


VUOSAAREN SATAMAN VEDENALAISEN MELUN SELVITYS SYVENTÄMISHANKKEEN AIKANA

Toni Meriläinen ja Antti Lindfors

A	12.03.2021	Lopullinen versio	TM	MK	APL
Ver.	Pvm.	Kuvaus	Laatija	Tarkistaja	Hyväksyjä
			Luode Consulting Oy		
			Dokumentti: VUOSAAREN SATAMAN VEDENALAISEN MELUN SELVITYS SYVENTÄMISHANKKEEN AIKANA		
Asiakas:	Helsingin Satama				
Asiakas:	Väylävirasto				
Luode Consulting Oy:n yhteyshenkilö	:	Antti Lindfors	Dokumentin numero: Vuosaaren sataman vedenalaisen melun selvitys syventämishankkeen aikana-12032021-Luode-A		Ver. A
Työn suorittaja	:	Luode Consulting Oy			

Versiot:		VUOSAAREN SATAMAN VEDENALAISEN MELUN NYKYTILAN SELVITYS			
Ver.	Laatija:	Pvm.	Kuvaus	Tarkistaja	Hyväksyjä
01	Toni Meriläinen	19.02.2021	Versio kommenteille	Mikko Kiirikki	Antti Lindfors
A	Toni Meriläinen	12.03.2021	Lopullinen versio	Mikko Kiirikki	Antti Lindfors

Sisällys

Johdanto.....	4
Mittauslaitteisto ja aineiston käsittely.....	5
Mittausolosuhteet.....	6
Tuuliaineisto ja taustamelutaso	6
Äänen nopeusprofiilit	8
Melumittaustulokset	9
Aikasarjat	9
Louhinta	14
Poraus.....	19
Ruoppaus.....	22
Syventämishankkeen aikaisten melutasojen vertailu esiselvitykseen	23
Johtopäätökset	24
Liite 1. Louhintatapahtuman vaikutuksen arviointi kaloille ja merinisäkkäille.....	25
Liite 2 Lista raportin mukana toimitettavasta materiaalista	27
Liite 3. Hydrofonien kalibrointitiedot	28

Käytetyt suureet:

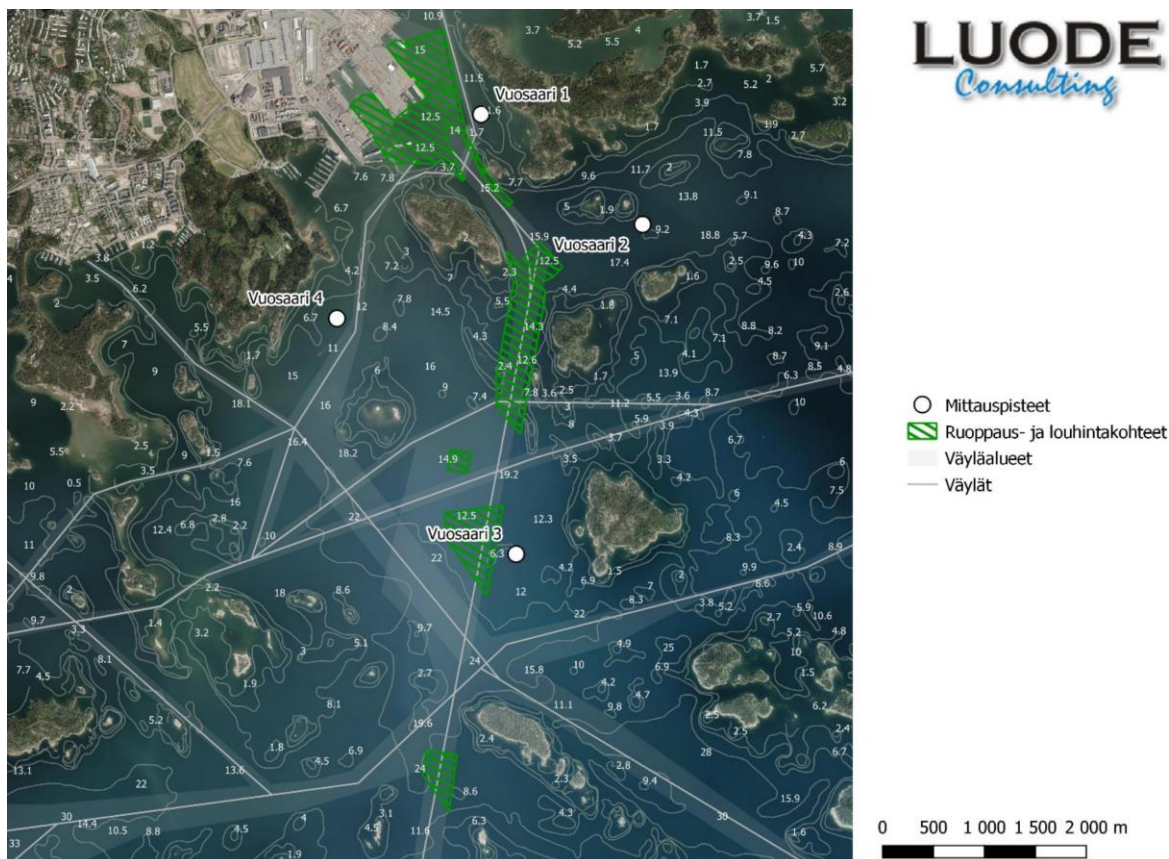
Suure	Tunnus, yksikkö	Mitä tarkoittaa
Keskiäänitaso	(Leq, dB re 1 µPa)	on käsiteltävän mittausjakson äänitasojen tehollinen keskiarvo pidemmällä, esimerkiksi 5 minuutin tai yhden tunnin ajanjaksolla.
Äänenpainetasolla	(SPL, dB re 1 µPa)	kuvataan usein jatkuvakestoisia äänitapahtumia, kuten laivaliikenne, poraaminen, ruoppaus tai taustamelu.
Äänialtistustaso	(SEL, dB re 1 µPa²s)	kuvaa yksittäisen impulssimaisen tapahtuman (esim. räjähdys tai paalutus) äänienergiaa. Se on riippuvainen melutapahtuman amplitudista sekä kestosta. Sitä voidaan pitää melutapahtuman meluannoksen mittana.
Äänenpaineen huippuarvo	(dB re 1 µPa)	edustaa tutkittavan tapahtuman maksimiäänepainetta mitattuna nolasta huippuun tiettyä ajankohtana.

