

Liite 7

Luode Oy

Blastr terästehdashankkeen vedenalaisen melun
mallinnus

Blastr terästehdashankkeen vedenalaisen melun mallinnus

Luode Oy

Toni Meriläinen ja Antti Lindfors

A	21.11.2024	Lopullinen versio	TM	APL	OH
Versio	Pvm.	Kuvaus	Laatija	Tarkastaja	Hyväksyjä
			Dokumentti: Blastr terästedashankkeen vedenalaisen melun mallinnus		
Asiakas: AFRY Finland		Asiakkaan edustaja: Kaisa Vähänen			
Luode Consulting Oy:n yhteyshenkilö: Toni Meriläinen			Tiedoston nimi: Blastr terästedashankkeen vedenalaisen melun mallinnus 21112024 Luode-A.pdf		
Työn suorittaja: Luode Consulting Oy					

Versio:		Blastr terästedashankkeen vedenalaisen melun mallinnus			
Ver.	Laatija	Pvm	Kuvaus	Tarkistaja	Hyväksyjä
01	Toni Meriläinen	13.11.2024	Versio kommenteille	APL	OTH
02	Toni Meriläinen	14.11.2024	Versio kommenteille	APL	OTH
A	Toni Meriläinen	21.11.2024	Lopullinen versio	APL	OTH

Sisällys

1	Johdanto	4
2	Vedenalainen melu	4
2.1	Yleistä.....	4
2.2	Suureet ja yksiköt	5
3	Laskentamenetelmät.....	6
3.1	Ohjelmisto.....	6
3.2	Syvyysmalli ja akustinen ympäristö	6
4	Mallinnuskohteet	8
4.1	Vedenalainen louhinta	9
4.2	Maa-alueen louhinta (AWT-terminaali).....	11
4.3	Porapaaletus.....	12
4.4	Muut melulähteet	13
5	Vedenalaisen melun vaikutusten arviointimenetelmät	14
5.1	Merinisäkkäät.....	14
5.2	Kalat	17
5.3	Raja-arvot	17
6	Tulokset ja vaikutusarvio	19
6.1	Vedenalainen louhinta	20
6.2	Maa-alueen louhinta (AWT-terminaali).....	34
6.3	Porapaaletus.....	40
6.4	Lieventämistoimenpiteet	45
	Johtopäätökset.....	49

1 Johdanto

Blastr Green Steel Oy suunnittelee Länsi-Uudellemaalle, Inkoon Joddböleen, terästä tuottavaa tehdasta ja integroitua vedyn tuotantolaitosta. Terästehtaan perustamisen rakennusvaiheessa toteutetaan työvaiheita, joista aiheutuu melua myös vesistöön.

Tässä työssä selvitettiin melumallinnuksen avulla vedenalaisten tai rannasta veteen johtuvien rakennusvaiheiden aiheuttamien melutapahtumien mahdollisia vaikutuksia ja altistusalueita merinisäkkäille ja kaloille.

Merkittävimmät melulähteet sataman ja laiturirakenteiden toteutussuunnitelman perusteella olivat louhinta ja paalutus. Molemmat työvaiheille tehtiin mallinnus, siten että melulähteet sijoitettiin kahteen eri pisteeseen rakennusalueelta. Malliskenaariot laskettiin lisäksi kahdessa erilaisessa veden lämpötilakerrostuneisuustilanteessa. Lisäksi mallinnettiin rantaviivan välittömään läheisyyteen rakennettavan AWT-terminaalin maa-alueen louhintatapahtuma, koska aiemmista mittausprojekteista saatujen tulosten perusteella ääni siirtyy tehokkaasti louhinnan yhteydessä maalta veteen. Lisäksi mallinnettiin tilanne missä vedenalainen louhinta-alue on ympäröity kuplaverholla meluvaikutuksen vähentämiseksi.

Mallinnustulosten pohjalta toteutettiin vaikutusten arviointi merinisäkkäille sekä kaloille. Melun leviämisaalueet on suhteutettu merinisäkkäiden ja kalojen kuulokäyriin sekä haitallisten vaikutusten raja-arvoihin. Lisäksi esiteltiin mahdollisia lieventämistoimia vedenalaiseen meluun.

2 Vedenalainen melu

2.1 Yleistä

Vedenalaiset melutapahtumat jaetaan usein impulssimaiseen ja jatkuvaan (ei-impulssimaiseen) meluun. Impulssimainen melu tarkoittaa lyhyitä, toisistaan selvästi erottuvia meluhuippuja, jotka syntyvät esimerkiksi vedenalaisissa räjäytyksissä tai lyöntipaalutuksessa. Impulssimaisen melun vaikutukset voivat olla huomattavia erityisesti merieläimille ja kaloille. Se voi pahimmillaan johtaa kuolemiin, fyysisiin vammoihin, kuulovaurioihin tai eläinten väliaikaiseen tai pysyvään pakenemiseen alueelta.

Ei-impulssimainen melu on jatkuvaa, tasaisempaa ääntä, joka syntyy esimerkiksi laivojen ja veneiden moottoreista, rannikolla tai merellä tapahtuvasta teollisesta toiminnasta tai merirakentamisesta. Jatkuva melu voi häiritä merenelävien luonnollisia käyttäytymismalleja, kuten kommunikointia, saalistamista ja lisääntymistä. Se voi häiritä myös herkkien merieläinten elinympäristöjä pitkällä aikavälillä.

Melun impulsiivisuuteen vaikuttaa melulähteen lisäksi tarkastelupisteen etäisyys melulähteestä. Lähietäisyydellä melu voi olla iskumaista tai kapeakaistaista. Kauempana melulähteestä iskumaisuus vähenee, koska äänen edetessä melun huippupiikkien voimakkuus pienenee suhteessa muuhun melutasoon. Tästä esimerkkinä on porapaalutus, joka luetaan jatkuvaan meluun.

2.2 Suureet ja yksiköt

Käytettävät suureet riippuvat melutapahtuman luonteesta. Impulssimaisen lyöntipaalutuksen ja louhinnan yhteydessä mitataan useimmiten äänialtistustaso sekä äänenpaineen huipputaso, kun taas jatkuvan melun yhteydessä käytetään myös äänenpainetasoa.

Äänialtistustaso kuvaa melutapahtuman äänienergian määrää normalisoituna yhteen sekuntiin. Kumulatiivinen äänialtistustaso (SELcum) voidaan laskea myös esimerkiksi 24 tunnin ajalta. Kumulatiiviseen äänialtistustasoon vaikuttavat merkittävästi ainoastaan suurimmat mittausjakson aikana mitatut melutasot.

Äänenpaineen huippuarvo kuvaa äänenpaineen suurinta absoluuttista hetkellistä arvoa tietyn ajanjakson aikana. Myös tätä käytetään usein paalutustapahtuman tai räjähdysten analysoinnin yhteydessä.

Porapaalutuksen aiheuttamaa melua on lähempänä jatkuvakestoista melua, jonka määrää kuvataan äänialtistustason lisäksi äänenpainetasolla.

Taulukko 1 Mittauksissa käytetyt suureet.

Suure	Tunnus [yksikkö]	Mitä tarkoittaa
Äänenpainetaso	SPL tai Lp [dB re 1 μ Pa]	Äänenpainetaso on hetkellisen äänen kokonaispaineen mitta tarkastelupisteessä. Sillä kuvataan usein jatkuvakestoisen äänitapahtuman tasoa.
Äänialtistustaso	SEL tai Le [dB re 1 μ Pa ²]	Kuvaa melutapahtuman tapahtuman äänienergiaa normalisoituna yhteen sekuntiin. Se on riippuvainen melutapahtuman amplitudista sekä kestosta.
Äänenpaineen huippuarvo	SPLpk tai LE,p [dB re 1 μ Pa]	Kuvaa äänenpaineen suurinta absoluuttista hetkellistä arvoa tietyn ajanjakson aikana. Myös tätä käytetään usein paalutustapahtuman tai räjähdysten analysoinnin yhteydessä.

3 Laskentamenetelmät

3.1 Ohjelmisto

Vedenalaisen melun leviämisalueen mallintamiseen käytettiin dBSea-ohjelmistoa, joka laskee äänen etenemistä ja vaimenemista mallinnusalueella. Ohjelma laskee äänikentän etäisyyden, syvyyden ja äänilähteen suunnan funktiona. Mallinnuksessa hyödynnettiin kahden eri laskentamenetelmän yhdistelmää. Korkeampien taajuuksien (>500 Hz) osalta käytettiin ray tracing -menetelmää, kun taas matalilla taajuuksilla (<500 Hz) sovellettiin parabolista etenemisyhtälöä.

Mallinnus toteutettiin kolmiulotteisena laskentana. Laskennassa käytettiin tarkkaa laskentahilaa, jossa oli 360 säteittäistä osuutta, 1000 etäisyysuuntaista laskentaruutua ja 250 syvyysuuntaista laskentaruutua, mikä mahdollisti yksityiskohtaisen melun leviämisen mallinnuksen eri syvyyksissä ja etäisyyksissä.

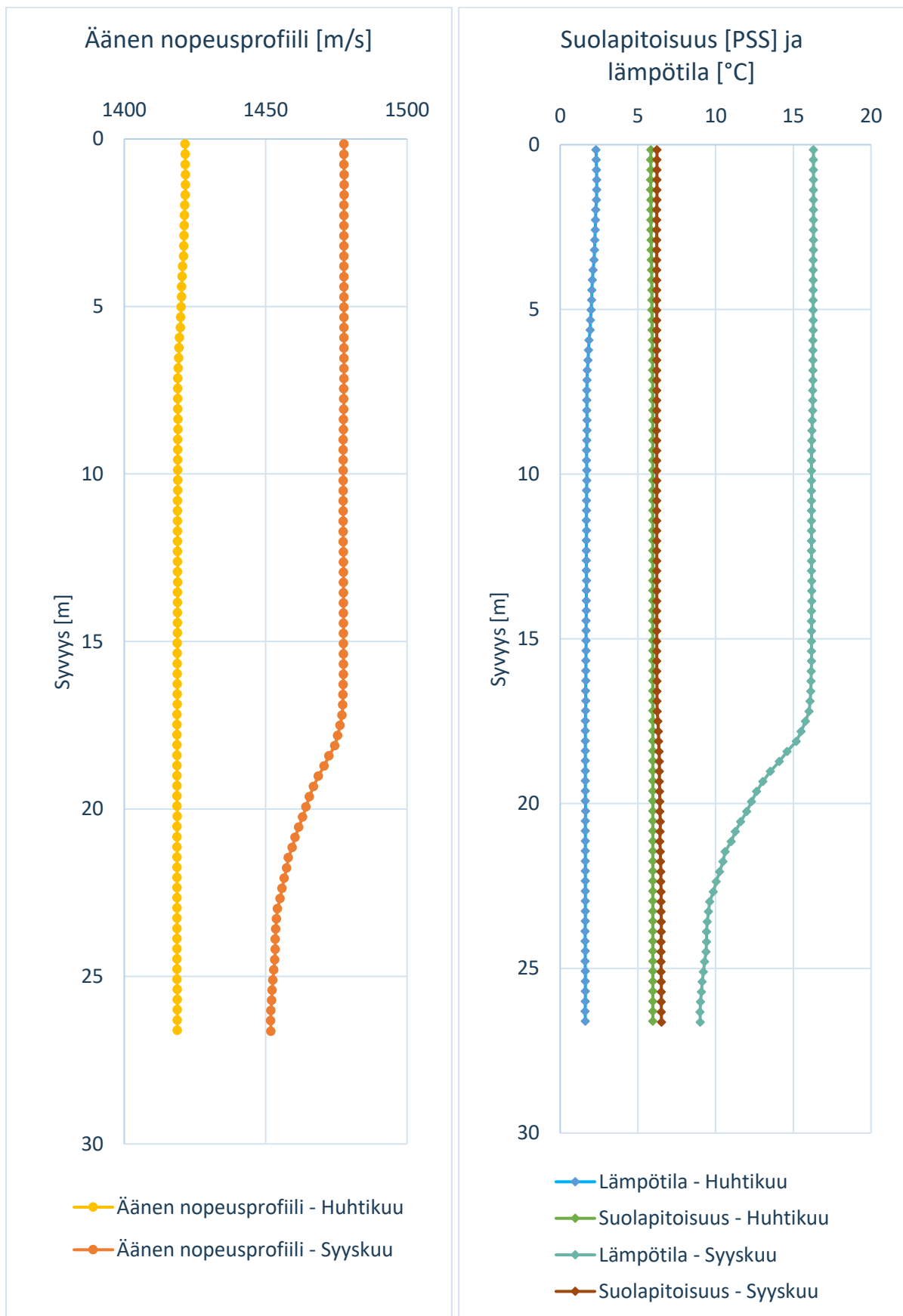
3.2 Syvyysmalli ja akustinen ympäristö

Melun etäisyysvaimenemiseen vaikuttivat useat tekijät, kuten merenpohjan koostumus, syvyysolosuhteet ja veden äänennopeusprofiili. Inkoon sataman edusta on hyvin kompleksinen. Pienet saaret ja matalikot lisäävät veden pinnan sekä merenpohjan vuorovaikutuksen merkitystä äänen heijastumiseen, siroamiseen ja vaimenemiseen.

Merenpohjan sedimenttikerrokset vaikuttavat siihen, miten ääni heijastuu tai absorboituu. Esimerkiksi kallio ja kovapohjaiset alueet heijastavat ääntä tehokkaammin, kun taas pehmeät pohjamateriaalit tehostavat etäisyysvaimenemista. Tiedot merenpohjan olosuhteista saatiin yhdistettyä hankealueella suoritetuista akustisseismisistä tutkimuksista sekä GTK:n avoimesta aineistosta. Mallinnusalueella merenpohjan kerrokset koostuivat liejusavesta, savesta, moreenista sekä kallioista. Mallinnuksessa jokaiseen kerrokseen määritettiin sedimenttikerroksen paksuus, seisminen nopeus, vaimennuskerroin sekä sedimentin tiheys.

Matalassa vedessä merenpohjan vaikutus äänen etenemiseen on suuri etenkin matalilla taajuuksilla, jotka vaimenevat tehokkaammin. Syvyysmalli perustuu avoimeen aineistoon ja se tehtiin interpoloimalla Traficomien syvyyspisteet ja syvyyskäyrät sekä Maanmittauslaitoksen korkeusmalli 10 x 10 metrin solukokoon.

Mitatut äänen nopeusprofiilit antavat tietoja mahdollisesta kerrostumisesta tai kausittaisesta termokliinistä. Erityisesti syksyn aikana esiintyvä voimakas kerrostuneisuus vaikuttaa voimakkaasti äänen etenemiseen ja vaimenemiseen. Jokaisessa mallinnusskenaariossa huomioitiin kaksi erilaista veden kerrostuneisuustilannetta (kuva 1). Ensimmäinen tilanne on huhtikuulta, jolloin äänennopeusprofiili oli hyvin tasainen eikä kerrostuneisuutta ollut muodostunut. Toinen tilanne oli syyskuulta, jolloin veden lämpötila oli pintakerroksessa 16°C ja pohjakerroksessa 9°C .



Kuva 1 Mallinnuksessa käytetyt äänennopeusprofiilit (SSP, Sound Speed Profile) SSP 1 ja SSP 2

4 Mallinnuskohteet

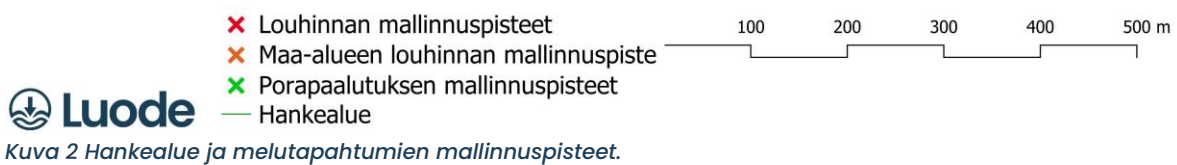
Merkittävimmät melulähteet valittiin sataman ja laiturirakenteiden toteutussuunnitelman sekä aikaisempien mittausten ja mallinnusten perusteella. Mallinnuskohteiksi valittiin louhinta ja paalutus. Molemmat skenaariot suoritettiin kahdessa pisteessä ja kahdessa veden kerrostuneisuustilanteessa. Lisäksi mallinnettiin veden välittömässä läheisyydessä AWT-terminaalin maa-alueen louhintatapahtuma.

Työjärjestys on alustavasti suunniteltu niin, että vedenalainen louhinta tehdään poraus-räjäytys -menetelmällä ennen porapaalujen asentamista niin, että merenpohjassa on maakerroksia. Pintamaakerrokset ruopataan pois. Louhintaporaus ja panostus saadaan sopivia työmenetelmiä käyttäen tehtyä moreenikerrosten läpi. Kohteeseen tuodaan lautta tai sitten merta väliaikaisesti täytetään, jotta saadaan sopiva työalusta poraus- ja panostuskalustolle. Räjäytysten jälkeen asennetaan porapaaluseinä ja kaivetaan louhintamassat sekä meren pohjassa olevat maamassat pois.

Mallinnuksen tulokseen vaikuttavat varsin merkittävästi mallinnuksessa käytetyt lähtötasot sekä taajuusspektrit. Lähtötasojen arviointi on tehty konservatiivisesti, joten todellisuudessa vaikutukset voivat olla myös huomattavasti pienempiä. Kaikki louhintatapahtumat mallinnettiin sekä keskimääräisen, että maksimiräjähdemäärän mukaisilla lähtötasoilla. Hankealue ja mallinnuskohteet on esitetty kuvassa 2. Mallinnuskohteiden koordinaatit ja mallinnuksessa käytetyt lähtötasot on esitetty taulukossa 2. Taulukossa esitettyjen melulähteiden lähtötasoarvojen määrittäminen kuvataan seuraavissa kappaleissa (4.1, 4.2 ja 4.3).

Taulukko 2 Mallinnettavien melutapahtumien lähtötasot

Skenaario	ETRS-TM35FIN N	ETRS-TM35FIN E	Melulähde lähtötaso dB re 1 μPa^2 @ 1m
Louhinta 1	329427	6656897	244 (ka) & 248 (maks)
Louhinta 2	328918	6656962	244 (ka) & 248 (maks)
Maa-alueen louhinta AWT terminaali	329422	6656930	225 (ka) & 227 (maks)
Porapaalutus 1	329483	6656902	218
Porapaalutus 2	328901	6656979	218



4.1 Vedenalainen louhinta

Suurimmat vedenalaiset melutasot aiheutuvat veden alla suoritettavasta louhinnasta. Louhinnasta aiheutuva melu on impulssimaista, laajakaistaista ja lyhytkestoista. Osa räjähdysen aiheuttamasta äänienergiasta etenee myös pohjaa pitkin.

