ dB/ $\lambda$
3–6 metriä	Savi ja karkea sedimentti	$C_p = 1500$ m/s $\alpha = 0,2$ dB/ $\lambda$
6 – metriä	Kallioperä	$C_p = 5250$ m/s $\alpha = 0,1$ dB/ $\lambda$

**Taulukko 7-6. Yleiskuva mallinnuksessa käytetystä merenpohjan geoakustisesta profiilista paikassa M2<sub>Finland</sub> ( $C_p$  = puristusaallon nopeus,  $\alpha$  = puristusvaimennus).**

Merenpohjan kerros (m)	Aines	Geoakustinen ominaisuus
0–1 metriä	Erittäin pehmeä savi	$C_p = 1700$ m/s $\alpha = 1$ dB/ $\lambda$
1–3 metriä	Savi ja karkea sedimentti	$C_p = 1500$ m/s $\alpha = 0,2$ dB/ $\lambda$
3 – metriä	Kallioperä	$C_p = 5250$ m/s $\alpha = 0,1$ dB/ $\lambda$

**Taulukko 7-7. Yleiskuva mallinnuksessa käytetystä merenpohjan geoakustisesta profiilista paikassa M3<sub>Finland</sub> ( $C_p$  = puristusaallon nopeus,  $\alpha$  = puristusvaimennus).**

Merenpohjan kerros (m)	Aines	Geoakustinen ominaisuus
0-2 metriä	Erittäin pehmeä savi	$C_p = 1700$ m/s $\alpha = 1$ dB/ $\lambda$
2-10 metriä	Savi ja karkea sedimentti	$C_p = 1500$ m/s $\alpha = 0,2$ dB/ $\lambda$
10 - metriä	Kallioperä	$C_p = 5250$ m/s $\alpha = 0,1$ dB/ $\lambda$

**Taulukko 7-8. Yleiskuva mallinnuksessa käytetystä merenpohjan geoakustisesta profiilista paikassa M4<sub>Finland</sub> ( $C_p$  = puristusaallon nopeus,  $\alpha$  = puristusvaimennus).**

Merenpohjan kerros (m)	Aines	Geoakustinen ominaisuus
0-4 metriä	Erittäin pehmeä savi	$C_p = 1700$ m/s $\alpha = 1$ dB/ $\lambda$
4-14 metriä	Savi ja karkea sedimentti	$C_p = 1500$ m/s $\alpha = 0,2$ dB/ $\lambda$
14 - metriä	Kallioperä	$C_p = 5250$ m/s $\alpha = 0,1$ dB/ $\lambda$

## 7.5 Äänennopeusprofiilit

Vesipatjan tiedot (suolapitoisuus, lämpötila/syvyys) saatiin ICES-järjestön HELCOM-kohtaisilta mittausasemilta, jotka sijaitsevat valittujen mallinnuspaikkojen lähellä. Tietojen avulla laskettiin mallinnuspaikkojen äänen nopeuden profiili, ja ne syötettiin vedenalaiseen äänen etenemisen malliin.

Vesipatjan olosuhteille tehdään ennusteet sekä talvea (joulukuu–maaliskuu) että kesää varten (heinäkuu–syyskuu). Kussakin on erilaiset vedenalaisen äänen etenemisen ominaisuudet.

Taulukko 7-9. Äänen nopeuden profiilitiedot.

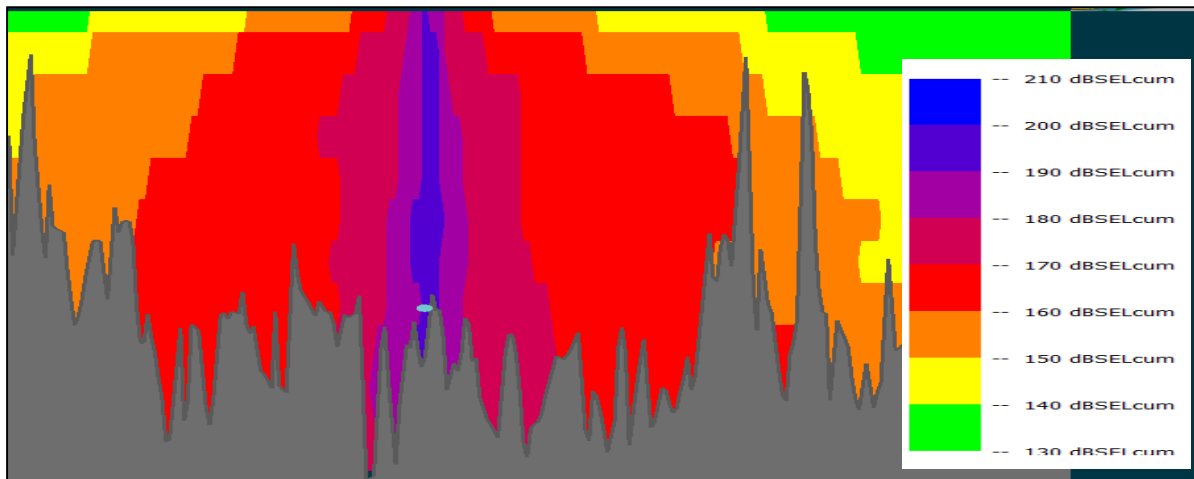
Syvyys (m)	M1, RP1 <sub>fin</sub> Äänen nopeus talvella m/s	M1, RP2 <sub>Fin</sub> Äänen nopeus kesällä m/s	M2 <sub>Fin</sub> Äänen nopeus talvella m/s	M2 <sub>Fin</sub> Äänen nopeus kesällä m/s	M3 <sub>Fin</sub> Äänen nopeus talvella m/s	M3 <sub>Fin</sub> Äänen nopeus kesällä m/s	M4 <sub>Fin</sub> Äänen nopeus talvella m/s	M4 <sub>Fin</sub> Äänen nopeus kesällä m/s	RP2 <sub>Fin</sub> Äänen nopeus talvella m/s	R2 <sub>Fin</sub> Äänen nopeus kesällä m/s
0	1430	1480	1427	1460	1428	1475	1422	1480	1435	1475
10	1423	1460	1428	1450	1428	1460	1423	1470	1435	1463
20	1421	1448	1429	1438	1428	1445	1424	1450	1435	1450
30	1420	1436	1430	1430	1428	1435	1425	1440	1435	1438
40	1422	1427	1431	1425	1429	1430	1426	1433	1435	1428
50	1425	1423	1432	1423	1430	1428	1428	1428	1435	1423
60	1428	1425	1433	1425	1430	1428	1430	1428	1435	1425
70	1433	1435	1433	1433	1431	1429	1432	1430	1435	1433
80	1435	1435	1433	1434	1433	1430	1435	1432	1435	1435
90	1435	1435	1433	1434	1434	1435	1440	1435	1435	1435
100	1435	1435	1433	1434	1435	1435	1440	1435	1435	1435