Johdanto

Vedenalaiseen äänimaailmaan vaikuttavat sekä luonnolliset että ihmisperäiset tapahtumat. Luonnollista ääntä aiheuttavat sade, tuuli, aallot sekä jää. Ihmistoiminnasta aiheutuvaan meluun luetaan muun muassa laivaliikenne, merirakentaminen sekä luotaukset. Vedenalaiset melutapahtumat jaetaan usein melun luonteen perusteella jatkuvakestoiseen meluun sekä yksittäisiin impulssimaisiin melutapahtumiin. Laivaliikenne on yksi suurimmista jatkuvan melun aiheuttajista. Impulssimaisia melutapahtumia aiheutuu esimerkiksi merirakentamisen yhteydessä tehtävästä louhinnasta tai paalutuksesta. Ihmistoiminnasta johtuva melu esiintyy usein samalla taajuusalueella merieläinten kuuloalueen kanssa. Tästä syystä melu voi aiheuttaa sekä pysyviä että tilapäisiä haittoja Itämeren alueella eläville merieläimille, joille kuulo on yksi tärkeimmistä aisteista ¹

Selvitystyössä mitattiin Vuosaaren sataman ja väylän syventämistyön aiheuttamaa vedenalaisen melua. Syvennyshankkeessa Vuosaaren satamaan johtava 11,0 m kulkusyvyinen meriväylä syvennetään 13,0 m kulkusyvyuden vaatimuksia vastaavaksi. Hankkeen toteuttaminen edellyttää useassa kohteessa väylää ruoppauksia ja vedenalaista louhintaa sekä ruopattujen massojen meriläjitystä. Työ on jatkoa vuonna 2018 tehdyille mittauksille käytönaikaisesta melusta.

Vedenalaiset melumittaukset suoritettiin neljästä eri pisteestä jatkuvana mittauksena aikavälillä 28.8.–7.11.2020. Mittauspisteiden sijainnit ja urakka-alueet on merkitty oheiseen karttaan (Kuva 1). Meluselvityksen tavoitteena oli mitata vallitsevia vedenalaisia melutasoja ja selvittää hallitsevien melutapahtumien aiheuttajat ja niiden voimakkuus.