Arvio vedenalaisista louhintamääristä on yhteensä noin 40 840 m³ltr. Arvio vedenalaisen louhintatyön kestosta on noin 6 kk. Louhinnassa olosuhteet sekä louhinnan toteuttaja määrittävät louhintatekniset asiat, jotka vaikuttavat vielä räjähdysenergian määrään räjäytyksissä.

Lähtötiedoissa arvioitu yksittäisen keskimääräisen kentän räjähdelainemäärä oli 1500–4700 kg ja suurimman kentän räjähdelainemäärä 4200–13000 kg. Vedenalaisen louhinnan arvioitu äänialtistustaso sekä huippuäänepainetaso perustuu lähtötietoihin, jossa yksittäisen keskimääräisen kentän arvioitu räjähdysainemäärä on 4700 kg ja suurimman kentän arvioitu räjähdysainemäärä on 13000 kg. Räjähdelainemäärät ovat dynamiittia, joten kilot muutettiin TNT-ekvivalenteiksi huippuäänepainetason laskentaa varten.

Vuosaarella vuonna 2020 tehtyjen vedenalaisen louhinnan mittaustuloksia hyödynnettiin louhinnan äänitasojen arvioinnissa. Arvioidun räjähdelainemäärän avulla mittaustuloksista valittiin samankokoisten louhintatapahtumien aiheuttamia mitattuja äänialtistustasoja ja huippuäänepainetasoja. Tämän jälkeen Vuosaaresta olemassa olevan melumallin avulla selvitettiin takaisinlaskennalla melutapahtuman lähtötasot.

Vedenalaisen räjähdysen huippupaine lähikentässä voidaan arvioida myös seuraavan yhtälön avulla¹. Vedenalaisen louhinnan yhteydessä huippuäänepainetaso laskettiin kaavasta vakioilla, joissa huomioidaan, että räjähdde on porattu kallioon².

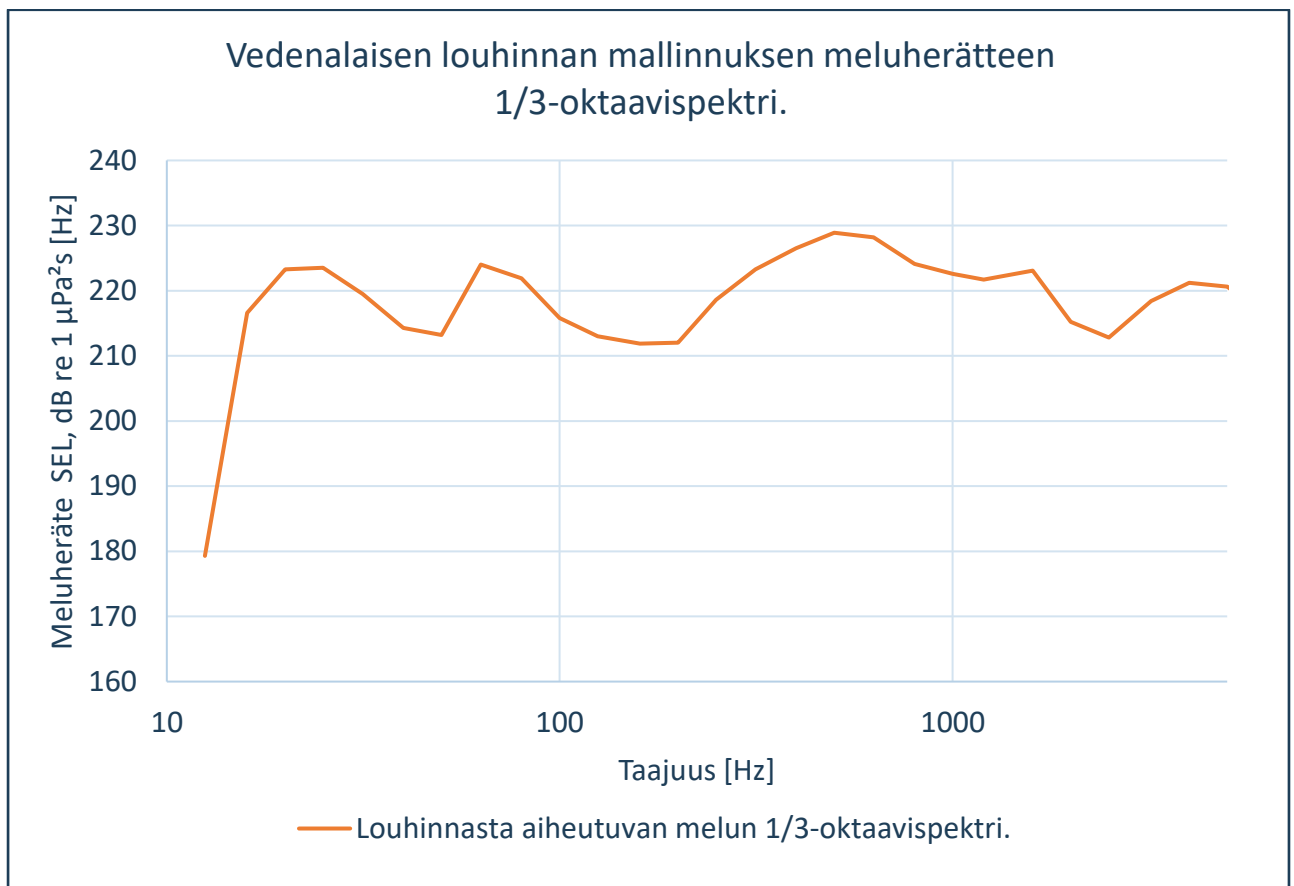
$$(p^0(r) = Kp(\frac{W^{\frac{1}{3}}}{r})^\alpha$$

jossa $Kp = 2.55 \times 10^6$, W = TNT määrä (kg), R = Etäisyys (m) ja $\alpha = 1.13$

Mallinnuksen ja kirjallisuuden avulla keskimääräisen vedenalaisen louhintatapahtuman äänialtistustasoksi arvioitiin 244 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ @ 1m ja huippuäänepainetasoksi 274 dB re 1 μPa @ 1m. Suurimman vedenalaisen louhintatapahtuman äänialtistustasoksi arvioitiin 248 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ @ 1m ja huippuäänepainetasoksi 278 dB re 1 μPa @ 1m. Louhinnasta aiheutuvan melun taajuusspektri on esitetty kuvassa 3.

¹ Cole, R.H. Underwater Explosions; Princeton Univ. Press: Princeton, NJ, USA, 1948.

² Nedwell, J.R.; Edwards, B. A Review of Measurements of Underwater Man-Made Noise Carried out by Subacoustech Ltd., 1993–2003; Subacoustech Ltd.: Hampshire, UK, 2004.



Kuva 3 Vedenalaisesta louhinnasta aiheutuvan melun 1/3-oktaavispektri.

4.2 Maa-alueen louhinta (AWT-terminaali)

Louhintaa suoritetaan myös AWT-terminaalin kohdalla maa-alueen louhintana, joten rannasta veteen johtuvien melutapahtumien arviointi sisällytettiin mallinnukseen.

Lähtötiedoissa arvioitu yksittäisen keskimääräisen kentän räjähdelainemäärä oli 400–1350 kg ja suurimman kentän räjähdelainemäärä 1100–3750 kg. Vedenalaisen louhinnan arvioitu äänialtistustaso sekä huippuäänepainetaso perustuu lähtötietoihin, jossa yksittäisen keskimääräisen kentän arvioitu räjähdysainemäärä on 1350 kg ja suurimman kentän arvioitu räjähdysainemäärä on 3750 kg. Räjähdelainemäärät ovat dynamiittia, joten kilot muutettiin TNT-ekvivalenteiksi huippuäänepainetason laskentaa varten.

Maa-alueen louhinnasta veteen johtuvan huippuäänepainetason laskeminen:

1.

Tunnelilouhinnasta johtuva äänenpaineen huipputaso P_{pk} (Pa) laskettiin kaivosteollisuuden ((MMS) 2004) yhtälöstä³:

$$P_{pk} = 5.24 \times 10^7 \left(\frac{W^{1/3}}{R} \right)^\epsilon \left(\frac{a+b}{b} \right)^{\epsilon-\alpha}$$

W = TNT määrä (kg), R = Etäisyys (m), a = on etäisyys merenpohjan yläpuolella (m), b = räjähteen syvyys merenpohjan alapuolella (m), ϵ = Merenpohjan vaimennuskerroin, α = Vaimennuskerroin vedessä

2. Snellin taittumislain ja Fresnelin yhtälön avulla laskettiin väliaineesta (kalliosta) veteen heijastunut ja läpäisevä teho, jotka ovat riippuvaiset kulmasta ja impedanssista. Tasoaallolle heijastuskerroin lasketaan yhtälöstä:

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

Jossa Z_1 ja Z_2 ovat kahden väliaineen akustiset impedanssit.

3. Toiseen väliaineeseen siirtynyt ääniteho saadaan yhtälöstä $T = 1 - R^2$
4. Lopuksi lasketaan intensiteetistä äänenpaine $I = \sqrt{\rho c}$

Mallinnuksen ja kirjallisuuden avulla keskimääräisen vedenalaisen louhintatapahtuman äänialtistustasoksi arvioitiin 225 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ @ 1m ja huippuäänepainetasoksi 255 dB re 1 μPa @ 1m. Suurimman vedenalaisen louhintatapahtuman äänialtistustasoksi arvioitiin 227 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ @ 1m ja huippuäänepainetasoksi 257 dB re 1 μPa @ 1m.

Maa-alueen louhinnan taajuusspektriä ei ollut löydettävissä kirjallisuudesta, joten spektrinä käytettiin vedenalaisen louhinnan spektriä, joka on konservatiivinen arvio varsinkin korkeilla taajuuksilla.

4.3 Porapaalutus

Louhinnan jälkeen toiseksi suurimmaksi melupäästökseksi arvioitiin paalutus. Hankkeessa käytetään lyöntipaalutuksen sijaan melutasoltaan alhaisempaa porapaalutusta. Se myös luokitellaan luonteeltaan jatkuvaksi meluksi. Porapaalun koko on 1000 mm ja porapaalutusta tehdään vuorokauden aikana arviolta 4–5 tuntia.

³ Minerals Management Service. Explosive Removal of Offshore Structures - Information Synthesis Report. s.l. : U.S. Department of the Interior Minerals Management Service, 2004.

Porapaalutuksesta oli myös olemassa mittausaineistoa kahdelta eri siltatyömaalta. Poraamisesta syntyvä ääni siirtyy poratessa porausreiästä ympäröivään merenpohjaan sekä poraustyökaluston värähtelyn myötä suoraan veteen. Melu on laajakaistaista ja koostuu yleensä matalasta perustaajuudesta, mutta energiaa on myös korkeammilla taajuuksilla.

Porapaalutuksen äänenpainetasoksi arvioitiin mittauksen perusteella sekä kirjallisuudesta löytyvien arvojen perusteella 175 dB ja jos porapaalutusta tehdään arviolta 4–5h päivän aikana, on vuorokauden kumulatiivinen äänialtistustaso 218 dB. Lähtötasot voivat vaihdella hyvin paljon ympäristöstä riippuen, joten olemassa olevista mittauksista valittiin äänekkäimmät mittaustasot konservatiivisen periaatteen mukaisesti.

4.4 Muut melulähteet

Rakentamisen aikana vedenalaista melua aiheuttavat mallinnettavien melulähteiden lisäksi mahdollisesti lisääntyvä alusliikenne sekä ruoppaus. Lisääntyvä alusliikenne voi nostaa alueen taustamelutasoa, ja alueella on jo valmiiksi vilkasta liikennettä. Hankkeen ympäristöohjelman mukaan Inkoon väylällä on aktiivista alusliikennettä, ja Inkoon satamassa on vieraillut vuosittain 399–491 alusta vuosina 2019–2022⁴. Esimerkiksi Suomenlahden vilkkaimpiin kuuluva veneilyreitti Helsingistä Hankoon kulkee alueen läheisyydessä ja on erityisesti kesäisin suosittu veneilijöiden keskuudessa. Lisäksi Inkoon saaristossa liikkuu paljon ammattikalastajia⁵.

Ruoppaus aiheuttaa matalataajuisia, jatkuvaa melua. Mittausten mukaan ruoppauksessa syntyy myös korkeampia taajuuksia, kun kahmarikauhaa nostetaan vajereiden varassa ylös. Aikaisemmat mittaukset osoittavat, että ruoppauksen äänenpainetasot ovat verrattavissa alusmeluun.

Alusliikenteen vilkastuminen ja ruoppauksen aiheuttama melu voivat nostaa paikallisesti ja tilapäisesti taustamelutasoa sekä lisätä merieläimille aiheutuvia riskejä. Alueen taustamelutaso on kuitenkin jo ennestään korkea alusliikenteen vuoksi, joten lisääntyvän liikenteen ja ruoppauksen melu vaimenee nopeasti taustamelutason alle lyhyellä etäisyydellä melulähteistä. Yhteenvedona voidaan todeta, että vaikka melutaso hetkellisesti kasvaa, vaikutusten arvioidaan olevan vähäisiä ja tilapäisiä.

⁴ Tilastokeskus 2023. Ulkomaan meriliikenne. <https://stat.fi/tilasto/uvliik> (Viitattu 11.11.2024)

⁵ Pöyry Finland 2015. Finngulf LNG, LNG-terminaalin rakentaminen Suomeen – Ympäristövaikutusten arviointiselostus. Gasum Oy. https://www.ymparisto.fi/sites/default/files/documents/Gasum_Finngulf_LNG_YVA_23052013_pieni.pdf (Viitattu 11.11.2024).

5 Vedenalaisen melun vaikutusten arviointimenetelmät

Melun haitallisuuteen vaikuttaa melun voimakkuuden lisäksi altistusaika, äänienergian taajuusjakautuminen, melun impulsiivisuus tai jatkuvuus sekä lajin yksilöllinen herkkyys.

Melun on havaittu aiheuttavan merieläimissä käyttäytymismuutoksia, fysiologisia stressireaktioita ja jopa fyysisiä vammoja. Melu haittaa luonnollisten signaalien havaitsemista ja tuottamista, mikä vaikeuttaa saalistusta ja kommunikointia. Jatkuva taustamelu voi peittää merieläinten lähettämiä signaaleja ja häiritä erityisesti parittelu- ja kutuaikana tapahtuvaa viestintää.

5.1 Merinisäkkäät

Suomenlahdella esiintyy kolme merinisäkäslajia: harmaahylje (*Halichoerus grypus*), itämerennorppa (*Pusa hispida botnica*) ja pyöriäinen (*Phocoena phocoena*). Harmaahylkeiden määrä on edelleen lievässä kasvussa ja kanta on hyvässä tilassa Suomessa. Myös Kallbådanin hylkeidensuojelualue sijaitsee noin 25 km etäisyydellä hankealueesta. Tämän perusteella hylkeiden esiintyvyys hankealueella on mahdollista. Itämerennorppien määrä kasvaa ainoastaan Perämerellä ja kanta on hyvässä tilassa Perämeren lisäksi vain Merenkurkussa. Saaristomerellä ja Suomenlahdella norppakantojen tila on heikko. Pyöriäinen ei ole todennäköisesti lisääntynyt Suomessa kymmeniin vuosiin mutta Suomen aluevesillä liikkuu kuitenkin pyöriäisiä säännöllisesti. Kesäisin saadaan joka vuosi muutamia näköhavaintoja Suomenlahdella ja Pohjanlahden eteläosista. Laji on Itämeren alueella äärimmäisen uhanalainen.⁶ Pyöriäisen levinneisyyskarttojen⁷ sekä Lajitietokeskuksen havaintomerkintöjen⁸ perusteella pyöriäisen esiintyvyys hankealueella on päätodennäköistä.

⁶<https://www.ymparisto.fi/fi/luonto-vesistot-ja-meri/meri/suomen-meriympariston-tila-2024>. Viitattu 20.11.2024.

⁷ <https://metadata.helcom.fi>. Viitattu 20.11.2024

⁸ www.laji.fi. Viitattu 20.11.2024

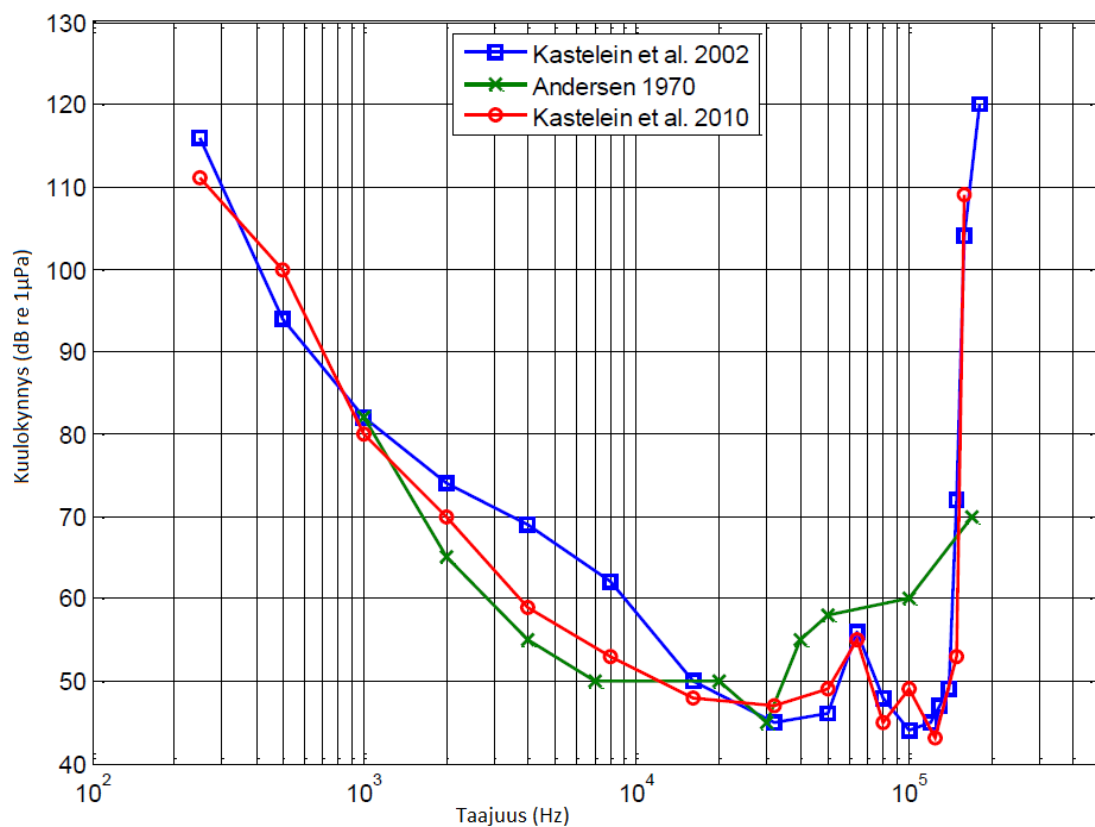
Merinisäkkäiden fyysiset vahingot liittyvät usein kuuloelinten vaurioihin. Kuuloelinten pysyvä vaurio (Permanent Threshold Shift, PTS) voi johtaa kuulon pysyvään heikkenemiseen. Kuulon alenema voi myös olla tilapäinen (Temporary Threshold Shift, TTS), jolloin eläimen kuulo palautuu normaaliksi palautumisjakson jälkeen. Southall ym. (2007) suosittelee TTS-raja-arvoa myös yksittäisen impulssimaisen melutapahtuman aiheuttamien pakenemisreaktioiden arvioinnissa⁹.