## 8. VEDENALAISEN MELUN MALLINNUKSEN TULOKSET

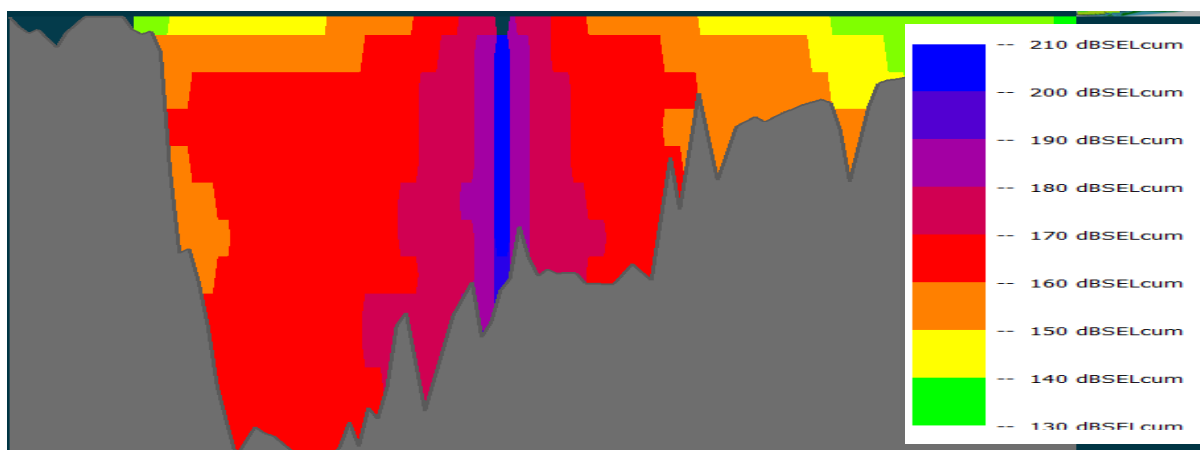
Tässä esitetään mallinnuksen tulokset eri etäisyyksillä toiminnoista vaikutusten arviointia varten. Tulokset sisältävät profiilikaavioita (alueista) suhteessa vaikutuksen kynnyksiarvoihin.

### 8.1 Äänen etenemisen mallin skenaariot

Äänen etenemisen mallissa käytettiin edellisissä kappaleissa kuvattuja malliskenaarioita, melunlähteen tasoja ja ympäristöparametreja. Seuraavat kuvat (8-1, 8-2) ovat esimerkkejä pystysuuntaisista poikkileikkauskaavioista, joissa kuvataan kiviaineksen kasauksen ja ammusten raivaamisen aiheuttaman vedenalaisen melun etenemistä. Kuvissa näkyy tasojen vaihtelu merenpinnasta merenpohjaan. Arvioidut etäisyydet kynnyksiarvoihin ovat maksimiarvoja kaikissa syvyyksissä pohjaan saakka. Kaaviota ei ole piirretty oikeassa mittasuhteessa, sillä syvyys on 80 metriä ja leveys 50 metriä. Kaavion tarkoitus onkin kuvata vain äänitasojen pystysuuntaista vaihtelua ja sitä, että mallinnus on tehty kolmiulotteisesti.



**Kuva 8-1.** Esimerkki pystysuuntaisesta kaaviosta, jolla kuvataan kiviaineksen kasauksen aiheuttaman äänen etenemistä (väriskaala) suhteessa syvyyteen (Y-akseli, 60 metriä) ja etäisyyteen (X-akseli, 50 km).



**Kuva 8-2.** Esimerkkejä pystysuuntaisesta kaaviosta, jolla kuvataan ammusten raivaamisen aiheuttaman äänen etenemistä (väriskaala) suhteessa syvyyteen (Y-akseli, 80 metriä) ja etäisyyteen (X-akseli, 50 km).