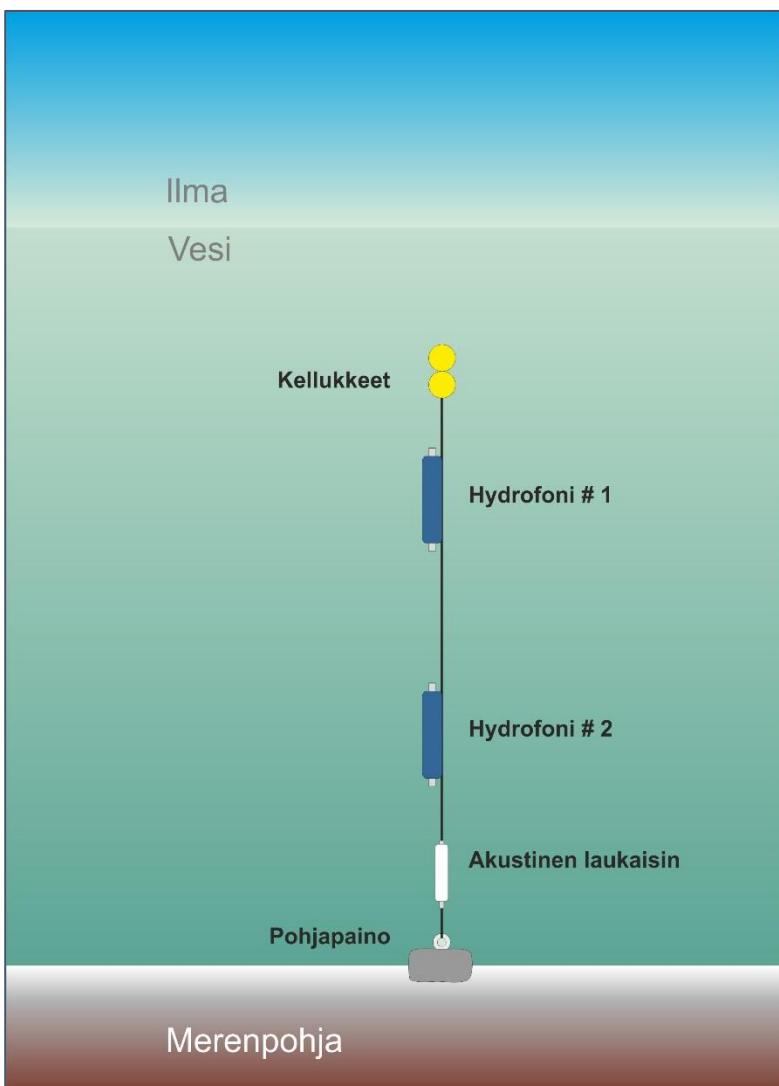
Kuva 1 Alueen yleiskartta ja vedenalaisen melun mittauspisteet (valkoiset pisteet Vuosaari 1-4).

¹ Noise, TG. Management and monitoring of underwater noise in European Seas- Overview of main European-funded projects and other relevant initiatives. s.l. : MSFD Common Implementation Strategy Technical Group on Underwater Noise, 2017.

Mittauslaitteisto ja aineiston käsittely

Jokaiseen mittauspisteeseen asennettiin kaksi hydrofonia kahden ja viiden metrin korkeudelle merenpohjasta (Kuva 2). Mittausasemat oli varustettu SoundTrap 300 STD- ja SoundTrap 300 HF-hydrofoneilla. SoundTrap on itsenäinen akustinen tallennuslaite, jonka mittausalue kattaa taajuudet 20 Hz ja 60 kHz välillä. Tälle välille rajoittuu suurin osan eri melulähteiden aiheuttamasta äänestä. Taajuusalueen ulkopuolelle jäävät lähinnä syvyisuotauksissa käytetyt kaikuluotaimet sekä osa merinisäkkäiden käyttämistä taajuuksista.

Vuosaaren mittauksissa käytetty näytteenottotaajuus oli 24–48 kHz. Laitteistolla mitattavissa olevat äänenpaineen enimmäistasot ovat 190–210 dB [re 1 µPa] riippuen mallista ja käytettävästä esivahvistuksesta. Kussakin mittausketjussa oli kaksi eri esivahvistukselle asetettua hydrofonia. Näin mittausdynamiikka mahdollisti kovien räjäytysten sekä hiljaisempien tapahtumien tallentamisen. Tiedot käytetyistä hydrofoneista on esitetty Taulukossa 1.



Kuva 2. Mittausjärjestelyt Vuosaaren sataman vedenalaisen melun mittauksissa.