Kuuloa heikentäviä tekijöitä ovat äänen voimakkuus, taajuus ja altistuksen kesto. Merinisäkkäiden kuuloherkkyys ei ole tasainen kaikilla taajuuksilla, vaan se vaihtelee. Tätä huomioidaan mallinnuksessa vakioäänekkyyssäyrillä, jotka jäljittelevät merinisäkkään kuuloaistin herkkyyttä eri taajuuksilla. Pyöriäisillä kuulo on erittäin tarkka ja se kattaa laajan taajuusalueen, joka ulottuu 300 Hz:stä jopa 160 kHz:iin saakka (kuva 4). Pyöriäisten kuulokynnys alittaa 80 dB 1000 Hz:stä korkeimmilla taajuuksilla ollessaan herkimmillään 10–160 kHz:n välillä. Pyöriäiset tuottavat luotauksessa lyhyitä ultraääninapsahduksia. Napsahduksia käytetään myös kommunikointiin mutta alhaisemmalla äänenpainetasolla.

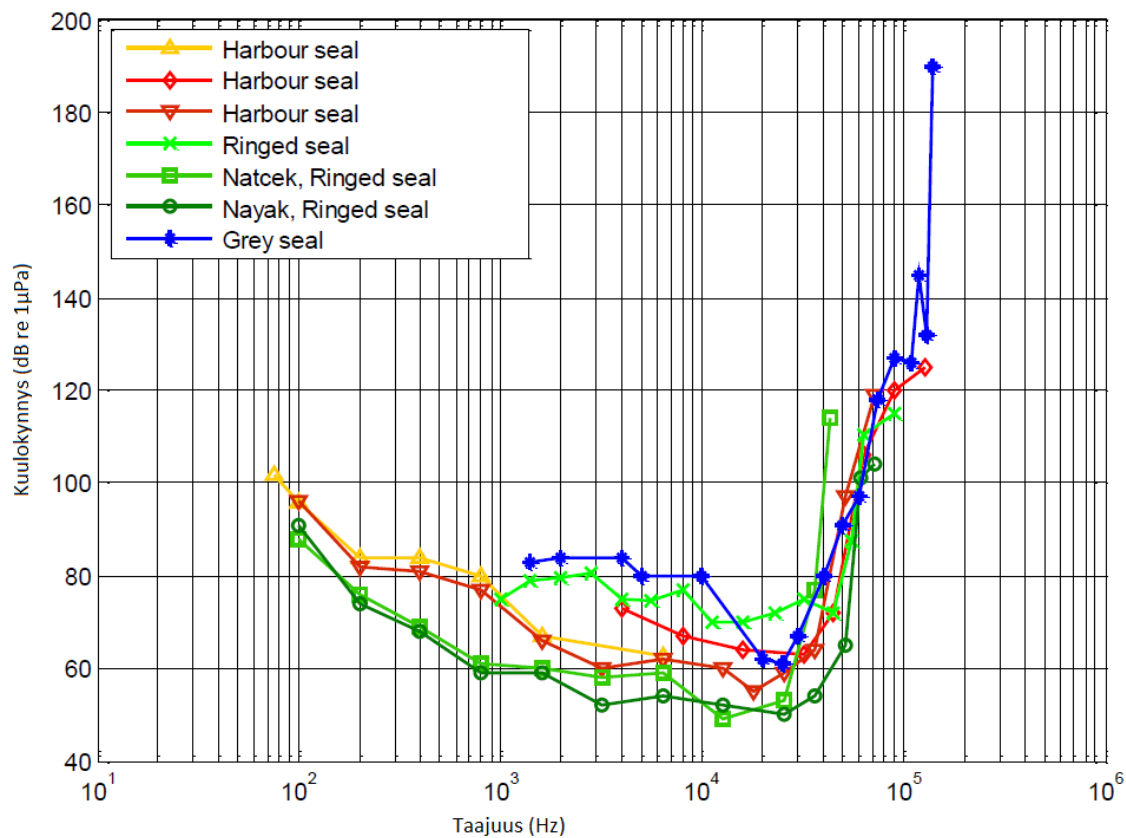
Harmaahylkeen kuuloalue ulottuu 1,4 kHz:n alapuolelta 100 kHz:iin ja kirjohylkeiden kuuloalue kattaa alle 100 Hz:stä – 79 kHz:iin saakka (kuva 5). Hylkeiden kuulokynnykset ovat 80 dB alueella jo 200 Hz:stä alkaen.¹⁰

⁹ Southall, Brandon & J. Finneran, James & Reichmuth, Colleen & Nachtigall, Paul & Ketten, Darlene &. Marine Mammal Noise Exposure. Criteria: Updated Scientific Recommendations for Residual Hearing Effects. s.l. : Aquatic Mammals. 2019. DOI 10.1578.

¹⁰ HELCOM. WP 4.1 Deliverable 3: Report on noise sensitivity of animals in the Baltic. s.l. : HELCOM Baltic Sea Environment Proceedingd series, 2017.



Kuva 4 Pyörriäisen kuulokynnys (HELCOM 2017)



Kuva 5 Hylkeiden kuulokynnyksiä (HELCOM 2017)

5.2 Kalat

Kalat pystyvät aistimaan paitsi äänenpaineen muutoksia myös hiukkasliikettä kylkiviivan ja sisäkorvan otoliittien avulla. Hiukkasliikkeen aistiminen on erityisen hyödyllistä lähellä äänilähdettä ja matalilla taajuuksilla¹¹. Uimarakolliset kalat voivat havaita paineen muutoksia ja välittää nämä värähtelyt sisäkorvaan aistittaviksi. Särkikaloiden kuulo on kehittynyt erityisen herkäksi niiden Weberin luiden ansiosta, jotka yhdistävät uimarakon etuosan sisäkorvaan, antaen niille laajemman kuuloalueen ja paremman kuulokynnyksen kuin monilla muilla kaloilla¹². Kalojen kuuloaistissa on merkittäviä lajikohtaisia eroja, ja ne voidaan ryhmitellä neljään luokkaan äänen aistimisen perusteella:

1. Kalat, joilla ei ole uimarakkoa ja jotka aistivat pääasiassa hiukkasliikettä (esim. kampela, tokko).
2. Kalat, joiden uimarakko ei osallistu kuulemiseen ja jotka aistivat pääasiassa hiukkasliikettä (esim. lohi, meritaimen, ahven, siika, muikku).
3. Kalat, joilla uimarakko osallistuu kuulemiseen ja jotka aistivat sekä hiukkasliikettä että paineaallon (esim. särkikalat, sillikalat).
4. Kalojen mäti ja poikaset.

Kaloihin kohdistuvat vaikutukset keskittyvät fyysisiin vaurioihin. Kuuloelinten fysikaaliset vahingot johtavat harvoin pysyvään kuulonalenemaan, koska aistihavaintoihin liittyvä epiteelikudos uusiutuu ajan myötä. Kalojen altistusalueen mallintamisessa käytetään taajuuspainottamattomia äänenpaineen huippuarvoja.¹³

5.3 Raja-arvot

Melun haitallisuuden raja-arvot vaihtelevat melun luonteen (impulssimainen vai ei-impulssimainen) sekä lajin yksilöllisen herkkyyden mukaan. Merinisäkkäille louhinnan raja-arvoina käytettiin Yhdysvaltain sää ja valtamerentutkimusorganisaation (NOAA) suosittamia melualtistuksen raja-arvoja, jotka perustuvat merinisäkkäiden kuulopainotettuihin kumulatiivisiin äänialtistustasoihin (taulukko 3). Korkean taajuuden

¹¹ The contribution of lateral line to 'hearing' in fish. Higgs D.M., Radford C.A. 216: 1484-1490, s.l. : The Journal of Experimental Biology, 2013.

¹² Hearing in eight species of northern Canadian freshwater fishes. Mann, D.A., Cott, P.A, Hanna, B.W. & Popper. 70: 109–120, s.l. : Journal of Fish Biology, 2007.

¹³ Popper, A. N., Hawkins, A. D., Fay, R. R., Mann, D. A., Bartol, S., Carlson, T. J., Coombs, S., Ellison, W. T., Gentry, R. I., Halvorsen, M. B., Løkkeborg, S., Rogers, P. H., Southall, B. L., Zeddis, D. G. & Tavolga, W. N. Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles: A Technical Report prepared by ANSI-Accredited Standards Committee S3/SC1 and registered with ANSI. s.l. : Springer International Publishing, 2014. ASA S3/SC1. 4.

HF-painotettuja kynnysarvoja sovelletaan pyöriäisiin ja PW-painotettuja kynnysarvoja sovelletaan hylkeisiin.¹⁴

Taulukko 3 Raja-arvot impulsiiviselle melulle (NOAA)

Laji, NOAA kuuloryhmä	TTS raja-arvo - Lyhytaikainen kuulontarkkuuden heikkeneminen ja pakenemisreaktion alkaminen.	PTS raja-arvo - Pysyvä kuulonalenema mahdollinen.
Hylkeet, PW	170 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	185 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$
Pyöriäinen, HF	140 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	155 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$

Taulukko 4. Raja-arvot ei-impulsiiviselle melulle (NOAA)

Laji, NOAA kuuloryhmä	TTS kynnysarvo - Lyhytaikainen kuulontarkkuuden heikkeneminen ja pakenemisreaktion alkaminen.	PTS kynnysarvo - Pysyvä kuulonalenema mahdollinen.
Hylkeet, PW	181 SELcum, PW-painotus	201 SELcum, PW-painotus
Pyöriäinen, HF	153 SELcum, HF-painotus	173 SELcum, HF-painotus

Kaloihin kohdistuvien vaikutusten raja-arvot perustuvat vuonna 2014 kansainvälisen työryhmän kokoamiin kaloja ja merikilpikonnia koskeviin vertaisarvioituihin tutkimustuloksiin. Vedenalaisten räjäytysten osalta ehdotettiin kuolettavan vamman raja-arvoksi kaikille kalatyypeille arvoja 229–234 SPLpk, dB re 1 μPa (taulukko 5). Kaloihin kohdistuvan impulsiivisen melunosalta raja-arvot perustuvat painottamattomiin huippuäänepainetasoihin ja ei-impulsiivisen melun osalta painottamattomiin äänenpainetasoihin.¹⁵

¹⁴ NOAA. Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing (Version 2.0): Underwater Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts. s.l. : U.S. Dept. of Commer., 2018. NMFS-OPR-59

¹⁵ Popper, A. N., Hawkins, A. D., Fay, R. R., Mann, D. A., Bartol, S., Carlson, T. J., Coombs, S., Ellison, W. T., Gentry, R. I., Halvorsen, M. B., Løkkeborg, S., Rogers, P. H., Southall, B. L., Zeddis, D. G. & Tavolga, W. N. Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles: A Technical Report prepared by ANSI-Accredited Standards Committee S3/SC1 and registered with ANSI. s.l. : Springer International Publishing, 2014. ASA S3/SC1. 4.

Taulukko 5 Raja-arvot impulsiiviselle melulle (Popper 2014)

Äänilähde	Kalan tyyppi	Kuolema tai kuolettava vamma
Räjähdykset	Kalat, joilla ei ole uimarakkoa (aistivat pääosin partikkelien liikettä, mm. kampela)	229 - 234 SPLpk, dB re 1μPa
Räjähdykset	Kalat, joiden uimarakko ei osallistu kuulemiseen (aistivat pääosin partikkelien liikettä, mm. lohi ja turska)	229 - 234 SPLpk, dB re 1μPa
Räjähdykset	Kalat, joilla uimarakko osallistuu kuulemiseen (aistivat myös paineaallon, mm. särkikalat, sillikalat)	229 - 234 SPLpk, dB re 1μPa
Räjähdykset	Kalojen mäti ja poikaset	229 - 234 SPLpk, dB re 1μPa

Taulukko 6. Raja-arvot ei-impulssimaiselle melulle (Popper 2014)

Kalan tyyppi	Kuolema tai kuolettava vamma	Palautuva kudosaivastus	Väliaikainen kuulonalenema	Peittovaikutus
Kalat, joilla uimarakko osallistuu kuulemiseen (aistivat myös paineaallon, mm. särkikalat, sillikalat)	Matala todennäköisyys	170 SPL 48 h	158 dB SPL 12 h	Korkea

6 Tulokset ja vaikutusarvio

Melun altistusalueet esitetään kartoissa pintakarttoina siten, että jokaisessa pisteessä esitetään se syvyyskerros, jossa äänialtistustaso on suurin. Taulukoissa esitetään altistusetäisyyksien keskiarvo sekä maksimietäisyys.

Yleisesti tuloksista voidaan tulkita, että meluvaikutukset vaimenevat mataluudesta johtuen huomattavasti nopeammin hankealueen länsipuolella. Itä- ja kaakkoissuuntaan meluvaikutukset ovat selkeästi suuremmat, mutta sielläkin altistusalueet jäävät Stora Fagerön kohdalle.

Yleensä voimakkaassa kerrostuneisuuden tilanteessa (SSP2) altistusalueet ovat pienempiä, kuin tilanteessa, jossa äänennopeusprofiili oli tasainen pinnasta pohjaan saakka (SSP1). Tilanne, jossa äänennopeus laskee syvyyden myötä, johtaa äänen taittumiseen alaspäin. Tällainen negatiivinen äänigradiendi johtaa pohjavaimennuksen lisääntymiseen ja sitä myös pienempiin altistusalueisiin. Hankealueen syvyysolosuhteet ovat kuitenkin niin matalia, ettei harppauskerros vaimentanut äänen etenemistä melun

vaikutusalueella. Tämä vastaa todellista tilannetta, jossa vesi on rannikon lähellä matalilla alueilla hyvin sekoittunut.

Mallinnustulosten perusteella SSP2 -skenaarioissa vaikutusalueet olivat SSP1 -skenaarioita suurempia, koska äänennopeus oli veden lämpötilasta johtuen suurempi SSP2 -skenaariossa. Suuremmat altistusalueet kuitenkin näkyivät lähinnä pyöriäisten altistusalueissa, joissa korkeampien taajuuksien merkitys on suurempi. Hylkeiden ja kalojen kohdalla molempien skenaarioiden altistusetäisyydet olivat lähellä toisiaan.

6.1 Vedenalainen louhinta

Louhinnan aiheutuneet altistusalueet olivat suurimmat. Tilapäisen kuulontarkkuuden heikkenemisen ja pakenemisreaktion altistusetäisyydet on esitetty taulukossa 7 ja pysyvän kuulonaleneman altistusalueet taulukossa 8.

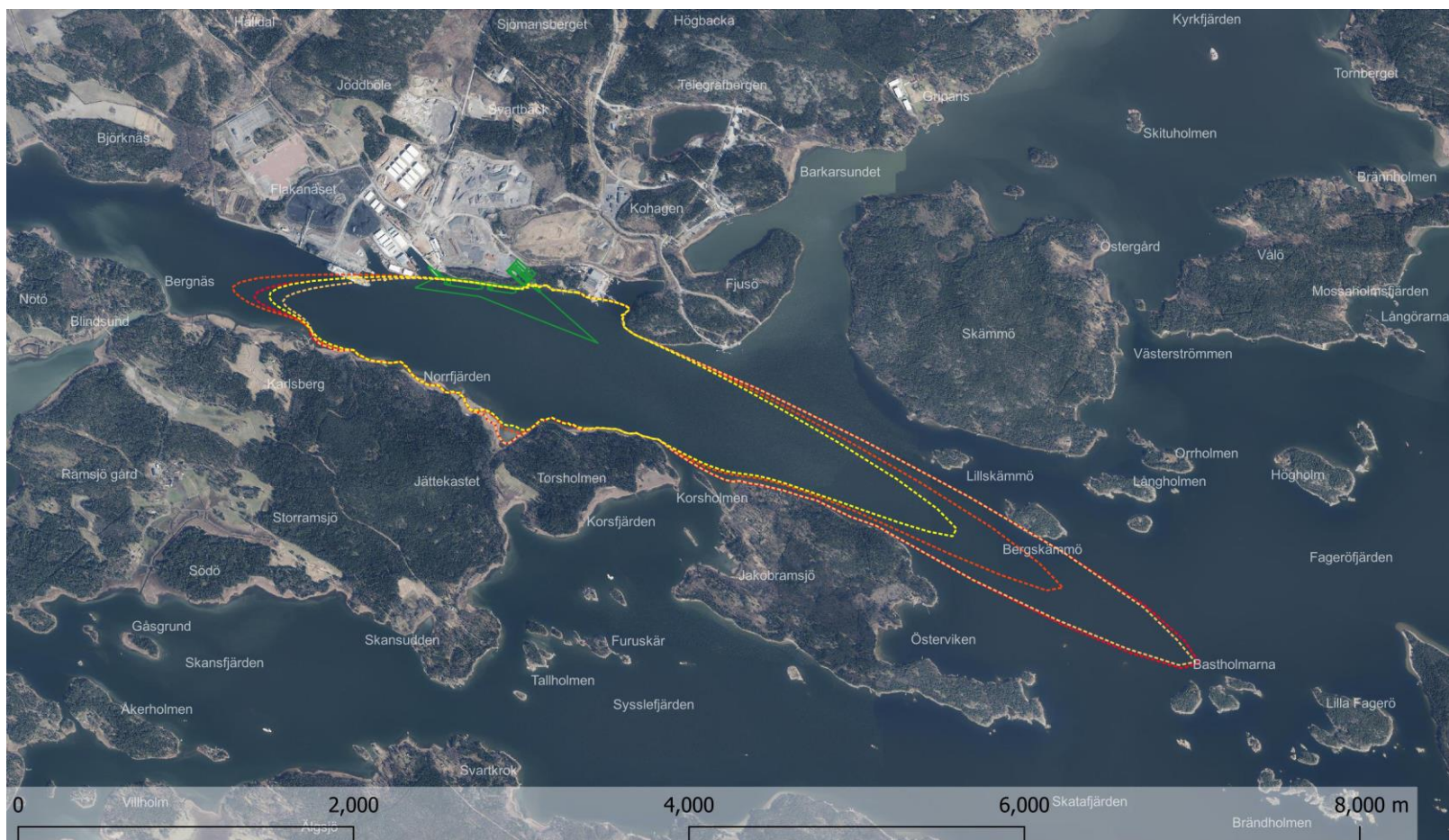
Tilapäisen kuulontarkkuuden heikkenemisen ja pakenemisreaktion altistusetäisyys oli pyöriäisellä keskimäärin 696 metriä maksimietäisyyden ollessa 4734 metriä (kuvat 6 ja 7). Hylkeellä tilapäisen kuulonaleneman tai pakenemisreaktion altistusetäisyys oli taas keskimäärin 715 metriä ja maksimietäisyys 4510 metriä (kuvat 8 ja 9).