### 8.2 Etäisyydet arvioinnissa sovellettaviin kynnyksiarvoihin

Seuraavassa taulukossa on esitetty akustisen mallinnuksen tulokset suhteessa suurimpiin etäisyyksiin. Etäisyydet on mitattu kiviaineksen kasauksesta ja ammusten raivaamisesta

sovellettaviin vedenalaisen melun kynnysarvoihin, jotka on määritetty luvussa 6. Meribiologit ovat näiden etäisyyksien perusteella arvioineet mahdolliset ympäristövaikutukset merieliöstöön.

**Taulukko 8-1. Kiviaineksen kasauksen arviointi, etäisyydet arvioinnin tasojen kynnysarvoihin.**

	kiviaineksen kasaus		RP1 Finland	RP2 Finland
		Arvioinnin tasot	Kynnysetäisyydet	Kynnysetäisyydet
Merieläinryhmä		SEL(Cum*)	SEL(Cum*)	SEL(Cum*)
	Vaikutus	dB vertailuarvo 1µPa2-s	dB vertailuarvo 1µPa2-s	dB vertailuarvo 1µPa2-s
Hylkeet	PTS	200 dB	0 metriä	0 metriä
	TTS	188 dB	80 metriä	80 metriä
Pyöriäiset	PTS	203 dB	0 metriä	0 metriä
	TTS	188 dB	80 metriä	80 metriä
Kalat	Kuolleisuus (kuolemaan johtava vamma)	207 dB	0 metriä	0 metriä
	Vamma	203 dB	0 metriä	0 metriä

\* Kumulatiivinen SEL (kahden tunnin kiviaineksen kasaus)

**Taulukko 8-2. Ammusten raivaamisen (suurimmat) etäisyydet arvioinnin kynnysarvoihin.**

	Ammusten raivaaminen (suurin)		M1 <sub>Fin, max</sub>	M2 <sub>Fin, max</sub>	M3 <sub>Fin, max</sub>	M4 <sub>Fin, max</sub>
		Arvioinnin tasot	Kynnysetäisyydet, suurin	Kynnysetäisyydet, suurin	Kynnysetäisyydet, suurin	Kynnysetäisyydet, suurin
Merieläinryhmä		SEL(Cum*)	SEL(Cum*)	SEL(Cum*)	SEL(Cum*)	SEL(Cum*)
	Vaikutus	dB vertailuarvo 1µPa2-s	dB vertailuarvo 1µPa2-s	dB vertailuarvo o 1µPa2-s	dB vertailuarvo o 1µPa2-s	dB vertailuarvo o 1µPa2-s
Hylkeet	PTS	179 dB	3500 metriä	8000 metriä	15000 metriä	9000 metriä
	TTS	164 dB	15000 metriä	38000 metriä	44000 metriä	32000 metriä
Pyöriäiset	PTS	179 dB	3500 metriä	8000 metriä	15000 metriä	9000 metriä
	TTS	164 dB	15000 metriä	38000 metriä	44000 metriä	32000 metriä
Kalat	Kuolleisuus (kuolemaan johtava vamma)	207 dB (229–234 dB peak)	50 metriä	200 metriä	500 metriä	400 metriä
	Vamma	203 dB	100 metriä	300 metriä	1500 metriä	800 metriä

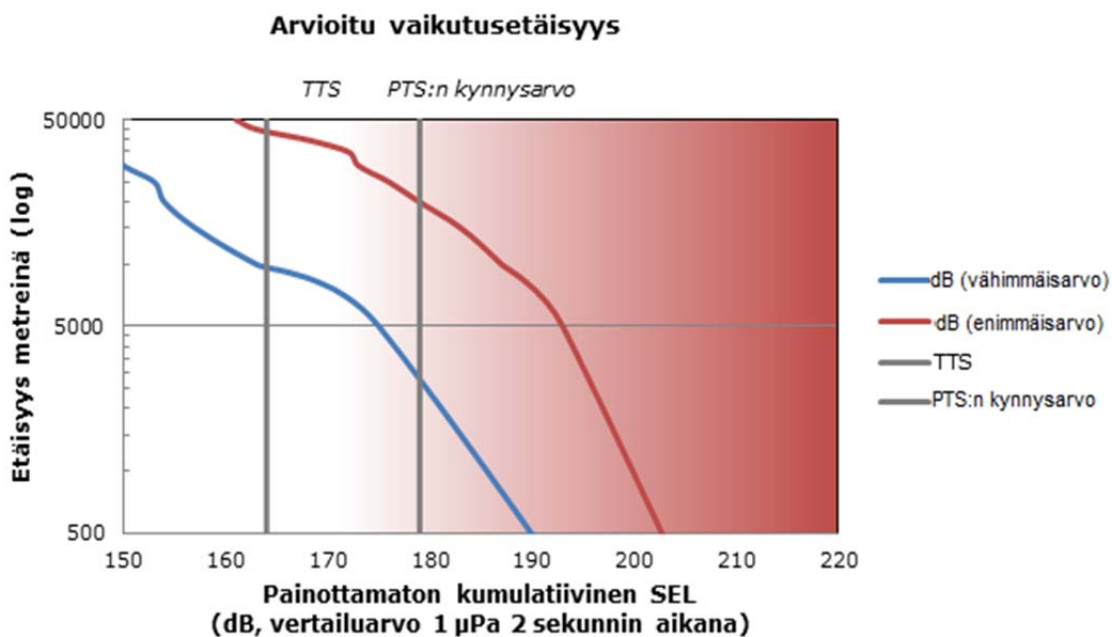
\* Kumulatiivinen SEL (yksi tapahtuma)



Taulukko 8-3. (Keskimääräiset) etäisyydet ammusten raivaamisesta arvioinnin tasojen kynnyksarvoihin.