Taulukko 1. Hydrofonien tiedot ja sijainnit

Mittauspiste	Hydrofoni [# sarjanumero]	Herkkyys [dBV/ μ Pa]	Etäisyys pohjasta [m]	Sijainti [WGS-84]
Vuosaari 1	1208545311	188,7	2	N 60°12,780' E 025°12,803'
"	671916070	177,9	5	N 60°12,780' E 025°12,803'
Vuosaari 2	336072751	210,2	2	N 60°12,221' E 025°14,552'
"	1208221722	176,7	5	N 60°12,221' E 025°14,552'
Vuosaari 3	335573045	209,7	2	N 60°10,465' E 025°13,304'
"	1208774690	176,3	5	N 60°10,465' E 025°13,304'
Vuosaari 4	1207992351	188,8	2	N 60°11,683' E 025°11,334'
"	1208778777	176,8	5	N 60°11,683' E 025°11,334'

Melumittauksissa käytetään yleisesti logaritmiin perustuvia tasosuureita. Vedenalaista melua mitatessa logaritmin vertailuarvo (p_0) on 1 μ Pa, kun taas ilmassa se on 20 μ Pa. Tasosuureet eivät siis ole suoraan verrattavissa ilmassa mitattuihin dB-arvoihin. Suuruusluokkana voidaan ajatella, että ilmamelumittauksissa 130 dB vastaisi vedessä lukuarvoa 191,5 dB.

Käytettävä suure on riippuvainen melulähteen ominaisuuksista. Jatkuvakestoiselle tapahtumalle, kuten aluksen ohitukselle, ruoppaamiselle tai poraamiselle käytettävä suure on yleisesti keskiäänitaso (L_{eq}) eli käsiteltävän mittausjakson äänitasojen tehollinen keskiarvo. Yksittäisen impulssimaisen melutapahtuman, kuten paalutuksen tai louhinnan äänienergiaa kuvaa paremmin yksittäisen tapahtuman äänialtistustaso dB re 1 μ Pa²s ja äänenpaineen huippuarvo. Huippuarvo edustaa tutkittavan tapahtuman maksimiäänepainetta mitattuna nolasta huippuun tiettyä ajankohtana.

Vuosaaren mittausaineiston esikäsittelyssä datalle tehtiin tasokorjaus hydrofonin herkkyden ja käytetyn esivahvistuksen mukaan. Mittausaineisto jaettiin sekunnin pituisiin ikkunoihin, joista laskettiin 5 minuutin $L_{eq}(5 \text{ min})$ sekä 1 tunnin keskiäänitasot ja $L_{eq}(1 \text{ h})$ taajuusalueella 10 Hz–10 kHz. Raportin kuvissa on käytetty pääasiassa laajakaistaista $L_{eq} 5 \text{ min}$ keskiäänitasoa. Kaikki asemakohtaiset aikasarjat ja muu mittausaineisto on koottu erilliseen tiedostoon, joka on toimitettu raportin mukana.