Pyöriäisen pysyvän kuulonaleneman altistusetäisyys ulottui suurimmillaan 4198 metrin päähän keskiarvon ollessa 608 metriä (kuvat 10 ja 11). Hylkeillä pysyvän kuulonaleneman altistusetäisyydet ulottuivat keskimäärin 576 metrin päähän, maksimietäisyyden ollessa 1983 metriä (kuvat 12 ja 13).

Kalojen kuoleman tai kuolettavan vamman huippuäänepainetason 229 SPLpk, dB re 1 μ Pa altistusalueeksi mallinnettiin keskimäärin 284 metriä ja maksimietäisyydeksi 690 metriä (taulukko 9, kuvat 14 ja 15).

Taulukko 7 Lyhytaikaisen kuulonaleneman ja pakenemisreaktion alkamisen altistusalueet vedenlaisille louhintatapahtumille.

Vedenalainen louhinta - Lyhytaikainen kuulontarkkuuden heikkeneminen ja pakenemisreaktion alkaminen - Merinisäkkäät					
Skenaario	SSP	Kuuloryhmä	Kynnysarvo	Altistusalueen maksimi [m]	Altistusalueen keskiarvo [m]
Louhinta 1 KA	1	NOAA HF TTS Pyöriäinen	140 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	2900	654
Louhinta 1 KA	2	NOAA HF TTS Pyöriäinen	140 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	4560	697
Louhinta 1 MAKS	1	NOAA HF TTS Pyöriäinen	140 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	3629	683
Louhinta 1 MAKS	2	NOAA HF TTS Pyöriäinen	140 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	4563	703
Louhinta 2 KA	1	NOAA HF TTS Pyöriäinen	140 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	3311	674
Louhinta 2 KA	2	NOAA HF TTS Pyöriäinen	140 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	4733	728
Louhinta 2 MAKS	1	NOAA HF TTS Pyöriäinen	140 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	3640	698
Louhinta 2 MAKS	2	NOAA HF TTS Pyöriäinen	140 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	4734	732
Louhinta 1 KA	1	NOAA HF TTS Hylje	170 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	4114	704
Louhinta 1 KA	2	NOAA HF TTS Hylje	170 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	3905	699
Louhinta 1 MAKS	1	NOAA HF TTS Hylje	170 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	4205	717
Louhinta 1 MAKS	2	NOAA HF TTS Hylje	170 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	4388	715
Louhinta 2 KA	1	NOAA HF TTS Hylje	170 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	3941	708
Louhinta 2 KA	2	NOAA HF TTS Hylje	170 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	4252	724
Louhinta 2 MAKS	1	NOAA HF TTS Hylje	170 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	4247	725
Louhinta 2 MAKS	2	NOAA HF TTS Hylje	170 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	4510	732



Pyöriäisen lyhytaikaisen kuulontarkkuuden heikkenemisen ja pakenemisreaktion altistusalue

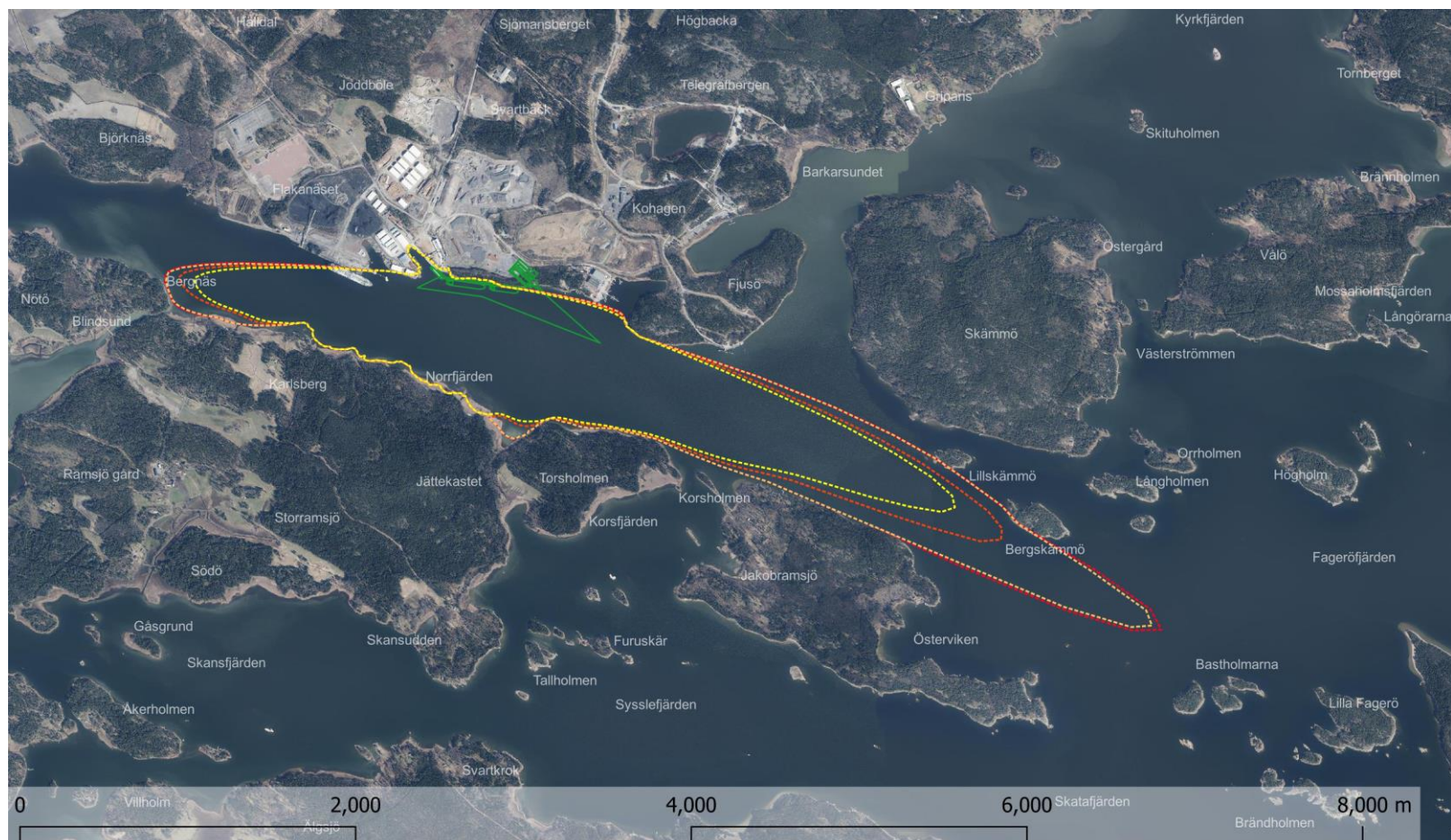
- Keskimääräinen räjähdelainemäärä - SSP1
- Keskimääräinen räjähdelainemäärä - SSP2
- Suurin yksittäinen räjähdelainemäärä - SSP1
- Suurin yksittäinen räjähdelainemäärä - SSP2



— Hankealue

Taustakartta © Maanmittauslaitos

Kuva 6 Pyöriäisen tilapäisen kuulontarkkuuden heikkenemisen ja pakenemisreaktion altistusalueet louhintatapahtumille – Louhinta 1. SSP = Äänennopeusprofiili



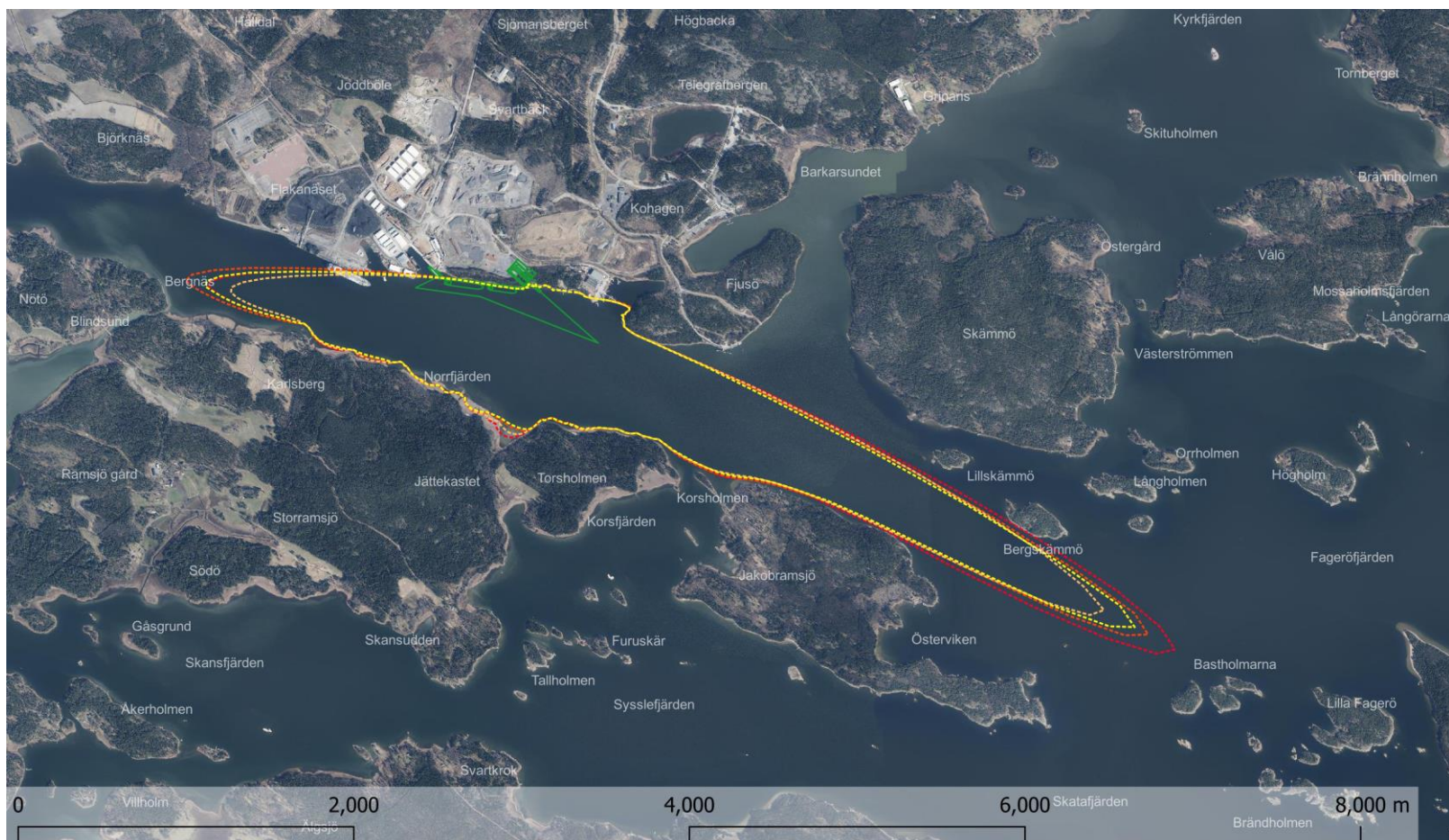
Pyöriäisen lyhytaikaisen kuulontarkkuuden heikkenemisen ja pakenemisreaktion altistusalue

- Keskimääräinen räjähdeainemäärä - SSP1
- Keskimääräinen räjähdeainemäärä - SSP2
- Suurin yksittäinen räjähdeainemäärä - SSP1
- Suurin yksittäinen räjähdeainemäärä - SSP2



— Hankealue
Taustakartta © Maanmittauslaitos

Kuva 7 Pyöriäisen tilapäisen kuulontarkkuuden heikkenemisen ja pakenemisreaktion altistusalueet louhintatapahtumille – Louhinta 2. SSP = Äänennopeusprofiili



Hylkeen lyhytaikaisen kuulontarkkuuden heikkenemisen ja pakenemisreaktion altistusalue

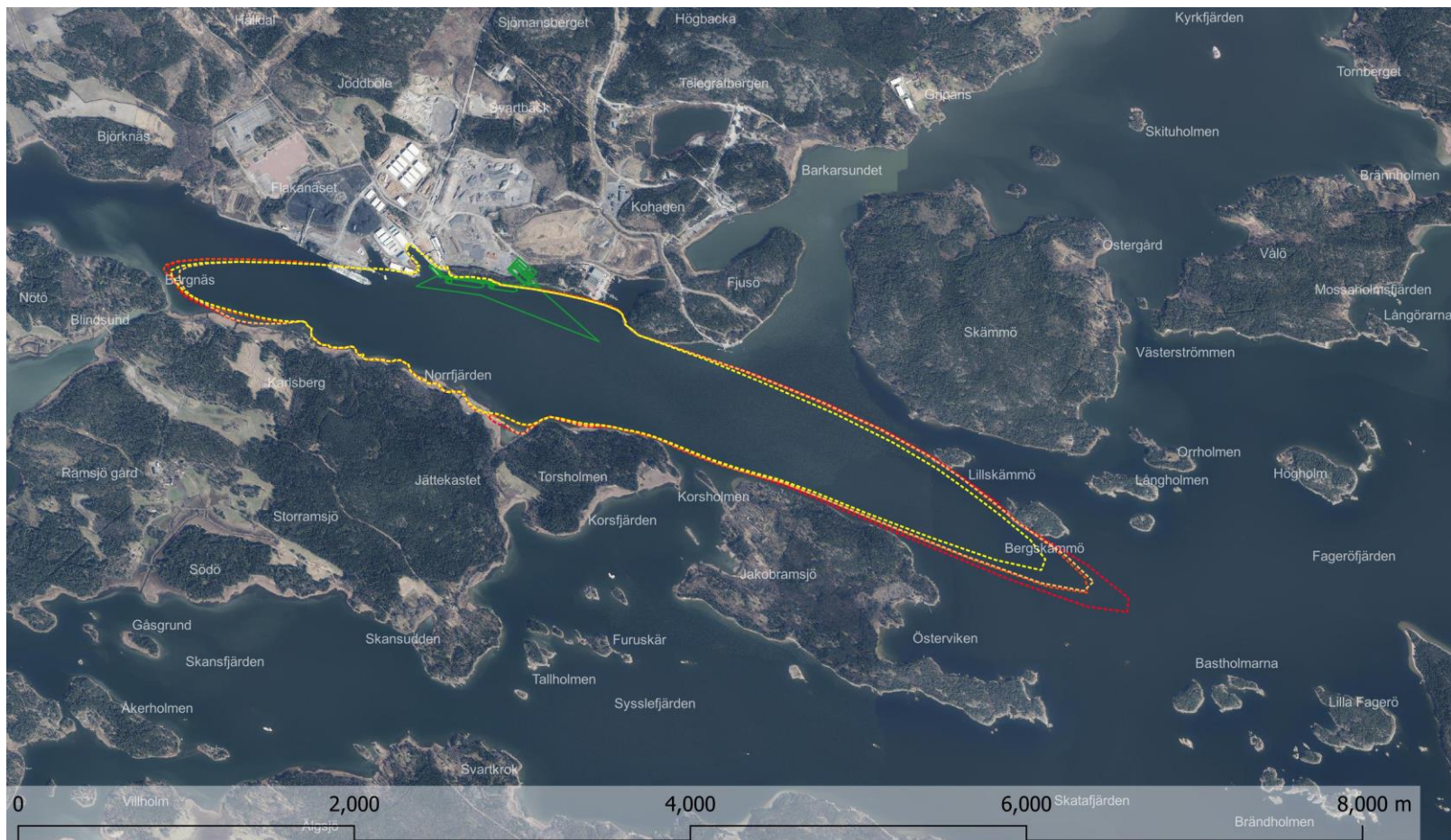
- Keskimääräinen räjähdelainemäärä - SSP1
- Keskimääräinen räjähdelainemäärä - SSP2
- Suurin yksittäinen räjähdelainemäärä - SSP1
- Suurin yksittäinen räjähdelainemäärä - SSP2



— Hankealue

Taustakartta © Maanmittauslaitos

Kuva 8 Hylkeen tilapäisen kuulontarkkuuden heikkenemisen ja pakenemisreaktion altistusalueet louhintatapahtumille – Louhinta 1. SSP = Äänennopeusprofiili



Hylkeen lyhytaikaisen kuulontarkkuuden heikkenemisen ja pakenemisreaktion altistusalue

- Keskimääräinen räjähdemäärä - SSP1
- Keskimääräinen räjähdemäärä - SSP2
- Suurin yksittäinen räjähdemäärä - SSP1
- Suurin yksittäinen räjähdemäärä - SSP2

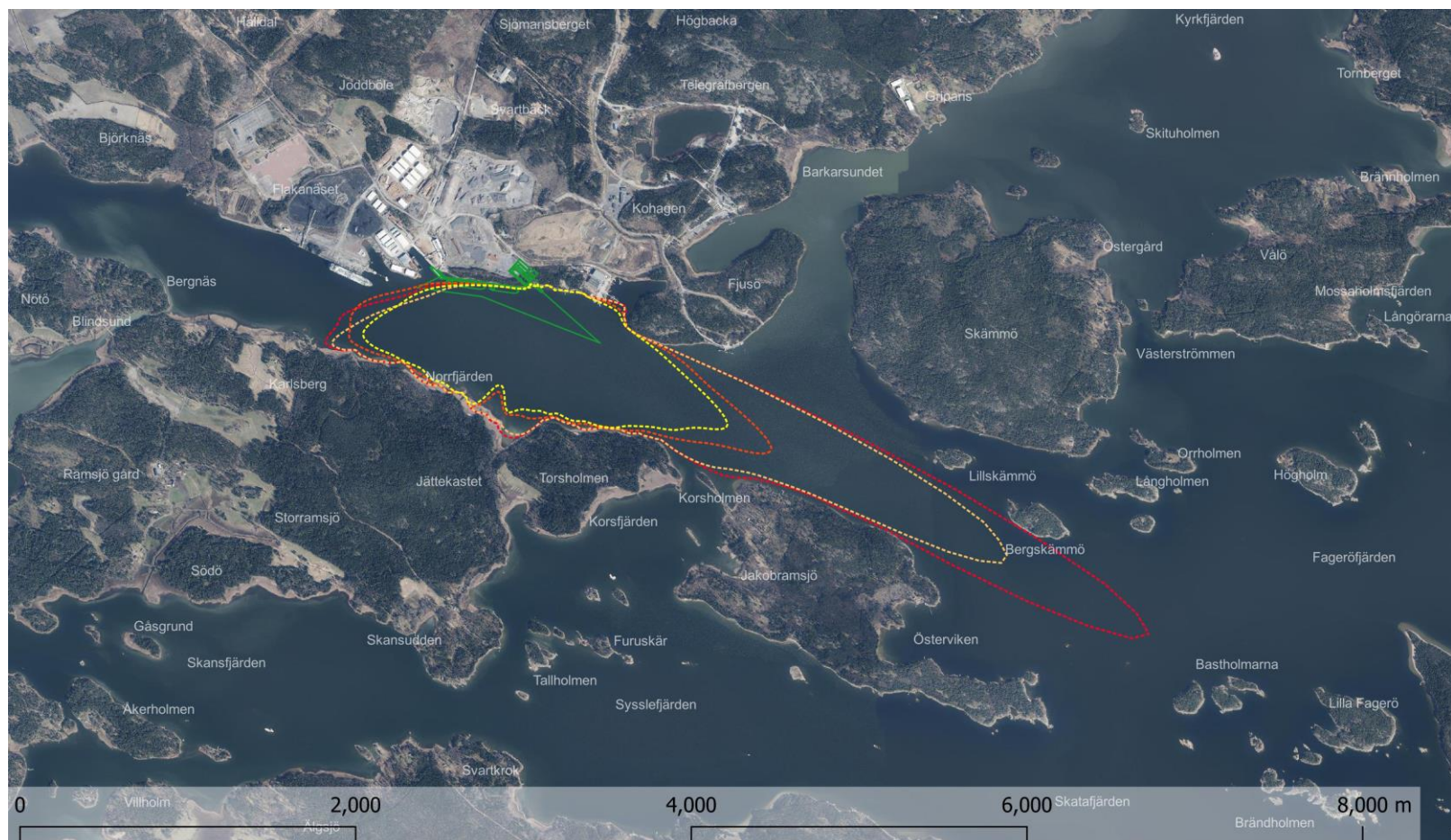


— Hankealue
Taustakartta © Maanmittauslaitos

Kuva 9 Hylkeen tilapäisen kuulontarkkuuden heikkenemisen ja pakenemisreaktion altistusalueet louhintatapahtumille – Louhinta 2. SSP = Äänennopeusprofiili

Taulukko 8 Pysyvän kuulonaleneman altistusalueet vedenlaisille louhintatapahtumille.