	Ammusten raivaaminen (keskimääräinen)		M1 <sub>Fin</sub> , keskiarvo	M2 <sub>Fin</sub> , keskiarvo	M3 <sub>Fin</sub> , keskiarvo	M4 <sub>Fin</sub> , keskiarvo
		Arvioinnin tasot	Kynnysetäisyydet, suurin	Kynnysetäisyydet, suurin	Kynnysetäisyydet, suurin	Kynnysetäisyydet, suurin
Merieläinryhmä		SEL(Cum*)	SEL(Cum*)	SEL(Cum*)	SEL(Cum*)	SEL(Cum*)
	Vaikutus	dB vertailuarvo 1µPa <sup>2</sup> -s	dB vertailuarvo 1µPa <sup>2</sup> -s	dB vertailuarvo 1µPa <sup>2</sup> -s	dB vertailuarvo 1µPa <sup>2</sup> -s	dB vertailuarvo 1µPa <sup>2</sup> -s
Hylkeet	PTS	179 dB	3500 metriä	3500 metriä	3500 metriä	5000 metriä
	TTS	164 dB	15000 metriä	26000 metriä	19000 metriä	22000 metriä
Pyöriäiset	PTS	179 dB	3500 metriä	3500 metriä	3500 metriä	5000 metriä
	TTS	164 dB	15000 metriä	26000 metriä	19000 metriä	22000 metriä
Kalat	Kuolleisuus (kuoleman johtava vamma)	207 dB (229–234 dB huippuarvo)	50 metriä	50 metriä	200 metriä	300 metriä
	Vamma	203 dB	100 metriä	100 metriä	300 metriä	400 metriä
* Kumulatiivinen SEL (1 tapahtuma)						

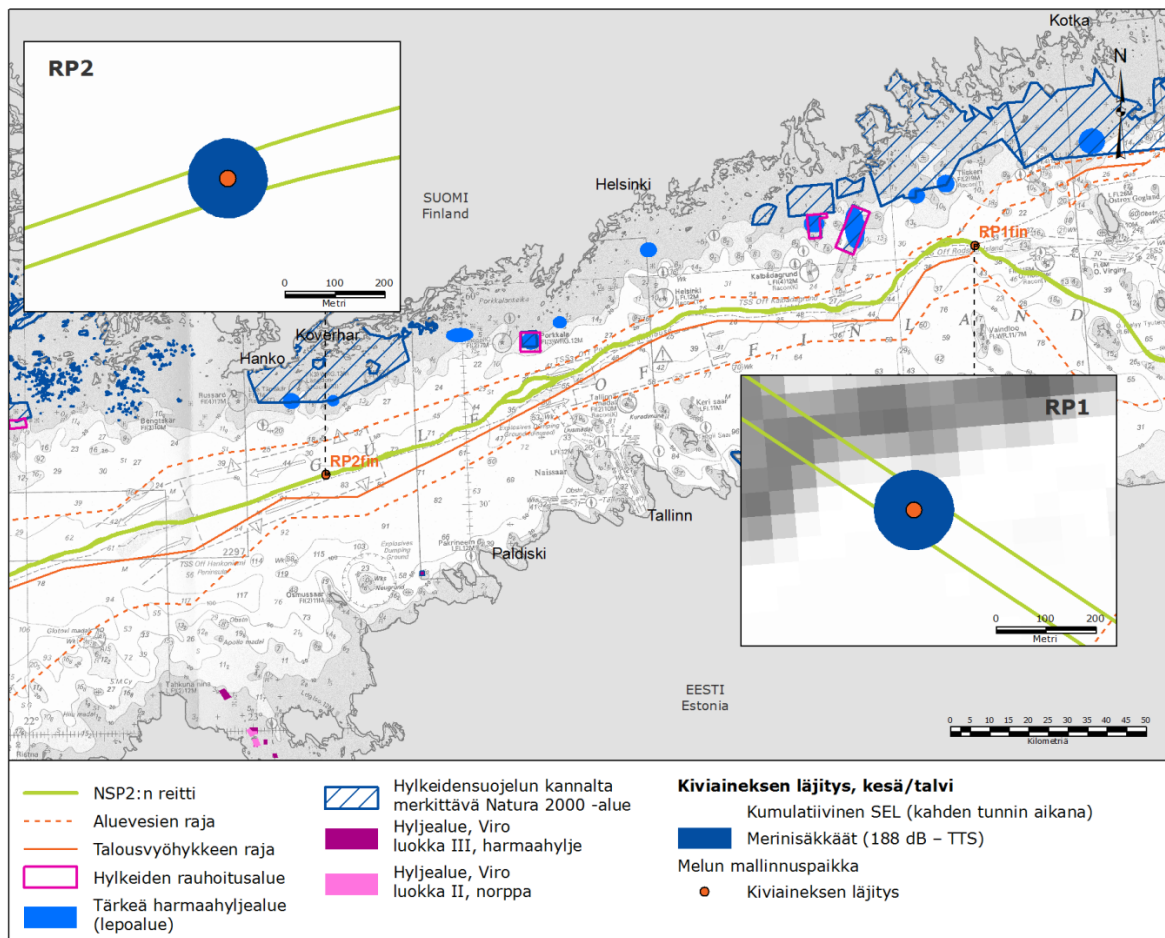
Arvioitu vaikutusetäisyys SEL-kynnyksarvojen funktiona määritettiin kaikista ammusten raivaamisen malliskenaarioista. Etäisyydet on esitetty seuraavassa kuvassa.