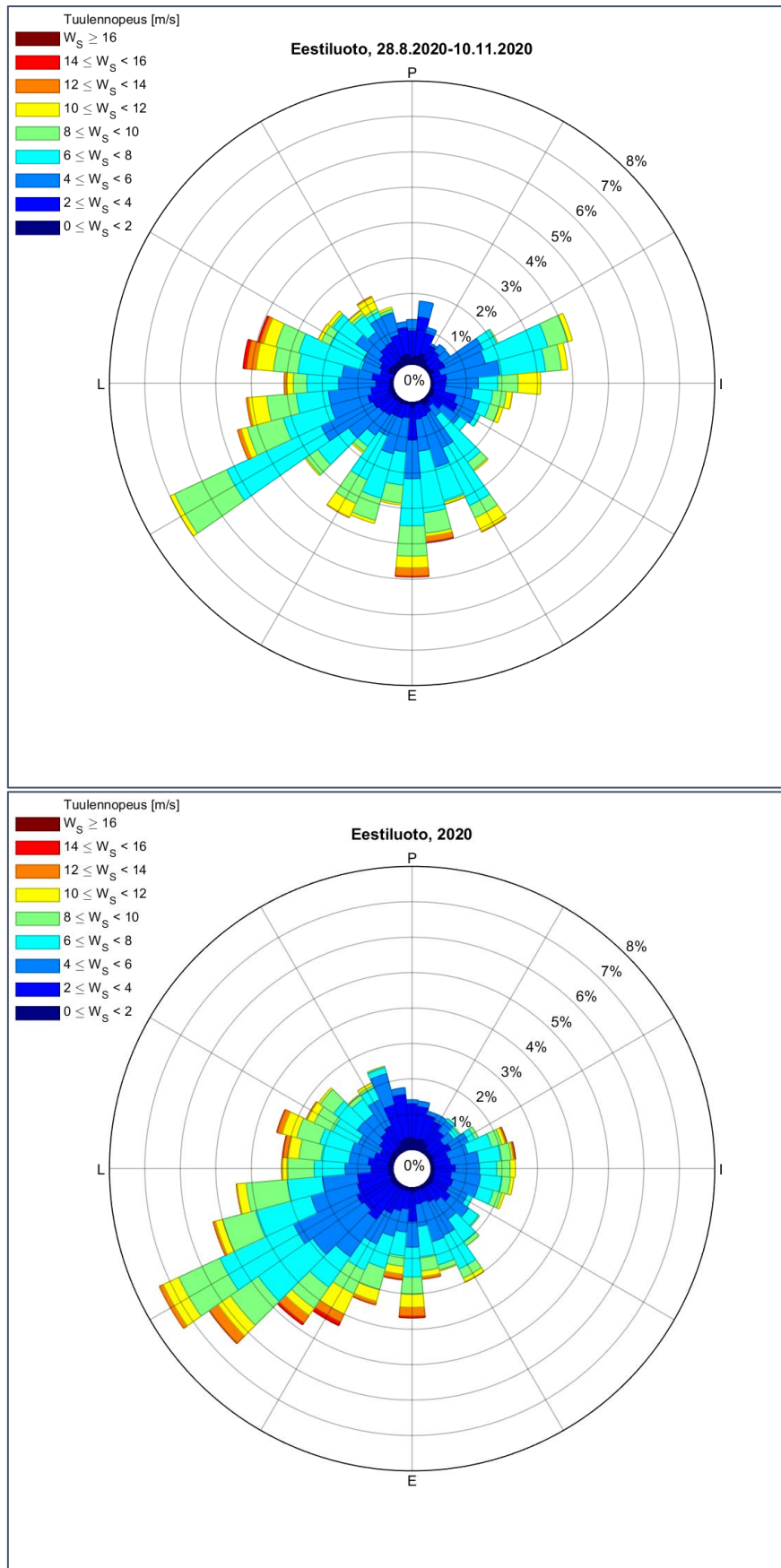
Mittausolosuhteet

Tuuliaineisto ja taustamelutaso

Mittausjaksolla vallinneet säähavainnot ladattiin Ilmatieteen laitoksen Open Data -palvelun kautta. Tuuliaineisto on esitetty kuvassa 3. Mittausjakson aikana ei havaittu myrskylukemia, suurin Eestiluodon havaintoasemalla mitattu tuulilukema oli 15,6 m/s. Tuulitietoja verrattiin melumittaustuloksiin, sillä tuulen aiheuttamat aallot voivat vaikuttaa voimakkaasti taustamelutasoon². Mittausjakson aikana sekä koko vuoden aineistossa lounaistuuli oli vallitseva (Kuva 3).

Taustamelutaso myötäili odotetusti tuuliolosuhteiden mukaan niiltä osin, kun luonnon aiheuttama taustamelu oli havaittavissa. Taustamelun vaikutus on nähtävissä aikasarjoissa (Kuvat 5–8), joihin on myös merkitty tuulitiedot.