Vedenalainen louhinta - Pysyvän kuulonaleneman altistusalue - Merinisäkkäät					
Skenaario	SSP	Kuuloryhmä	Kynnysarvo	Altistusalueen maksimi [m]	Altistusalueen keskiarvo [m]
Louhinta 1 KA	1	NOAA HF PTS Pyöriäinen	155 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	1406	527
Louhinta 1 KA	2	NOAA HF PTS Pyöriäinen	155 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	3230	628
Louhinta 1 MAKS	1	NOAA HF PTS Pyöriäinen	155 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	1702	563
Louhinta 1 MAKS	2	NOAA HF PTS Pyöriäinen	155 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	4198	657
Louhinta 2 KA	1	NOAA HF PTS Pyöriäinen	155 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	1493	529
Louhinta 2 KA	2	NOAA HF PTS Pyöriäinen	155 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	3037	684
Louhinta 2 MAKS	1	NOAA HF PTS Pyöriäinen	155 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	1819	563
Louhinta 2 MAKS	2	NOAA HF PTS Pyöriäinen	155 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	3776	712
Louhinta 1 KA	1	NOAA HF PTS Hylje	185 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	1516	553
Louhinta 1 KA	2	NOAA HF PTS Hylje	185 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	1369	534
Louhinta 1 MAKS	1	NOAA HF PTS Hylje	185 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	1927	609
Louhinta 1 MAKS	2	NOAA HF PTS Hylje	185 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	1809	597
Louhinta 2 KA	1	NOAA HF PTS Hylje	185 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	1455	550
Louhinta 2 KA	2	NOAA HF PTS Hylje	185 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	1365	548
Louhinta 2 MAKS	1	NOAA HF PTS Hylje	185 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	1983	610
Louhinta 2 MAKS	2	NOAA HF PTS Hylje	185 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	1876	606



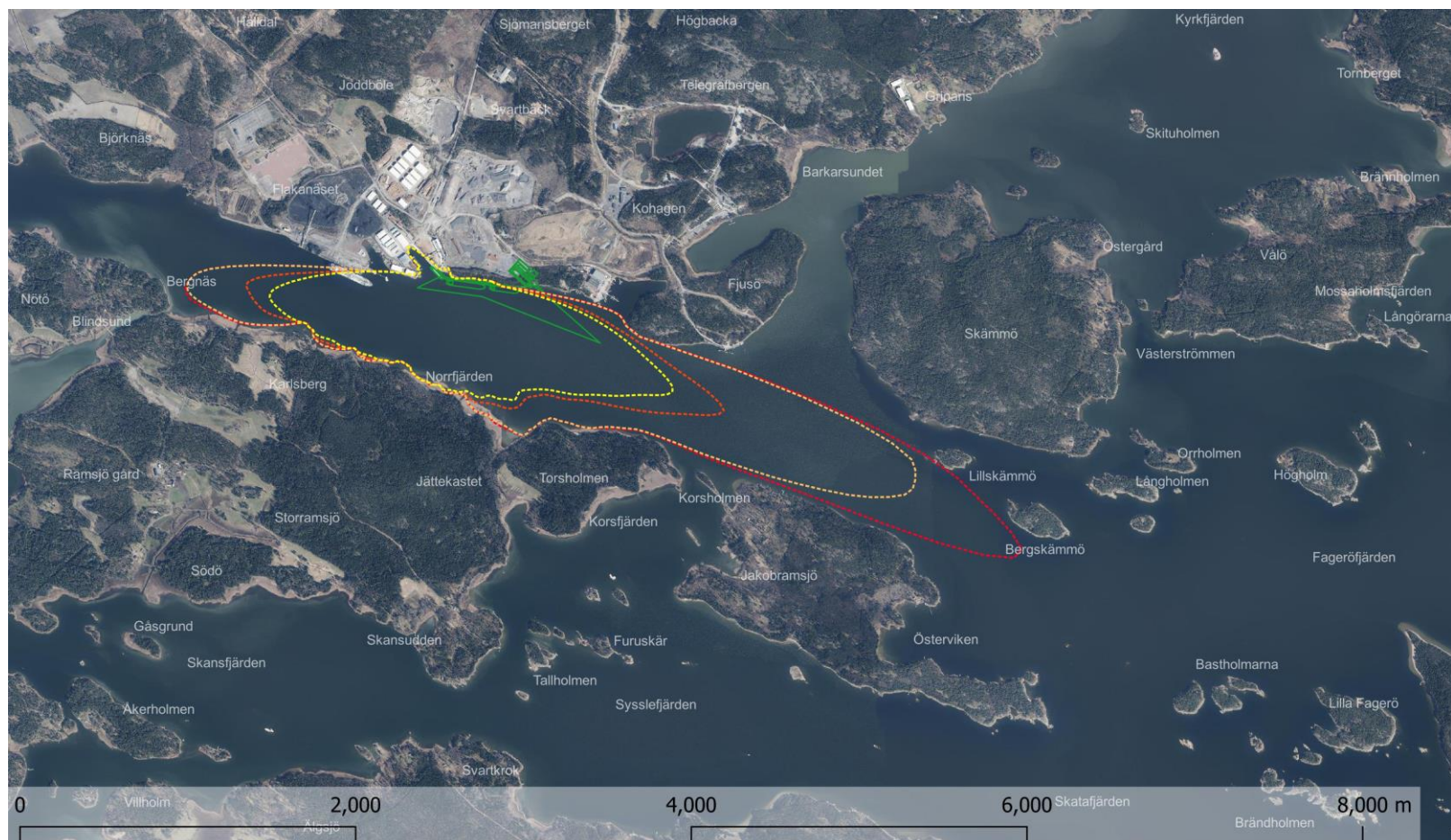
Pyöriäisen pysyvän kuulonaleneman altistusalue

- Keskimääräinen räjähdelainemäärä - SSP1
- Keskimääräinen räjähdelainemäärä - SSP2
- Suurin yksittäinen räjähdelainemäärä - SSP1
- Suurin yksittäinen räjähdelainemäärä - SSP2



— Hankealue
Taustakartta © Maanmittauslaitos

Kuva 10 Pyöriäisen pysyvän kuulonaleneman altistusalueet louhintatapahtumille - Louhinta 1. SSP = Äänennopeusprofiili



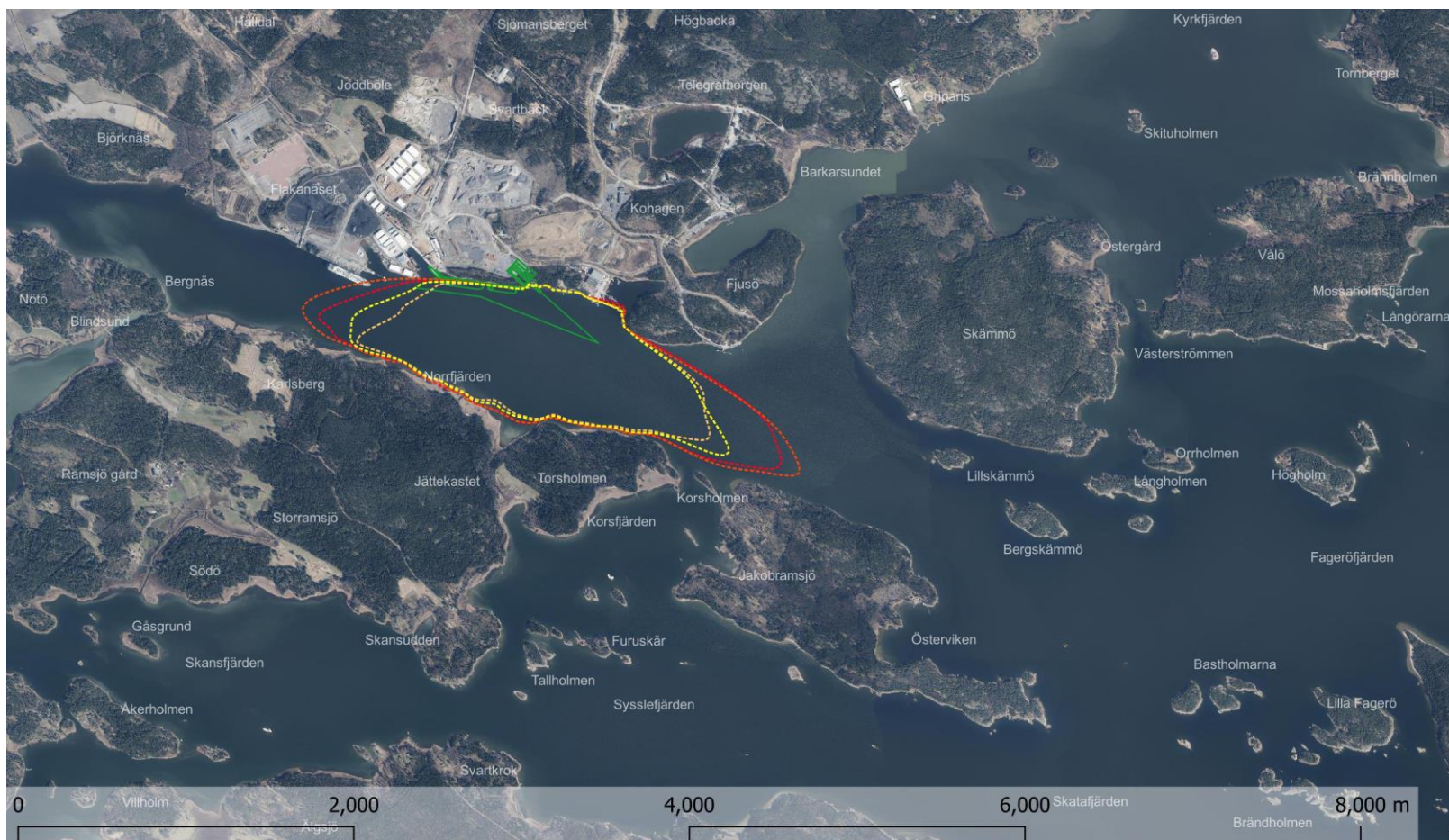
Pyöriäisen pysyvän kuulonaleneman altistusalue

- Keskimääräinen räjähdelainemäärä - SSP1
- Keskimääräinen räjähdelainemäärä - SSP2
- Suurin yksittäinen räjähdelainemäärä - SSP1
- Suurin yksittäinen räjähdelainemäärä - SSP2



— Hankealue
Taustakartta © Maanmittauslaitos

Kuva 11 Pyöriäisen pysyvän kuulonaleneman altistusalueet louhintatapahtumille - Louhinta 2. SSP = Äänennopeusprofiili



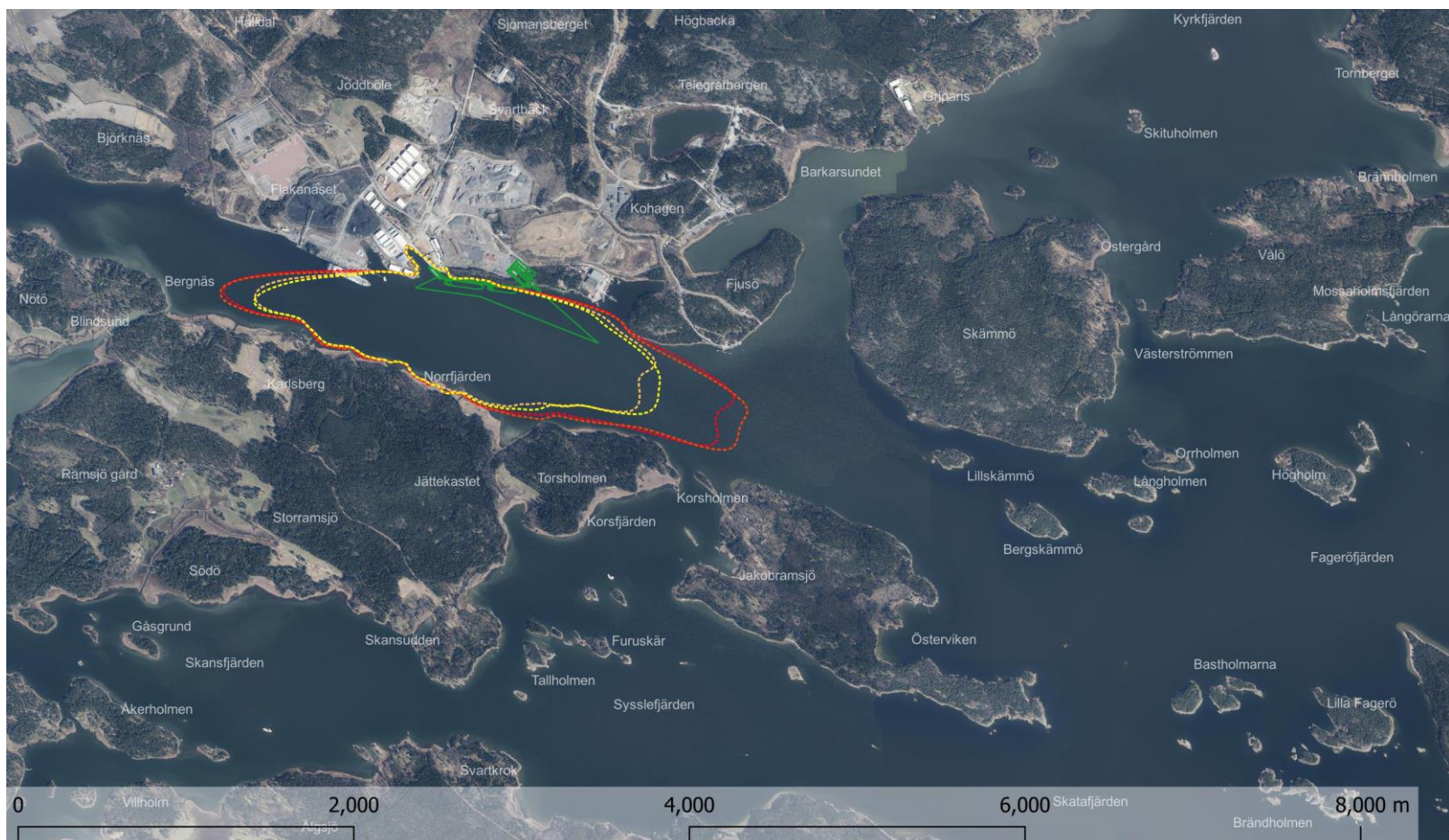
Hylkeen pysyvän kuulonaleneman altistusalue

- Keskimääräinen räjähdelainemäärä - SSP1
- Keskimääräinen räjähdelainemäärä - SSP2
- Suurin yksittäinen räjähdelainemäärä - SSP1
- Suurin yksittäinen räjähdelainemäärä - SSP2



— Hankealue
Taustakartta © Maanmittauslaitos

Kuva 12 Hylkeen pysyvän kuulonaleneman altistusalueet louhintatapahtumille - Louhinta 1. SSP = Äänennopeusprofiili



Hylkeen pysyvän kuulonaleneman altistusalue

- Keskimääräinen räjähdelainemäärä - SSP1
- Keskimääräinen räjähdelainemäärä - SSP2
- Suurin yksittäinen räjähdelainemäärä - SSP1
- Suurin yksittäinen räjähdelainemäärä - SSP2



— Hankealue
Taustakartta © Maanmittauslaitos

Kuva 13 Hylkeen pysyvän kuulonaleneman altistusalueet louhintatapahtumille - Louhinta 2. SSP = Äänennopeusprofiili

Taulukko 9 Kalojen kuoleman tai kuolettavan vamman altistusalueet vedenlaisille louhintatapahtumille.