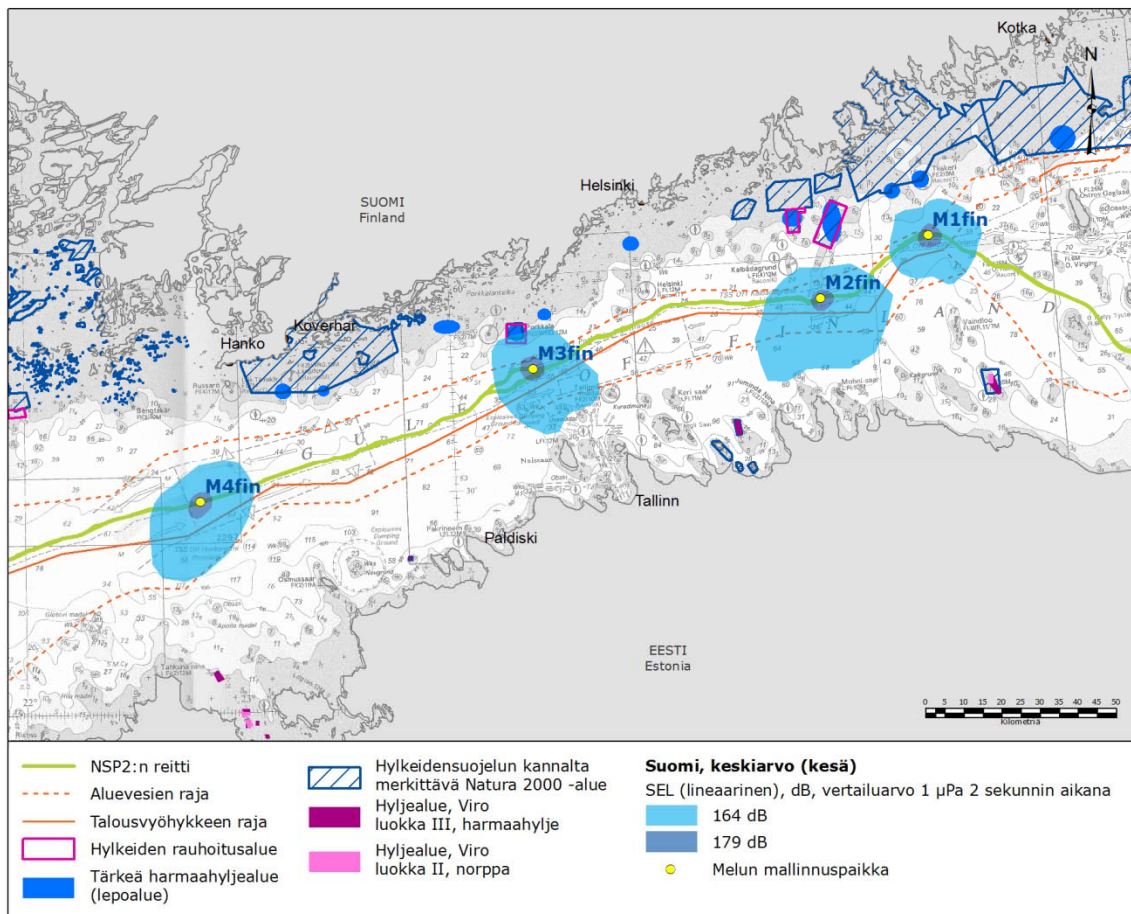
**Kuva 8-3.** Mallinnettu vaikutusetäisyys SEL-kynnyksen funktiona. Punainen käyrä osoittaa suurinta ja sininen käyrä pienintä etenemistä mallinnettujen paikkojen kaikissa olosuhteissa. Pystysuuntaiset viivat punaisella varjostetun alueen reunalla osoittavat pysyvän (PTS) ja tilapäisen (TTS) kuulonaleneman kynnyksarvoja.