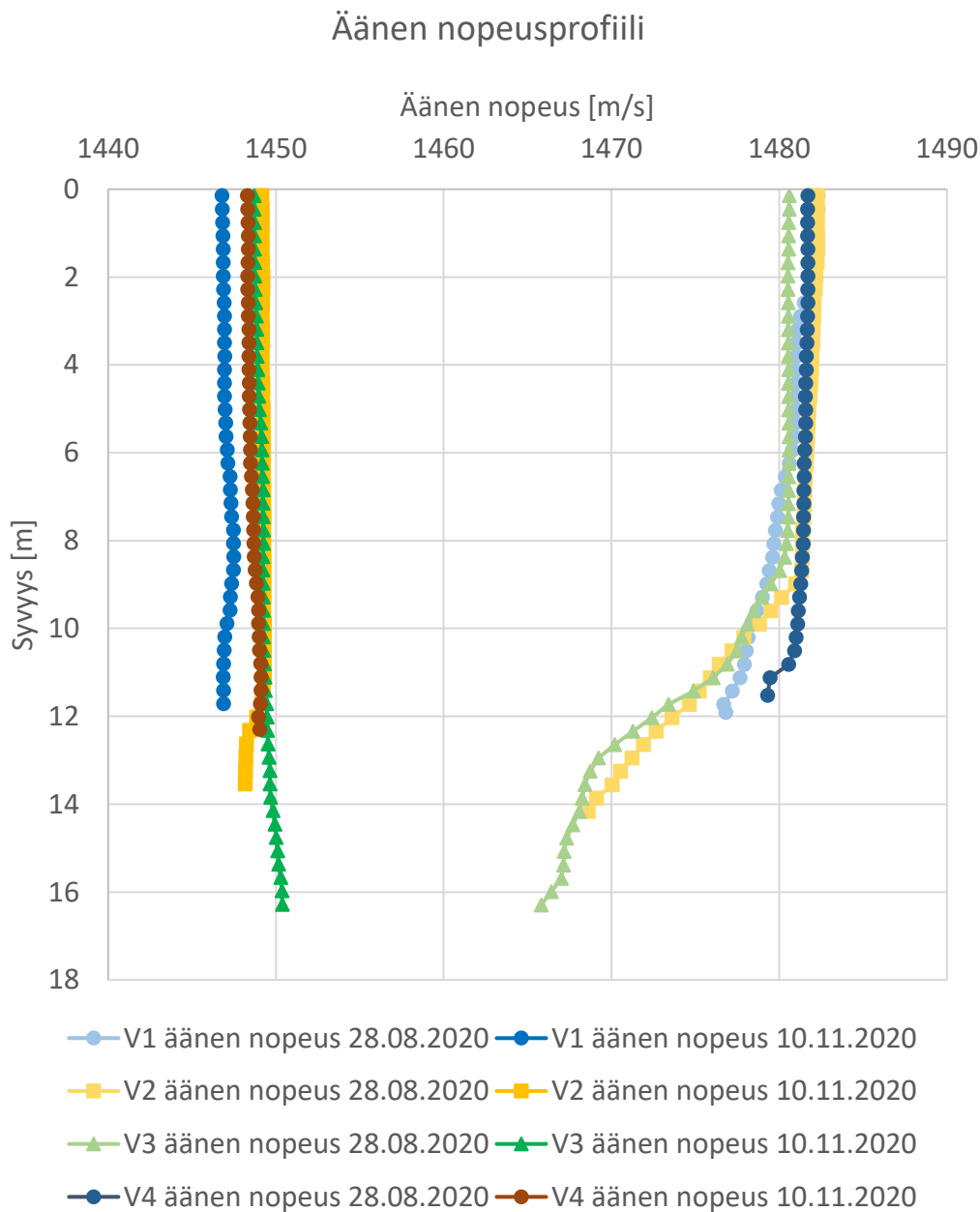
² Poikonen Ari, "Measurements, analysis and modeling of wind-driven ambient noise in shallow brackish water" 2012, Aalto University. Doctoral thesis.



Kuva 3. Eestiluodon tuuliruusut mittausajaksolta sekä koko vuodelta 2020.

Äänen nopeusprofiilit

Lämpötila- ja suolaisuusprofiilit mitattiin CastAway-laitteistolla jokaisella mittauspisteeltä laitteiden asennuksen ja noston yhteydessä. Tulosten perusteella laskettiin äänen etenemiseen vaikuttavan vertikaalisuuntaisen äänen nopeusprofiilit (Kuva 4). Mitatut äänen nopeusprofiilit antavat tietoja mahdollisesta kerrostumisesta tai kausittaisen termokliinin läsnäolosta. Erityisesti kesäaikana esiintyvä voimakas kerrostuneisuus voi vaikuttaa voimakkaasti äänen etenemiseen ja vaimenemiseen. Esimerkiksi louhinnan aiheuttama melutapahtuma voi voimakkaan termokliinin johdosta tunnetuuta ja edetä pohjakerroksessa pidemmälle. Mittausten perusteella merivesi oli alueella mittausjakson aikana hyvin sekoittunutta. Jäähdyttämisestä aiheutuva muutos äänen nopeudessa oli keskimäärin noin 33 m/s kahden kuukauden mittaisen mittausjakson aikana.



Kuva 4. Äänen nopeusprofiilit mittauspisteillä asennuksen ja noudon yhteydessä.