Kalojen kuoleman tai kuolettavan vamman altistusalueet					
Skenaario	SSP	Kuuloryhmä	Kynnysarvo	Altistusalueen maksimi [m]	Altistusalueen keskiarvo [m]
Louhinta 1 KA	1	Kalat, painottamaton	229 SPLpk, dB re 1 µPa	406	217
Louhinta 1 KA	2	Kalat, painottamaton	229 SPLpk, dB re 1 µPa	337	193
Louhinta 1 MAKS	1	Kalat, painottamaton	229 SPLpk, dB re 1 µPa	660	339
Louhinta 1 MAKS	2	Kalat, painottamaton	229 SPLpk, dB re 1 µPa	560	306
Louhinta 2 KA	1	Kalat, painottamaton	229 SPLpk, dB re 1 µPa	391	245
Louhinta 2 KA	2	Kalat, painottamaton	229 SPLpk, dB re 1 µPa	333	218
Louhinta 2 MAKS	1	Kalat, painottamaton	229 SPLpk, dB re 1 µPa	690	383
Louhinta 2 MAKS	2	Kalat, painottamaton	229 SPLpk, dB re 1 µPa	655	368



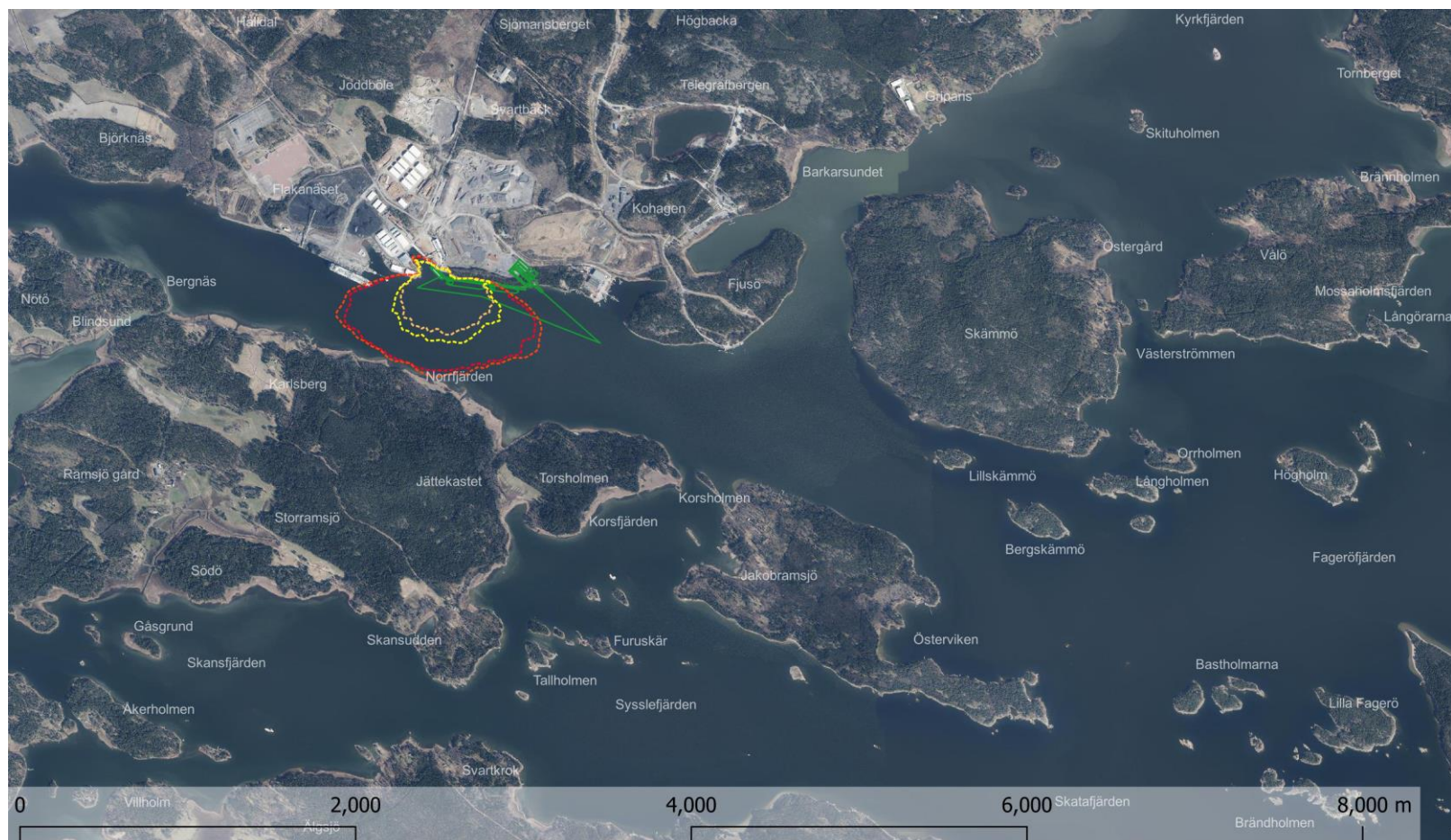
Kalojen kuoleman tai kuolettavan vamman altistusalue

- Keskimääräinen räjähdelainemäärä - SSP1
- Keskimääräinen räjähdelainemäärä - SSP2
- Suurin yksittäinen räjähdelainemäärä - SSP1
- Suurin yksittäinen räjähdelainemäärä - SSP2



— Hankealue
Taustakartta © Maanmittauslaitos

Kuva 14 Kalojen kuoleman tai kuolettavan vamman altistusalueet – Louhinta 1. SSP = Äänennopeusprofiili



Kalojen kuoleman tai kuolettavan vamman altistusalue

- Keskimääräinen räjähdelainemäärä - SSP1
- Keskimääräinen räjähdelainemäärä - SSP2
- Suurin yksittäinen räjähdelainemäärä - SSP1
- Suurin yksittäinen räjähdelainemäärä - SSP2



— Hankealue
Taustakartta © Maanmittauslaitos

Kuva 15 Kalojen kuoleman tai kuolettavan vamman altistusalueet – Louhinta 2. SSP = Äänennopeusprofiili

6.2 Maa-alueen louhinta (AWT-terminaali)

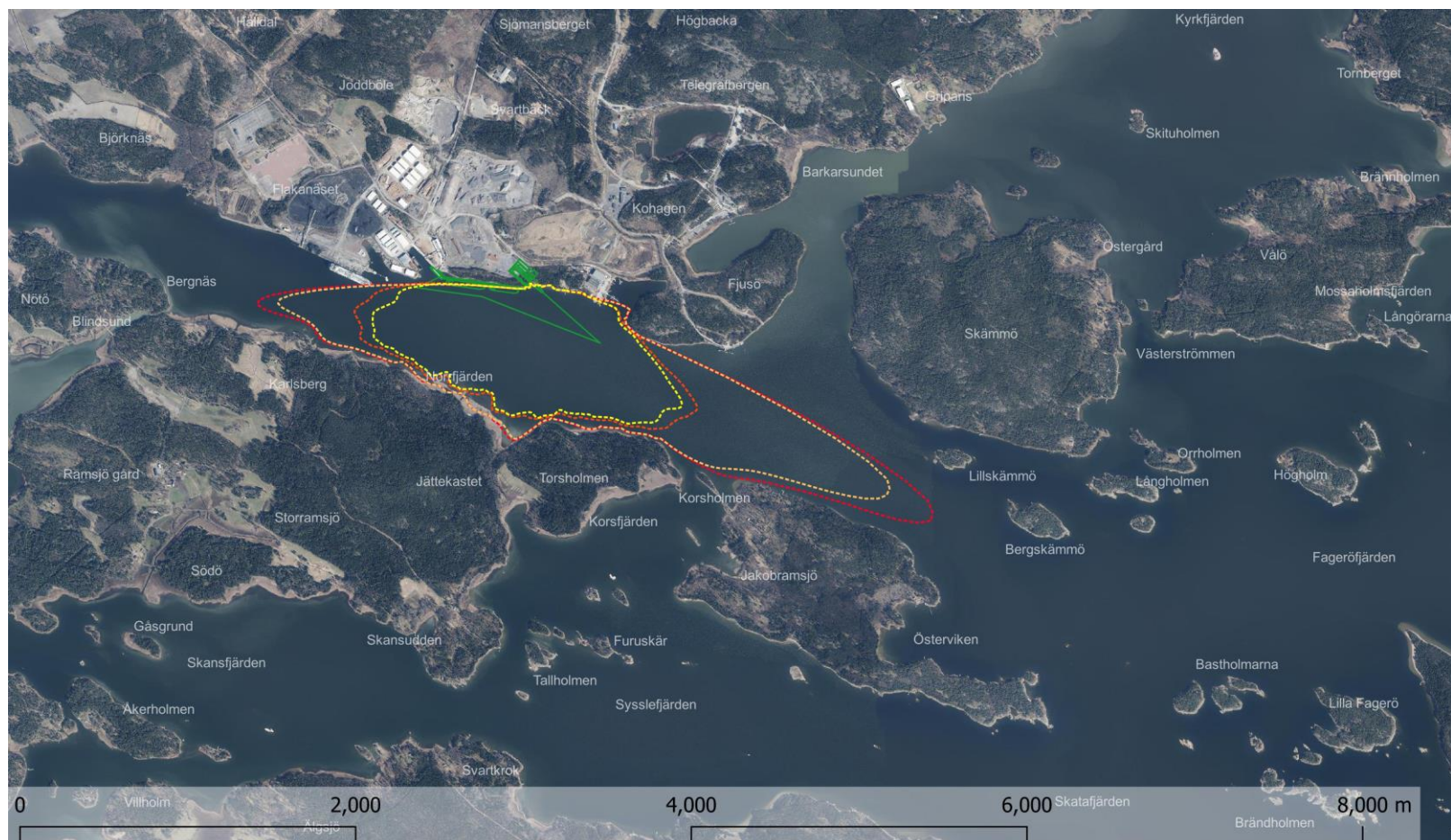
Maa-alueen louhinnan altistusalueet on esitetty taulukossa 10. Tilapäisen kuulontarkkuuden heikkenemisen ja pakenemisreaktion altistusetäisyys oli pyöriäisellä keskimäärin 571 metriä maksimietäisyyden ollessa 2748 metriä (kuva 16). Hylkeellä tilapäisen kuulonaleneman tai pakenemisreaktion altistusetäisyys oli taas keskimäärin 487 metriä ja maksimietäisyys 1161 metriä (kuva 17).

Pyöriäisen pysyvän kuulonaleneman altistusetäisyys ulottui suurimmillaan 903 metrin päähän keskiarvon ollessa 363 metriä (kuva 18). Hylkeillä pysyvän kuulonaleneman altistusetäisyydet ulottuivat keskimäärin 135 metrin päähän, maksimietäisyyden ollessa 295 metriä (kuva 19).

Kalojen kuoleman tai kuolettavan vamman huippuäänepainetason 229 SPLpk, dB re 1µPa altistusalue jäi kaikissa mallinuksissa alle 50 metrin päähän mallinnuspisteestä.

Taulukko 10 Kaikki mallinnetut altistusalueet maa-alueen louhintatapahtumille.

Maa-alueen louhinta - AWT-terminaali					
Skenaario	SSP	Kuuloryhmä	Kynnysarvo	Altistusalueen maksimi [m]	Altistusalueen keskiarvo [m]
Louhinta AWT KA	1	NOAA HF TTS Pyöriäinen 140	140 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	1130	515
Louhinta AWT KA	2	NOAA HF TTS Pyöriäinen 140	140 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	2443	607
Louhinta AWT MAX	1	NOAA HF TTS Pyöriäinen 140	140 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	1217	540
Louhinta AWT MAX	2	NOAA HF TTS Pyöriäinen 140	140 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	2748	623
Louhinta AWT KA	1	NOAA PW TTS Hylje 170	170 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	938	474
Louhinta AWT KA	2	NOAA PW TTS Hylje 170	170 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	941	450
Louhinta AWT MAX	1	NOAA PW TTS Hylje 170	170 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	1161	525
Louhinta AWT MAX	2	NOAA PW TTS Hylje 170	170 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	1158	499
Louhinta AWT KA	1	NOAA HF PTS Pyöriäinen 155	155 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	658	313
Louhinta AWT KA	2	NOAA HF PTS Pyöriäinen 155	155 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	720	378
Louhinta AWT MAX	1	NOAA HF PTS Pyöriäinen 155	155 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	701	336
Louhinta AWT MAX	2	NOAA HF PTS Pyöriäinen 155	155 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	903	428
Louhinta AWT KA	1	NOAA PW PTS Hylje 185	185 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	262	122
Louhinta AWT KA	2	NOAA PW PTS Hylje 185	185 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	220	121
Louhinta AWT MAX	1	NOAA PW PTS Hylje 185	185 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	295	150
Louhinta AWT MAX	2	NOAA PW PTS Hylje 185	185 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	271	146
Louhinta AWT KA	1	Kalat, painottomaton	229 SPLpk, dB re 1 μPa	<50	<50
Louhinta AWT KA	2	Kalat, painottomaton	229 SPLpk, dB re 1 μPa	<50	<50
Louhinta AWT MAKS	1	Kalat, painottomaton	229 SPLpk, dB re 1 μPa	<50	<50
Louhinta AWT MAKS	2	Kalat, painottomaton	229 SPLpk, dB re 1 μPa	<50	<50



Pyöriäisen lyhytaikaisen kuulontarkkuuden heikkenemisen ja pakenemisreaktion altistusalue

- Keskimääräinen räjähdelainemäärä - SSP1
- Keskimääräinen räjähdelainemäärä - SSP2
- Suurin yksittäinen räjähdelainemäärä - SSP1
- Suurin yksittäinen räjähdelainemäärä - SSP2



— Hankealue

Taustakartta © Maanmittauslaitos

Kuva 16 Pyöriäisen tilapäisen kuulontarkkuuden heikkenemisen ja pakenemisreaktion altistusalueet maa-alueen louhintatapahtumalle. SSP = Äänennopeusprofiili



Hylkeen lyhytaikaisen kuulontarkkuuden heikkenemisen ja pakenemisreaktion altistusalue

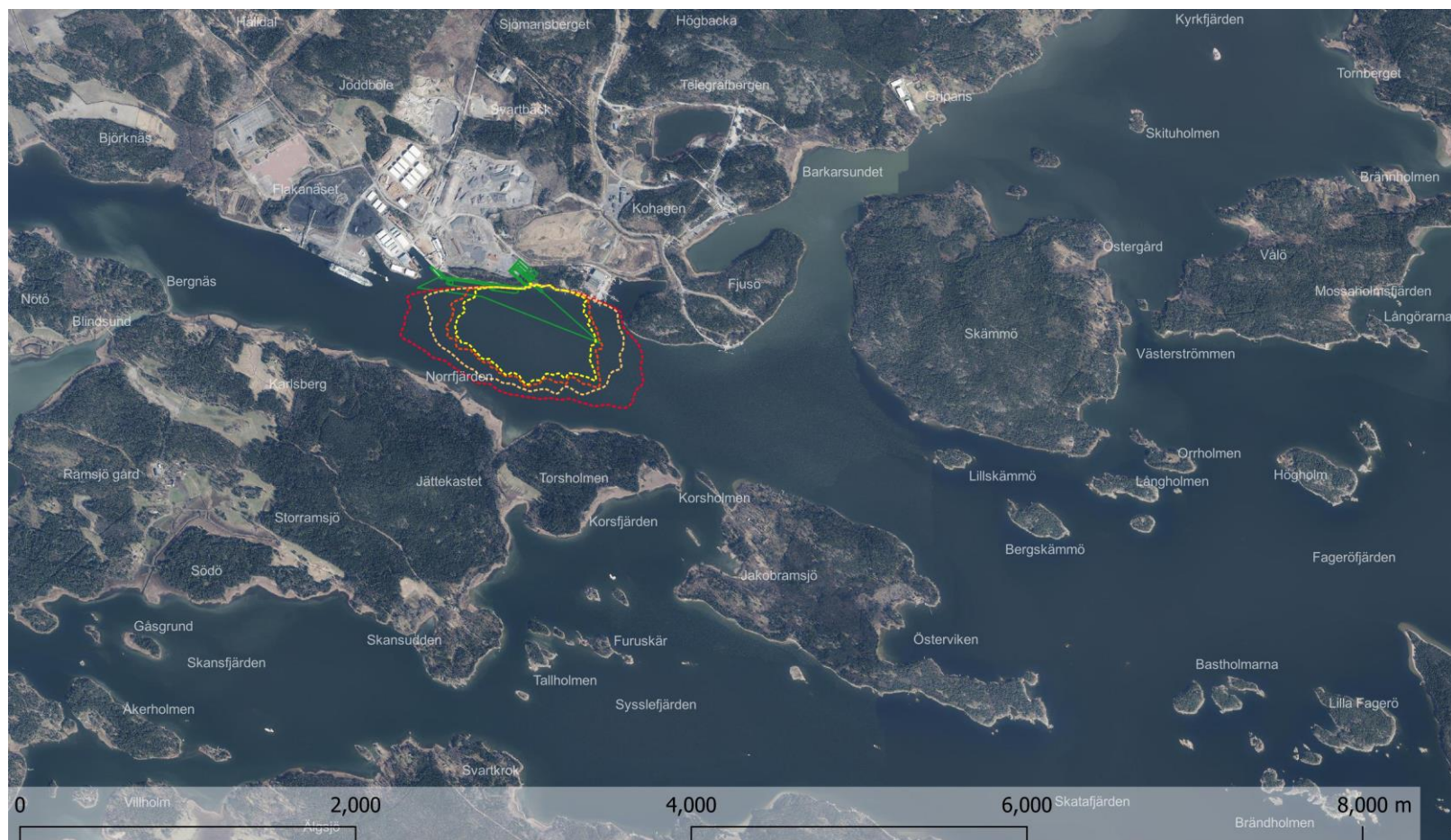
- Keskimääräinen räjähdelainemäärä - SSP1
- Keskimääräinen räjähdelainemäärä - SSP2
- Suurin yksittäinen räjähdelainemäärä - SSP1
- Suurin yksittäinen räjähdelainemäärä - SSP2



— Hankealue

Taustakartta © Maanmittauslaitos

Kuva 17 Hylkeen tilapäisen kuulontarkkuuden heikkenemisen ja pakenemisreaktion altistusalueet maa-alueen louhintapahtumalle. SSP = Äänennopeusprofiili