### 8.1 Vedenalaisen melun profiilikaaviot

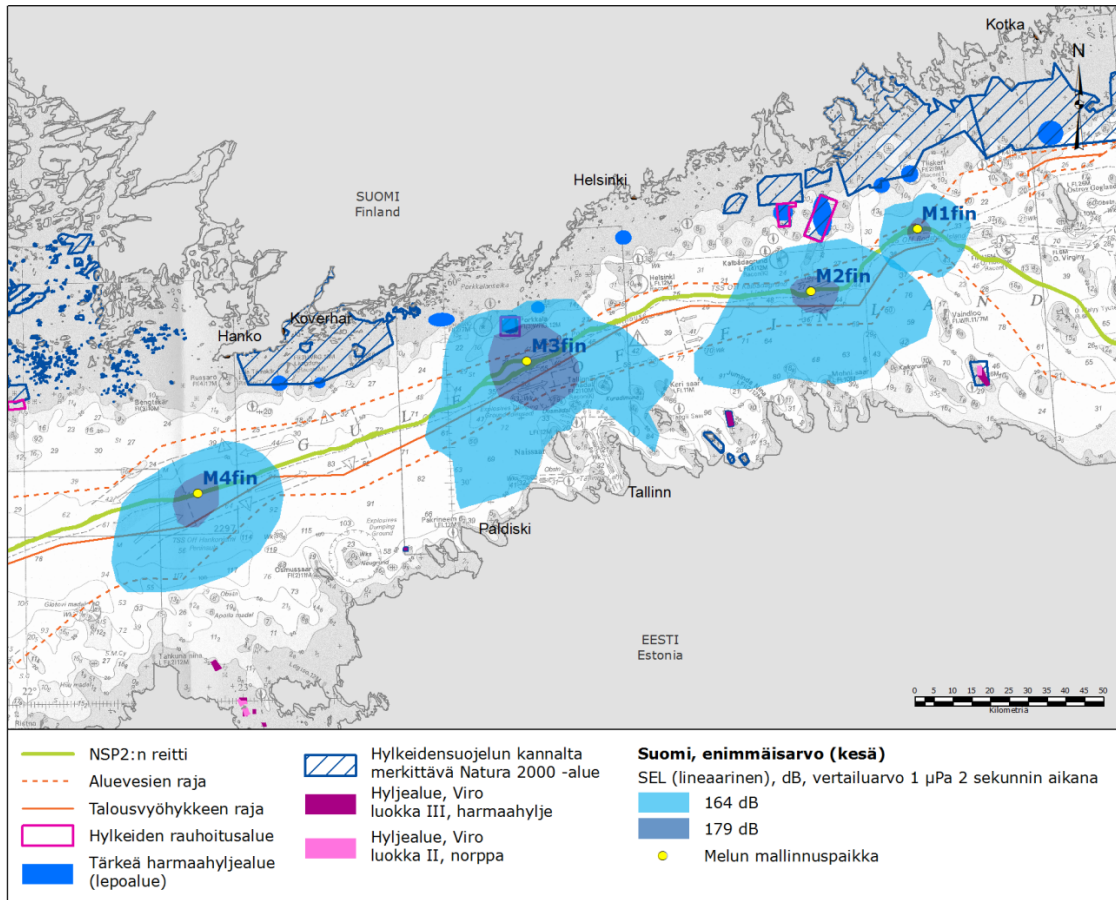
Seuraavissa kuvissa on esitetty ammusten raivaamisen ja kiviaineksen kasauksen aiheuttaman vedenalaisen melun profiilikaaviot. Niissä on näytetty vaikutuskynnyksiin sovellettavat akustiset parametrit vesipatjassa kesä- ja talviolosuhteissa.



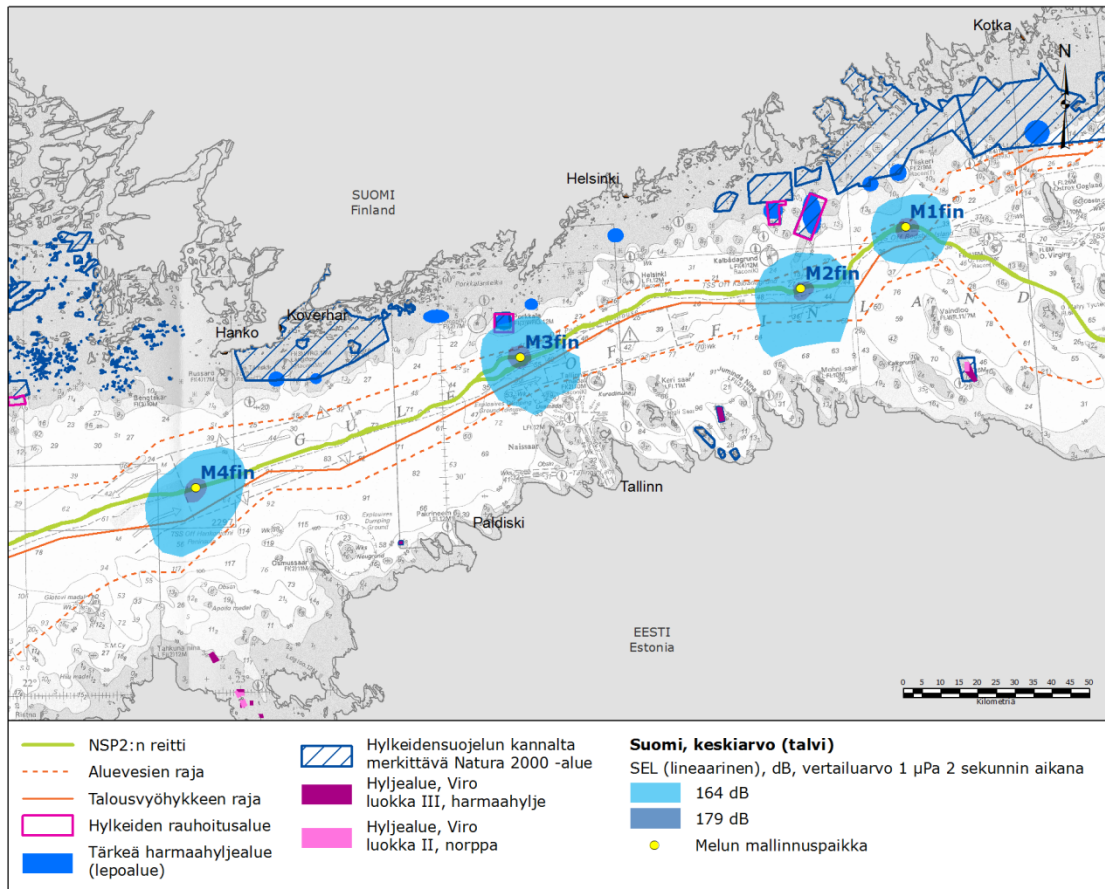
**Kuva 8-4. Kiviaineksen kasaamisen aiheuttamat vedenalaisen melun altistustasot, melun tason profiilikaaviot kynnysarvoihin, dB. (Kesällä/talvella).**