Melumittaustulokset

Aikasarjat

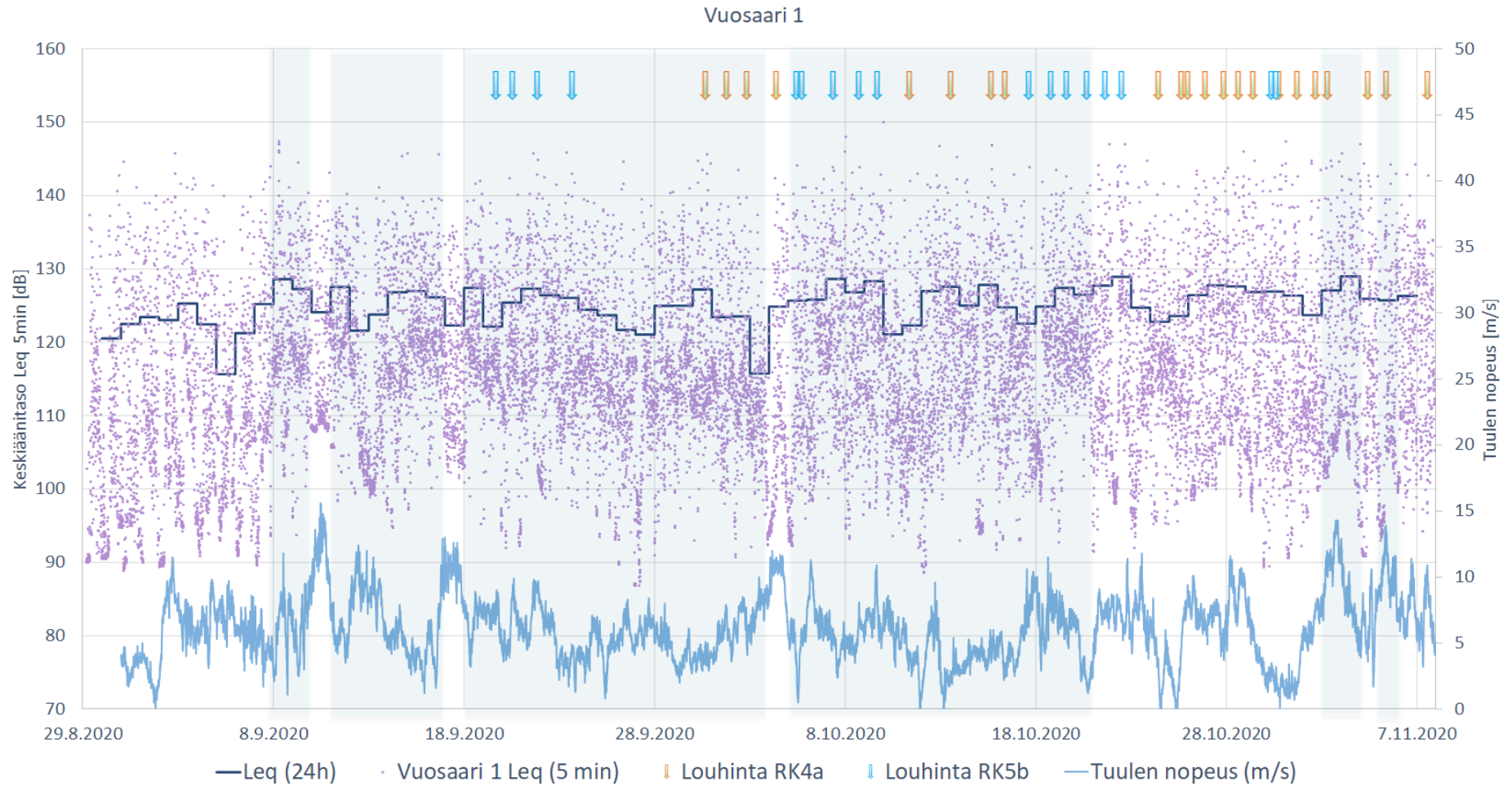
Jokaisesta mittauspisteestä on laadittu aikasarjakuvaajat (Kuvat 5–8). Kuvissa esitetään mittauspisteiden keskiäänitaso $Leq(5min)$, vuorokauden keskiäänitaso $Leq(24h)$, RK4a- ja RK5b-alueiden loughintatapahtumat sekä tuulen nopeus. Lisäksi ruoppausajanjaksoit kunkin mittauspisteeseen lähistöllä on merkitty sinisellä taustavärillä.

Vuosaari 1 -mittauspisteellä (Kuva 5) keskiäänitaso pysyi melko tasaisena koko mittausjakson ajan mutta melutaso oli voimakas (122,3 dB) verrattuna muihin mittauspisteisiin. Luonnon aiheuttama taustamelutaso ylittyi lähes koko mittausjakson ajan. Pääosin melua aiheutti sataman alusliikenne sekä ruoppausyöt, jotka olivat käynnissä suurimman osan mittausjaksosta. Sataman edestä kulkee myös paljon moottoriveneitä veneväylää pitkin nostaen keskiäänitasoja. Heräte on laajakaistaista ja spektristä erottaa myös kapeakaistaisia taajuuskomponentteja. Lisäksi alueen RK5b poraus- ja loughintatyöt kuuluivat selkeästi sataman edustalle. Porausmelu on laajakaistaista ja jatkuvaa mutta äänenpainetasot ovat huomattavasti alhaisemmat kuin loughinnasta syntyvät tai esimerkiksi laivaliikenteen melu. Loughinta on laajakaistaista ja iskumaista mutta lyhytkestoista.