Pyöriäisen pysyvän kuulonaleneman altistusalue

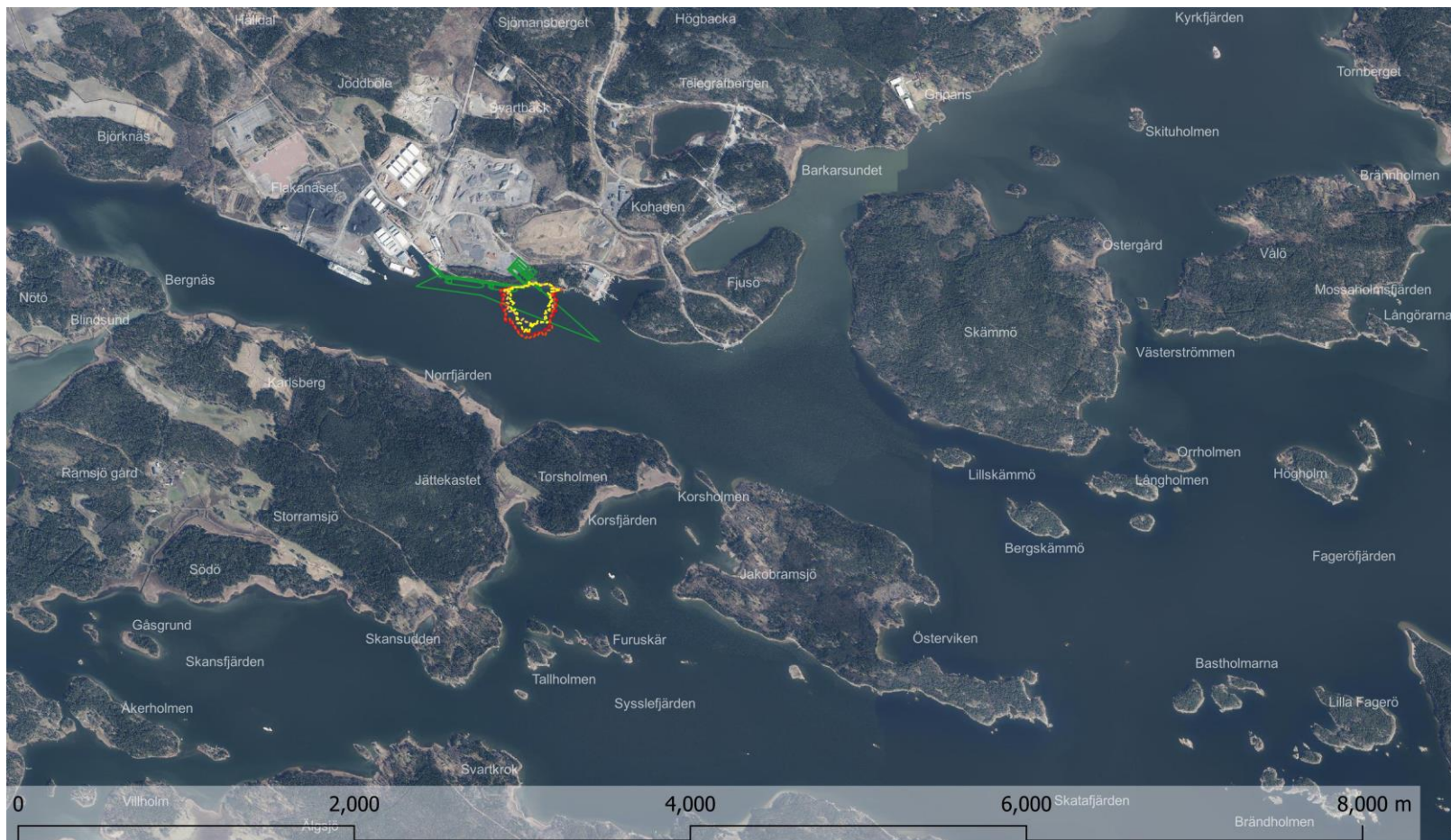
- Keskimääräinen räjähdeainemäärä - SSP1
- Keskimääräinen räjähdeainemäärä - SSP2
- Suurin yksittäinen räjähdeainemäärä - SSP1
- Suurin yksittäinen räjähdeainemäärä - SSP2



— Hankealue

Taustakartta © Maanmittauslaitos

Kuva 18 Pyöriäisen pysyvän kuulonaleneman altistusalueet maa-alueen louhintatapahtumalle. SSP = Äänennopeusprofiili



Hylkeen pysyvän kuulonaleneman altistusalue

- Keskimääräinen räjähdelainemäärä - SSP1
- Keskimääräinen räjähdelainemäärä - SSP2
- Suurin yksittäinen räjähdelainemäärä - SSP1
- Suurin yksittäinen räjähdelainemäärä - SSP2



— Hankealue
Taustakartta © Maanmittauslaitos

Kuva 19 Hylkeen pysyvän kuulonaleneman altistusalueet maa-alueen louhintatapahtumalle. SSP = Äänennopeusprofiili

6.3 Porapaalutus

Mallinnuksen altistusalueet perustuvat siihen oletukseen, että porapaalutusta tehdään vuorokauden aikana arviolta 4–5 tuntia. Altistusalueet on esitetty taulukossa 11.

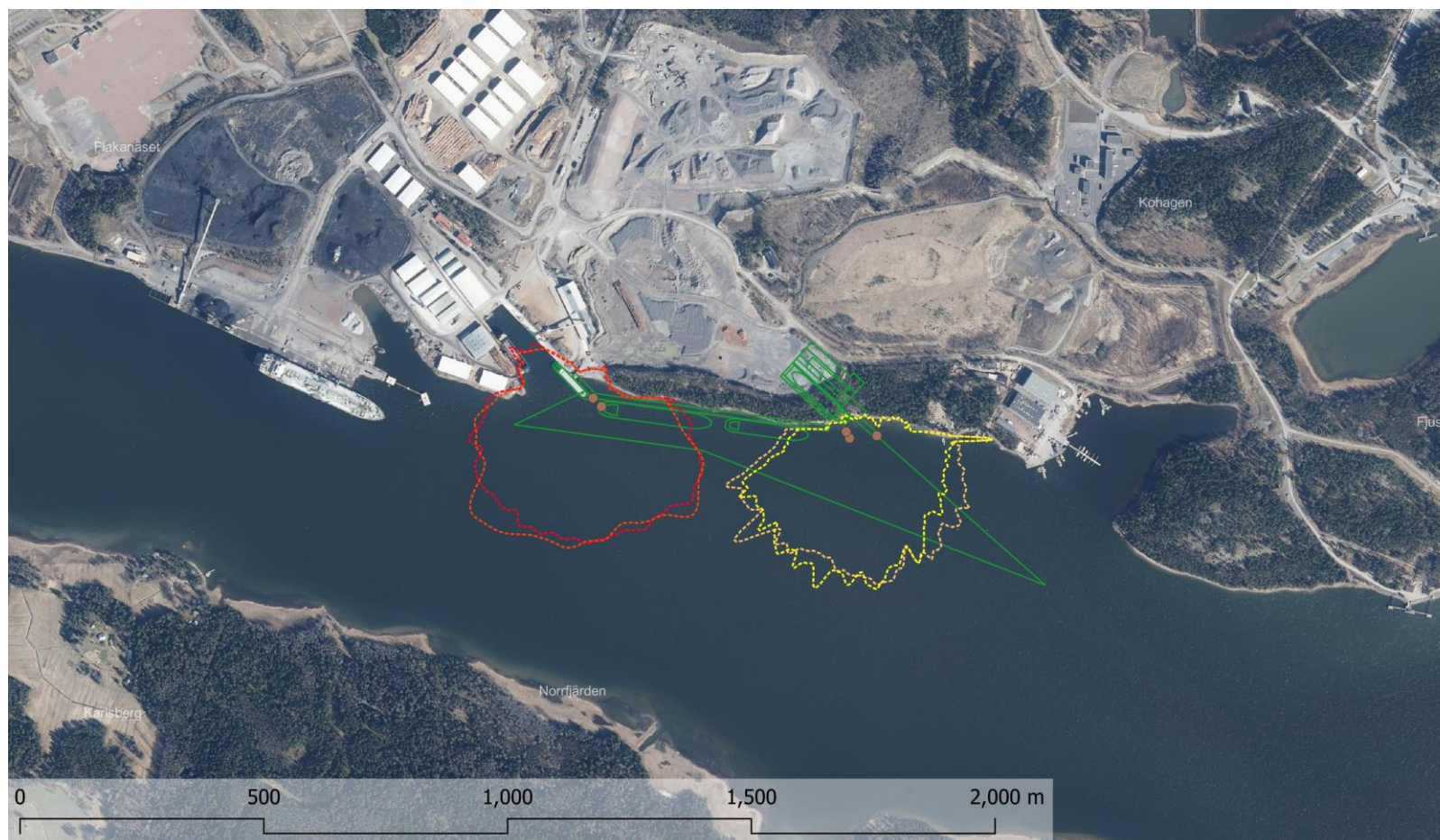
Porapaalutuksen mallinnuksessa tilapäisen kuulonaleneman tai pakenemisreaktion altistusetäisyys oli pyöriäisellä keskimäärin 187 metriä maksimietäisyyden ollessa 407 metriä (kuva 20). Hylkeellä tilapäisen kuulonaleneman tai pakenemisreaktion altistusetäisyys oli taas keskimäärin 101 metriä ja maksimietäisyys 232 metriä (kuva 21).

Pysyvän kuulonaleneman altistusetäisyys pyöriäisellä ulottui suurimmillaan 337 metrin päähän keskiarvon ollessa 64 metriä (kuva 22). Hylkeillä pysyvän kuulonaleneman altistusetäisyydet porapaalutuksen aikana ulottui alle 50 metrin päähän mallinnuspisteestä.

Kalojen väliaikainen kuulonaleneman äänenpainetason 158 dB SPL altistusalueeksi mallinnettiin kaikilla skenaarioilla alle 50 metriä. Lisäksi raja-arvo on määritetty olettamuksen mukaan, että kala altistuu melulle 12 tunnin ajan. On todennäköistä, että kalat pakenevat alueelta ennen sitä.

Taulukko 11 Kaikki mallinnetut altistusalueet porapaalutukselle.

Porapaalutus					
Skenaario	SSP	Kuuloryhmä	Kynnysarvo	Altistusalueen maksimi [m]	Altistusalueen keskiarvo [m]
Porapaalutus 1	1	NOAA HF TTS Pyöriäinen 153	153 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	337	177
Porapaalutus 1	2	NOAA HF TTS Pyöriäinen 153	153 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	362	188
Porapaalutus 2	1	NOAA HF TTS Pyöriäinen 153	153 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	353	191
Porapaalutus 2	2	NOAA HF TTS Pyöriäinen 153	153 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	407	191
Porapaalutus 1	1	NOAA PW TTS Hylje 181	181 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	232	92
Porapaalutus 1	2	NOAA PW TTS Hylje 181	181 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	231	97
Porapaalutus 2	1	NOAA PW TTS Hylje 181	181 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	216	106
Porapaalutus 2	2	NOAA PW TTS Hylje 181	181 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	225	109
Porapaalutus 1	1	NOAA HF PTS Pyöriäinen 173	173 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	260	59
Porapaalutus 1	2	NOAA HF PTS Pyöriäinen 173	173 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	259	57
Porapaalutus 2	1	NOAA HF PTS Pyöriäinen 173	173 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	337	69
Porapaalutus 2	2	NOAA HF PTS Pyöriäinen 173	173 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	302	69
Porapaalutus 1	1	NOAA PW PTS Hylje 201	201 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	<50	<50
Porapaalutus 1	2	NOAA PW PTS Hylje 201	201 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	<50	<50
Porapaalutus 2	1	NOAA PW PTS Hylje 201	201 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	<50	<50
Porapaalutus 2	2	NOAA PW PTS Hylje 201	201 SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	<50	<50
Porapaalutus 1	1	Kalat, painottamaton	153 SPL, dB re 1 μPa	<50	<50
Porapaalutus 2	1	Kalat, painottamaton	153 SPL, dB re 1 μPa	<50	<50
Porapaalutus 1	2	Kalat, painottamaton	153 SPL, dB re 1 μPa	<50	<50
Porapaalutus 2	2	Kalat, painottamaton	153 SPL, dB re 1 μPa	<50	<50



Pyöriäisen lyhytaikaisen kuulontarkkuuden heikkenemisen ja pakenemisreaktion altistusalue

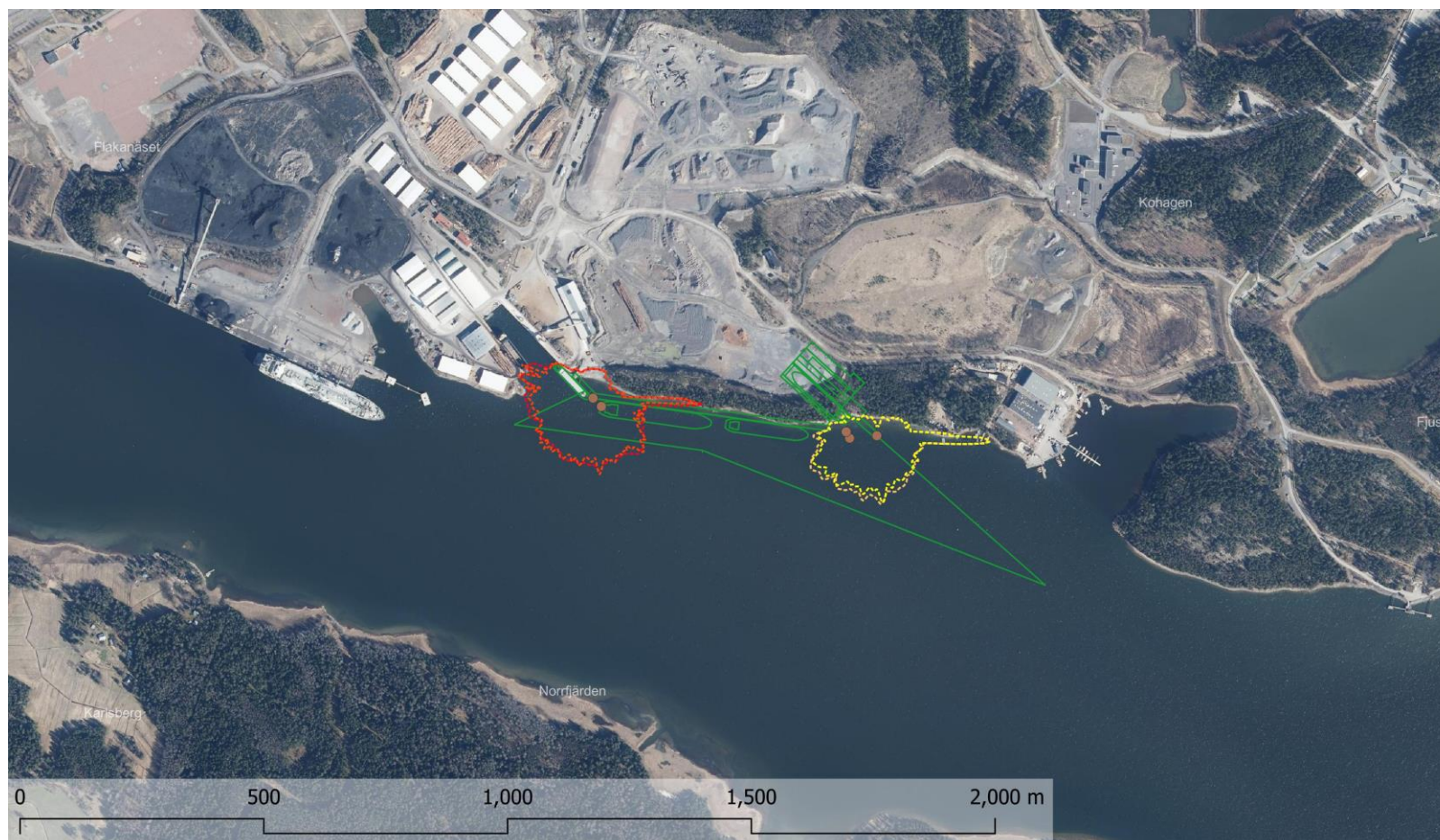
- Porapaalutus 1 SSP1
- Porapaalutus 1 SSP2
- Porapaalutus 2 SSP1
- Porapaalutus 2 SSP2



— Hankealue

Taustakartta © Maanmittauslaitos

Kuva 20 Pyöriäisen tilapäisen kuulontarkkuuden heikkenemisen ja pakenemisreaktion altistusalueet porapaalutukselle. SSP = Äänennopeusprofiili



Hylkeen lyhytaikaisen kuulontarkkuuden heikkenemisen ja pakenemisreaktion altistusalue

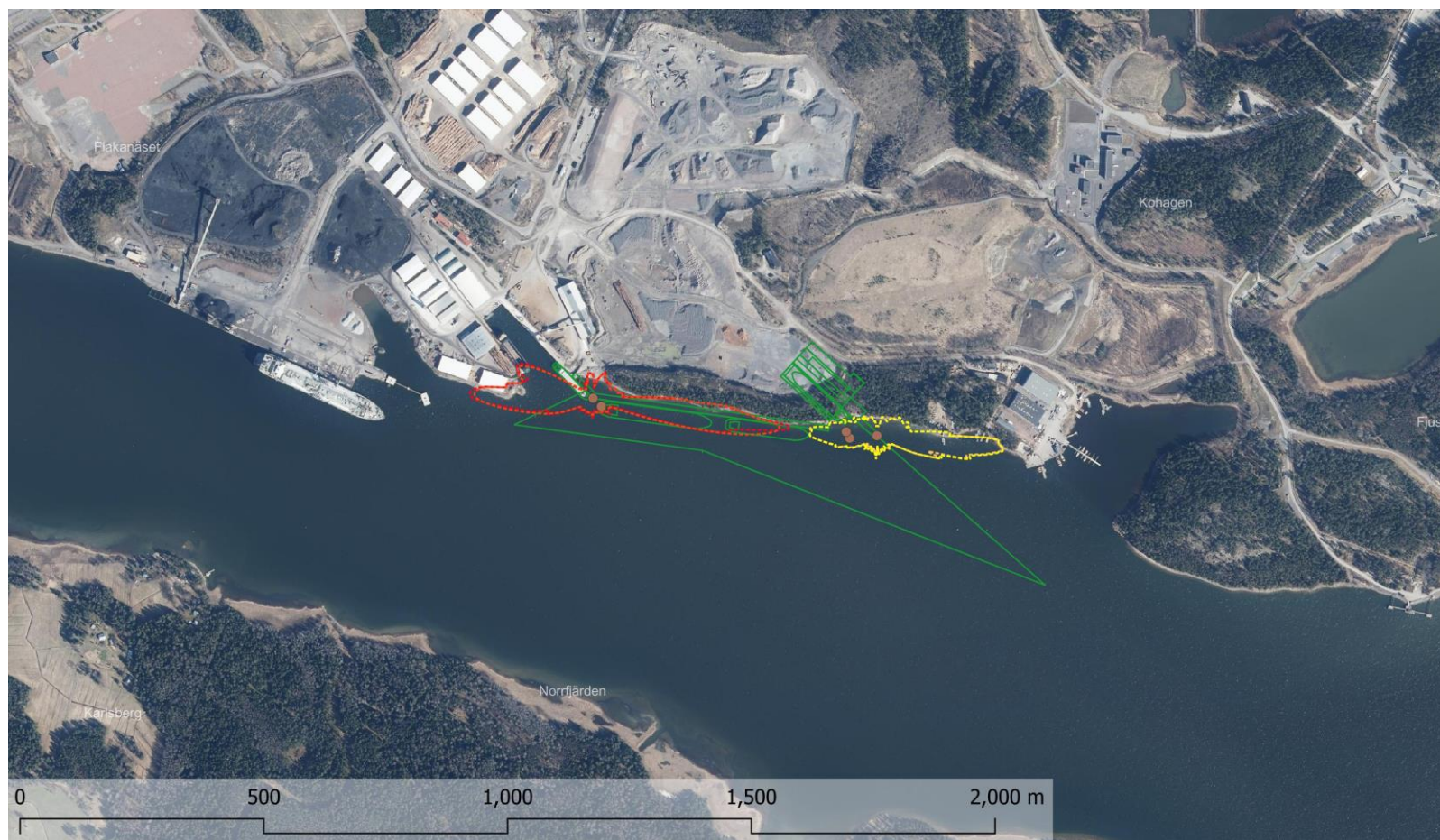
- Porapaalutus 1 SSP1
- Porapaalutus 1 SSP2
- Porapaalutus 2 SSP1
- Porapaalutus 2 SSP2



— Hankealue

Taustakartta © Maanmittauslaitos

Kuva 21 Hylkeen tilapäisen kuulontarkkuuden heikkenemisen ja pakenemisreaktion altistusalueet porapaalutukselle. SSP = Äänennopeusprofiili



Pyöriäisen pysyvän kuulonaleneman altistusalue

- Porapaalutus 1 SSP1
- Porapaalutus 1 SSP2
- Porapaalutus 2 SSP1
- Porapaalutus 2 SSP2



— Hankealue
Taustakartta © Maanmittauslaitos

Kuva 22 Pyöriäisen pysyvän kuulonaleneman altistusalueet porapaalutukselle. SSP = Äänennopeusprofiili

6.4 Mallinnukseen liittyvät epävarmuudet

Mallinnuksessa käytettyjen melulähteiden lähtötasot perustuivat laskennallisiin menetelmiin sekä mitattuun aineistoon. Mittaustulokset ovat kuitenkin peräisin hieman erilaisista ympäristöistä, ja mitattujen tasojen takaisinlaskennassa lähtötasoiksi on mukana virhemarginaaleja. Konservatiivisuuden varmistamiseksi mallinnuksessa käytettiin arvioidun räjähdeseineen suurempaa määrää, mikä vähensi aliarvioinnin riskiä. On myös huomioitava, että vedenalaisessa louhinnassa räjäytyksen tekniset yksityiskohdat ja räjäytyksen toteuttaja voivat merkittävästi vaikuttaa lopulliseen räjähdysenergian määrään.