**Kuva 8-5. Ammusten raivaaminen (keskimääräinen). Vedenalaisen melun altistustasojen profiiliakaaviot SEL (1 tapahtuma), dB. (Kesällä).**

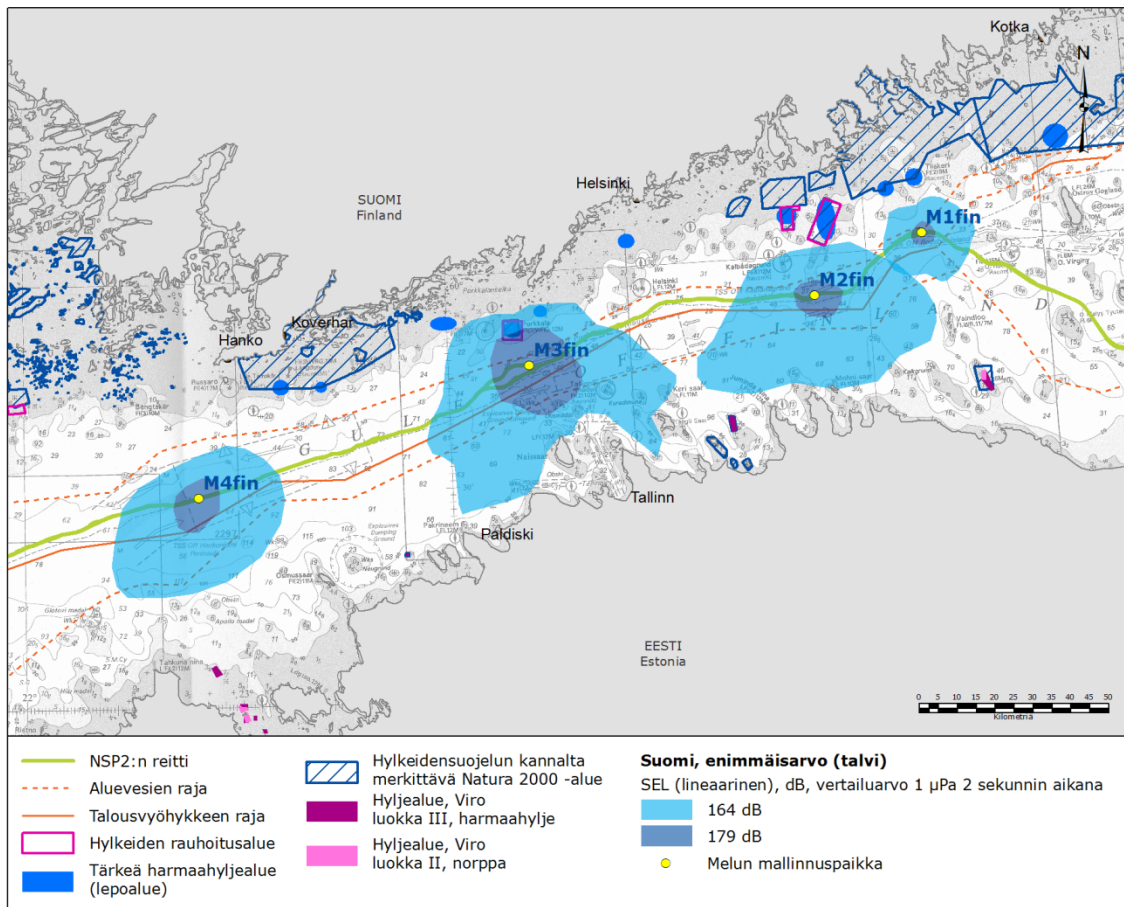


Kuva 8-6. Ammusten raivaaminen (suurin) Vedenalaisen melun altistustasojen profiilikaaviot SEL (1 tapahtuma), dB. (Kesällä).



**Kuva 8-7. Ammusten raivaaminen (keskimääräinen) Vedenalaisen melun altistustasojen profiiliakaaviot SEL (1 tapahtuma), dB. (Talvella).**





**Kuva 8-8. Ammusten raivaaminen (suurin) Vedenalaisen melun altistustasojen profiilikaaviot SEL (1 tapahtuma), dB. (Talvella).**

## 9. JOHTOPÄÄTÖS

Vedenalaisen melun etenemisen tutkimus sekä tunnistettujen, merkittävien vedenalaisen melun lähteiden melukartoitus on suoritettu. Melun aiheuttajia olivat kiviaineksen kasaus ja ammusten raivaaminen, ja tutkimus koski Suomen alueelle sijoittuvia putken osia. Tutkimustulosten perusteella arvioitiin mahdolliset ympäristövaikutukset merinisäkkäisiin ja kaloihin. Arviointi on osa ympäristövaikutusten arviointia.

Tulokset on esitetty vaikutusetäisyytaulukkoina ja kuvina, joissa on esitetty ammusten raivaamisen ja kiviaineksen kasauksen aiheuttaman vedenalaisen melun profiilikaaviot. Niissä on näytetty vaikutuskynnyksiin sovellettavat akustiset parametrit vesipatjassa kesä- ja talviolosuhteissa. Meribiologit ovat näiden tulosten perusteella arvioineet mahdolliset ympäristövaikutukset merieliöstöön.

### **Vertailu nykytilan vedenalaisen melun tasoihin Itämerellä**

Itämeri on puolisoljettu merialue, jota ympäröi yhdeksän valtiota. Itämerellä on kahdeksan osavalmu-alue (vesistöalueen osaa), ja sen rannikolla on useita satamia. Itämerellä purjehtii minä tahansa hetkenä arviolta noin 2 000 suurta alusta. Kuukausittain noin 3 500–5 000 alusta liikkuu Itämeren vesillä. Merenkulku on sen vuoksi merkittävin ihmisen aiheuttaman vedenalaisen melun lähde.

Merenkulun aiheuttamat nykyiset melutasot on mitattu Itämeren poikki kulkevien alusten määrän ja vedenalaisen melun nykytilan perusteella. Melutasot ovat keskimäärin vähintään 100 dB (vertailuarvo 1  $\mu\text{Pa}$ .) laivaväylien ulkopuolella ja korkeintaan 110 dB (vertailuarvo 1  $\mu\text{Pa}$ .) laivaväylien lähellä.

Mallinnustulokset ovat SELcum-muodossa esitettyjä vedenalaisen äänialtistuksen tasoja. Äänialtistusta aiheuttavat ammusten raivaaminen ja kiviaineksen kasaus. Tulokset ovat tietyn toiminnon aiheuttaman vedenalaisen äänienergian summa (kiviaineksen kasauksessa kahden tunnin aikana ja ammusten raivaamisessa yhden tapahtuman aikana). Tulokset eivät ole suoraan verrattavissa vedenalaisen taustamelun nykyisiin tasoihin. Kun kiviaineksen kasausta tarkasteltiin vedenalaisen melun lähteenä, huomattiin kuitenkin, että sen aiheuttamat melutasot ovat hieman suurempia kuin suuren aluksen aiheuttamat vedenalaisen melun tasot.



## 10. LÄHTEET

Brandt, M.J., Höschle, C., Diederichs, A., Betke, K., Matuschek, R., and Nehls, G., 2013. Seal scarers as a tool to deter harbour porpoises from offshore construction sites. *Mar.Ecol.Prog.Ser.* 475, 291-302.

Fjälling, A., Wahlberg, M., and Westerberg, H., 2006. Acoustic harassment devices reduce seal interaction in the Baltic salmon-trap, net fishery. *ICES J.Mar.Sci.* 63, 1751-1758.

Götz, T. and Janik, V.M., 2013. Acoustic deterrent devices to prevent pinniped depredation: efficiency, conservation concerns and possible solutions. *Rev.* 2 21.01.2015 18/20 *Mar.Ecol.Prog.Ser.* 492, 285-302.

HELCOM, Assessing the Impact of Underwater Clearance of Unexploded Ordnance on Harbour Porpoises in the Southern North Sea, Baltic Marine Environment Protection Commission Expert Group on environmental risks of hazardous submerged objects, 2016.

Halvorsen, M.B., Casper, B.M., Woodley, C.M., Carlson, T.J., Popper, A.N., 2011. Predicting and mitigating hydroacoustic impacts on fish from pile installations.

Jensen, F.B., Kuperman, W.A., Porter, M., B., Schmidt, H., 2011. *Computational Ocean Acoustics*, Second Edition Springer, New York, Dordrecht, Heidelberg, London.

Luode Consulting, NORD STREAM 2 -PROJECT Environmental Baseline Surveys in the Finnish Exclusive Economic Zone - Interim report – 2016, NSP2 Document No: W-PE-EIA-PFI-REP-812-160229EN-01

Nedwell and Edwards. 2004. A review of measurements of underwater man-made noise carried out by Subacoustech Ltd, 1993 – 2003. Subacoustech Report ref: 534R0109.

Popper, ASA S3/SC1.4 TR-2014, Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles.

Popper, A. N., Smith; M. E., Cott, P. A., Hanna, B. W., MacGillivray, A. O., Austin, M. E., Mann, D. A. 2005. Effects of exposure to seismic airgun use on hearing of three fish species. *J. Acoust. Soc. Am.* 117(6): 3958-3971 Schmidtke, E (2010). Schockwellendämpfung mit einem Luftblasenschleier zum Schutz der Meeressäuger.

Song, J., Mann, D. A., Cott, P. A., Hanna, B. W., Popper, A. N. 2008. The inner ears of Northern Canadian fishes following exposure to seismic airgun sounds. *J. Acoust. Soc. Am.* 124(2): 1360-1366.

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, 411-521.

Sveegaard, Teilmann and Tougaard, Marine mammals in the Baltic Sea in relation to the Nord Stream 2 project – Environmental Impact Assessment, DCE/Institute for Bioscience, 2016.

Witteveen+Bos, Nord Stream AG, Nord Stream, Munitions clearance in the Finnish EEZ, Final monitoring results on Munition by munition basis, G-PE-EIA-REP-000-MRMCLFIE-B-31jan11+A1-8, 2011.

Working Group 2014, Marine mammals and underwater noise in relation to pile driving, Energinet.dk Underwater noise and marine mammals Rev2 – 4. Marts 2015, Energinet.dk.

Wyatt, R. (2008). Joint Industry Programme on Sound and Marine Life - Review of Existing Data on Underwater Sounds Produced by the Oil and Gas Industry.