Mallinnuksessa syvyysmallissa käytettiin avointa dataa, joka oli osittain yleispiirteistä mallinnettavalla alueella. Sedimenttikerroksista saatiin kuitenkin tarkkaa tietoa matalataajuusluotausten avulla, mikä paransi mallinnuksen tarkkuutta pohjan vaikutusten osalta. Äänennopeusprofiilit määritettiin aikaisemman mittausaineiston pohjalta, mikä teki veden etenemisominaisuuksista todenmukaisia mallissa.

Mallinnuksessa käytetyt laskentamenetelmät ovat laajasti käytetty ja vakiintuneita laskentamenetelmiä vedenalaisen akustiikan alalla. Menetelmät tarjoavat hyvän tarkkuuden erityisesti haastavissa akustisissa ympäristöissä.

Yhteenvetona voidaan todeta, että suurimmat epävarmuudet liittyivät melulähteiden lähtötasojen määrittelyyn ja syvyysaineistoon. Konservatiivinen lähestymistapa lähtötasojen arvioinnissa kuitenkin vähensi näiden epävarmuustekijöiden vaikutuksia. Sedimenttitiedon ja äänennopeusprofiilin tarkkuus vahvisti mallin luotettavuutta ympäristön vaikutusten osalta.

6.5 Lieventämistoimenpiteet

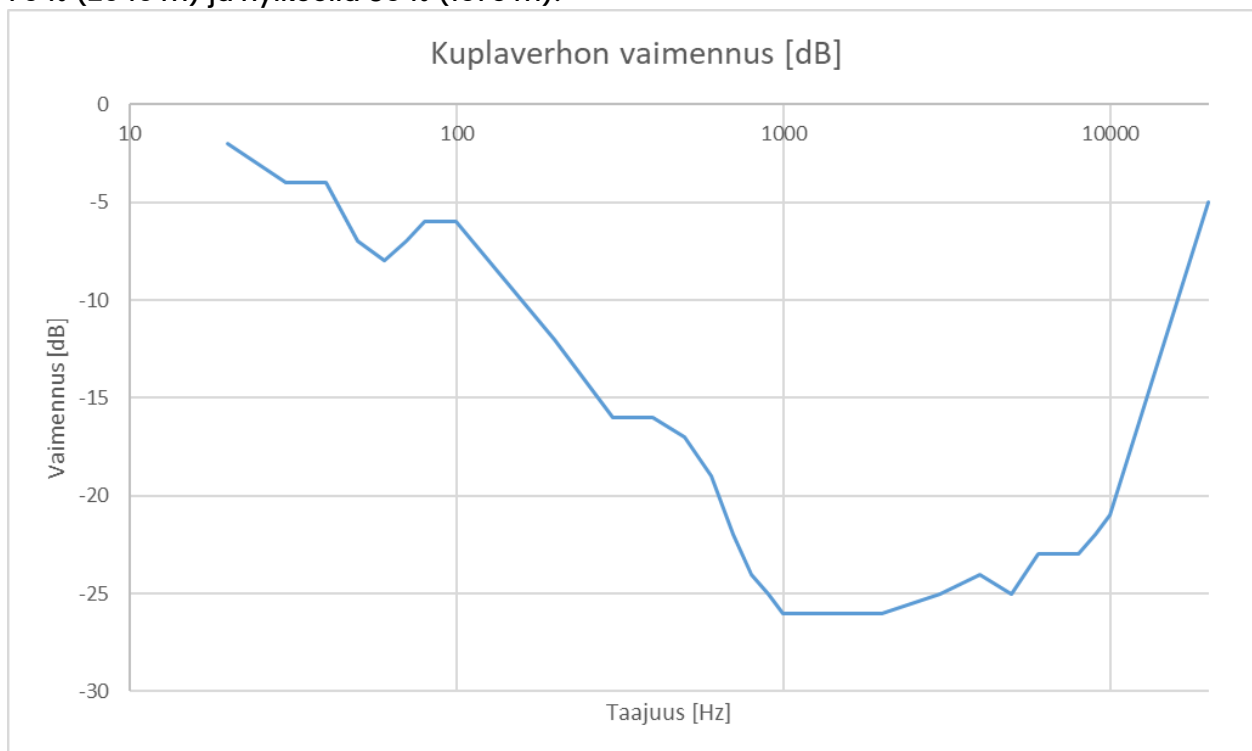
Vedenalaisen melun ympäristövaikutuksia voidaan vähentää ennakoivalla suunnittelulla. Melun torjuntatoimet voidaan jakaa toimenpiteisiin, joilla pyritään joko vähentämään tuotettua melua, hillitsemään sen etenemistä, tai rajoittamaan meluhaittoja ajallisesti tai alueellisesti.

Ennakoivassa suunnittelussa vedenalaisessa louhinnassa räjähdysten synnyttämän shokkiaallon voimakkuuteen voidaan mahdollisesti vaikuttaa erilaisilla teknisillä ratkaisuilla, kuten latauskokojen säätelyllä. Myös esimerkiksi porausreikien pienempi etäisyys voi mahdollistaa pienempien räjähdemäärien käytön. Lisäksi räjähdysaineen valinnalla voidaan säädellä räjähdysten etenemisnopeutta. Paalutuksessa voidaan valita melultaan vähäisempiä tekniikoita, kuten porapaalutus perinteisen iskuvoimaan perustuvan paalutuksen sijaan.

Vedenalaisen louhinnan aiheuttaman melun etenemistä voidaan vaimentaa kuplaverhon avulla, varsinkin jos kyseessä on suuri räjähdemäärä tai räjäytyksiä tehdään herkässä ympäristössä. Kuplaverhot ovat yksi yleisimmistä käytössä olevista vähentämiskeinoista

ja niiden vaimentava taajuusalue riippuu kuplaverhosta. Kuplaverhojen vaikutusta saadaan lisättyä luomalla erikokoisia kuplia ja kasvattamalla ilmapvirtaa. Vaimennuksen tehokkuus riippuu kuplaverhon lisäksi virtauksista sekä veden syvyydestä¹⁶. Mallinnuksen yhteydessä vertailtiin suurimman yksittäisen louhinnan vaikutusalueetta, jos käytettäisiin kuplaverhoa (Big Bubble Curtain, BBC). Kuplaverhon mallinnuksessa käytetty vaimennus on esitetty kuvassa 23¹⁷.

Mallinnettujen altistusalueiden (kuva 24) perusteella kuplaverhon vaikutus on merkittävä. Verrattuna suurimpaan yksittäiseen louhintaan, alkuperäinen tilapäisen kuulonaleneman tai pakenemisreaktion keskimääräinen altistusetäisyys pieneni pyöriäisellä 9 % (64 m) ja hylkeellä 27 % (194 m). Maksimietäisyys pieneni pyöriäisellä 43 % (2030 m) ja hylkeellä jopa 97 % (4181 m). Pysyvän kuulonaleneman keskimääräinen altistusetäisyys pieneni pyöriäisellä 39 % (275 m) ja hylkeellä 74 % (444 m). Maksimietäisyys pieneni pyöriäisellä 76 % (2940 m) ja hylkeellä 85 % (1573 m).



Kuva 23 Kuplaverhon vaimennus 1/3-oktaavikaistoittain.

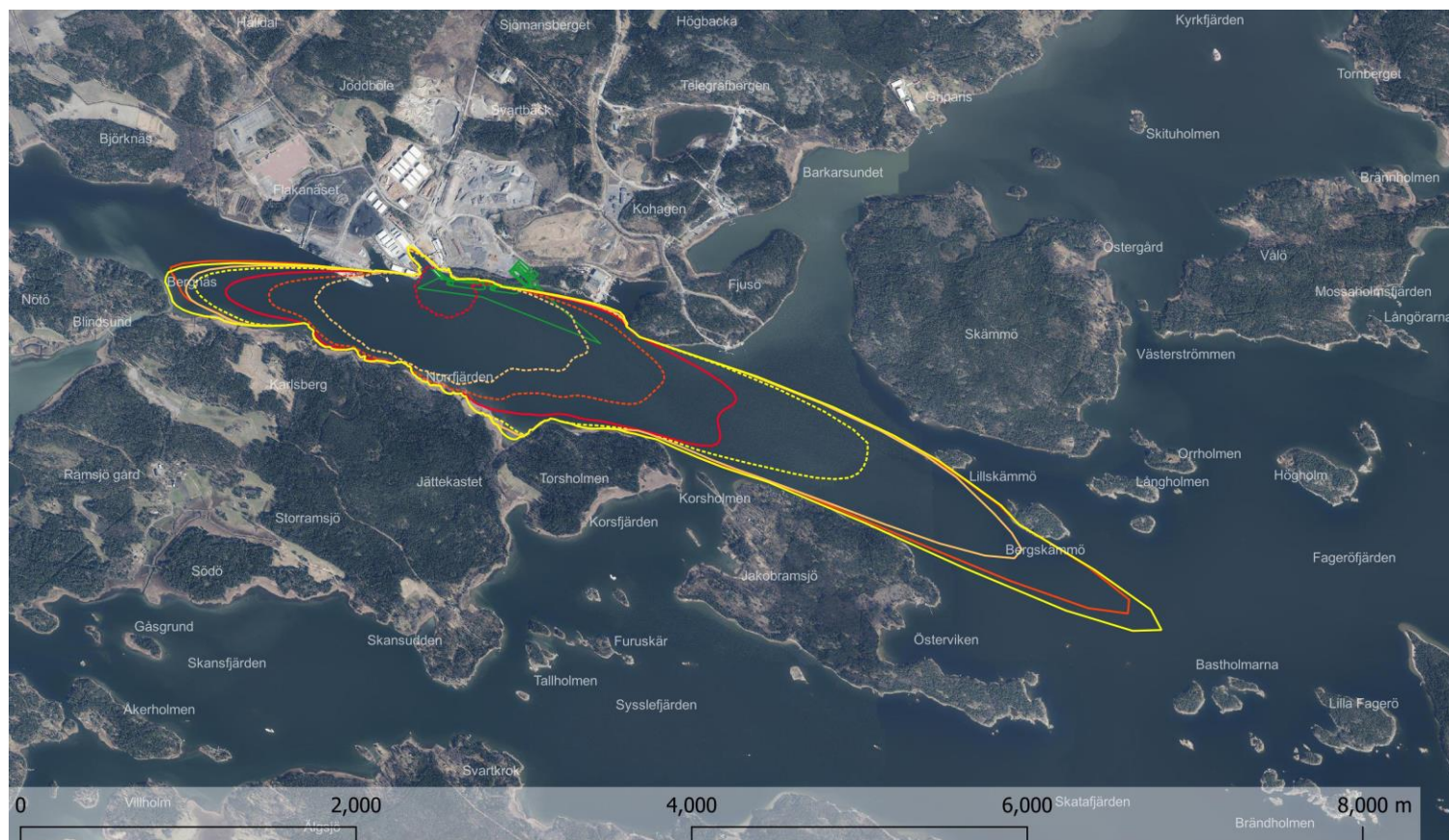
Meluhaittoja voidaan vähentää ajallisesti tai alueellisesti rajoittamalla meluisimpien työvaiheiden aikataulua erityisesti lisääntymis- tai kutuaikaan.

¹⁶ Andersson, M.H., Andersson, S., Ahlsén, J., Andersson, B.L., Hammar, J., Persson, L.K.G., Pihl, J., SigrayP., Wikström, A. A framework for regulating underwater noise during pile driving. s.l.: Swedish Environmental Protection Agency, 2016. ISBN 978-91-620-6775-5.

¹⁷ D. Clorennec, P. Billand, C. Bois and T. Folegot. Characterisation of the efficiency of a bubble curtain in the context of the assessment of underwater explosions in Ålesund. s.l.: Quiet-Oceans, 2019. QO.20190523.10.RAP.001.05A.

Kalat ja merinisäkkäät voidaan myös yrittää karkottaa työalueelta ennen meluisaa työvaihetta. Akustisilla karkotinlaitteilla voidaan pyrkiä pitämään merinisäkkäät pois louhinta-alueelta ennen vedenalaista louhintatapahtumaa. Vedenalaisen louhinnan yhteydessä voidaan myös harkita ns. "soft start" -menetelmää, jossa merinisäkkäät karkotetaan kauemmaksi louhinta-alueelta pienemmillä panoksilla ennen varsinaista louhintaa.

Hankkeen alussa voidaan myös tehdä seurantamittauksia, jotta käytettävien menetelmien veteen aiheuttamat äänenpainetasot saadaan selvitettyä. Näin voidaan myös varmistaa mahdollisten vähentämiskeinojen tarpeellisuus. Mallinnus on kuitenkin konservatiivinen ja meluvaikutukset voivat olla paljon pienemmät.



— Hankealue

Taustakartta © Maanmittauslaitos

Kuplaverhon kanssa

- TTS Pyöriäinen
- PTS Pyöriäinen
- TTS Hylje
- PTS Hylje

Ilman kuplaverhoa

- TTS Pyöriäinen
- PTS Pyöriäinen
- TTS Hylje
- PTS Hylje

Kuva 24 Hylkeen ja pyöriäisen tilapäisen ja pysyvän kuulonaleneman altistusalueet kuplaverhon (BBC) kanssa ja ilman kuplaverhoa. TTS raja-arvo = Lyhytaikainen kuulontarkkuuden heikkeneminen ja pakenemisreaktion alkaminen. PTS raja-arvo = Pysyvä kuulonalenema mahdollinen.

Johtopäätökset

Louhintamäärät ja räjähdysainemäärät aiheuttavat suurimmat altistusalueet merinisäkkäille ja kaloille, mutta rannat ja matalikot kuitenkin rajoittavat melun etenemistä tehokkaasti. Koilliseen melu etenee pidemmälle, pisimmillään altistusalueet ulottuvat kaakon suunnalle Bastholmarnan tasolle.

Louhinnan osalta tilapäisen kuulontarkkuuden heikkenemisen ja pakenemisreaktion altistusetäisyys oli pyöriäisellä keskimäärin 696 metriä maksimietäisyyden ollessa 4734 metriä. Pyöriäisen pysyvän kuulonaleneman altistusetäisyys ulottui suurimmillaan 4198 metrin päähän keskiarvon ollessa 608 metriä. Hylkeellä tilapäisen kuulonaleneman tai pakenemisreaktion altistusetäisyys oli taas keskimäärin 715 metriä ja maksimietäisyys 4510 metriä. Pysyvän kuulonaleneman altistusetäisyydet ulottuivat keskimäärin 576 metrin päähän, maksimietäisyyden ollessa 1983 metriä. Kalojen kuoleman tai kuolettavan vamman altistusalue oli mallinnuksen perusteella keskimäärin 284 metriä, maksimietäisyyden ollessa 690 metriä.

Maa-alueen louhinnan kohdalla tilapäisen kuulontarkkuuden heikkenemisen ja pakenemisreaktion altistusetäisyys oli pyöriäisellä keskimäärin 571 metriä maksimietäisyyden ollessa 2748 metriä. Pyöriäisen pysyvän kuulonaleneman altistusetäisyys ulottui suurimmillaan 903 metrin päähän keskiarvon ollessa 363 metriä. Hylkeellä tilapäisen kuulonaleneman tai pakenemisreaktion altistusetäisyys oli taas keskimäärin 487 metriä ja maksimietäisyys 1161 metriä. Pysyvän kuulonaleneman altistusetäisyydet ulottuivat keskimäärin 135 metrin päähän, maksimietäisyyden ollessa 295 metriä. Kalojen kuoleman tai kuolettavan vamman altistusalue jäi kaikissa mallinnuksissa alle 50 metrin päähän mallinnuspisteestä.

Porapaalutuksen mallinnuksessa tilapäisen kuulonaleneman tai pakenemisreaktion altistusetäisyys oli pyöriäisellä keskimäärin 187 metriä maksimietäisyyden ollessa 407 metriä. Pysyvän kuulonaleneman altistusetäisyys pyöriäisellä ulottui suurimmillaan 337 metrin päähän keskiarvon ollessa 64 metriä. Hylkeellä tilapäisen kuulonaleneman tai pakenemisreaktion altistusetäisyys oli taas keskimäärin 101 metriä ja maksimietäisyys 232 metriä. Pysyvän kuulonaleneman altistusetäisyydet porapaalutuksen aikana ulottui alle 50 metrin päähän mallinnuspisteestä. Myös kalojen väliaikaisen kuulonaleneman altistusalueen mallinnettiin kaikilla skenaarioilla alle 50 metriä.

Mallinnustulosten perusteella SSP2 -skenaarioissa vaikutusalueet olivat SSP1 -skenaarioita suurempia, koska äänennopeus oli veden lämpötilasta johtuen suurempi SSP2 -skenaariossa. Suuremmat altistusalueet kuitenkin näkyivät lähinnä pyöriäisten altistusalueissa, joissa korkeampien taajuuksien merkitys on suurempi. Hylkeiden ja kalojen kohdalla molempien skenaarioiden altistusetäisyydet olivat lähellä toisiaan.

Melun vähennyskeinoina voidaan harkita kuplaverhon käyttöä louhinnan ajaksi. Kalat ja merinisäkkäät voidaan myös yrittää karkottaa työalueelta akustisilla karkotinlaitteilla ennen meluisaa työvaihetta. Meluhaittoja voidaan vähentää ajallisesti tai alueellisesti rajoittamalla meluisimpien työvaiheiden aikataulua erityisesti lisääntymis- tai kutuaikaan. Hankkeen alussa voidaan myös tehdä seurantamittauksia, jotta käytettävien menetelmien veteen aiheuttamat äänenpainetasot saadaan selvitettyä.