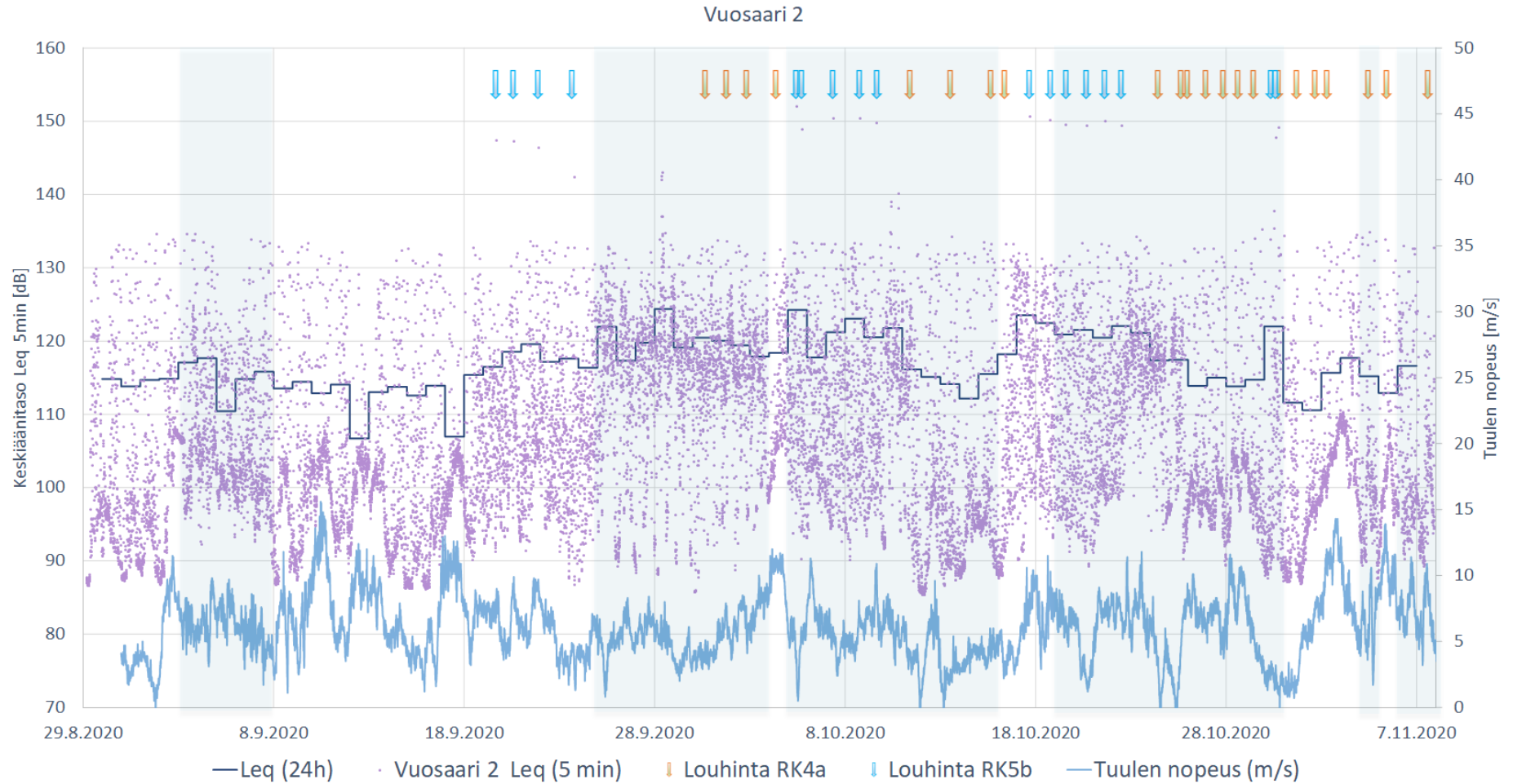
Vuosaari 2 -mittauspisteellä (Kuva 6) ruoppaus-, poraus- ja loughintatyöt nostivat selkeästi alueen melutasoja. Taustamelutaso korreloi tuulitiedon kanssa ennen töiden aloitusta sekä mittausjakson lopussa, jolloin loughinta siirtyi kauemmas alueelle RK4a. Koko mittausjakson aikainen keskiäänitaso oli kuitenkin alhaisin (113,9 dB), koska mittauspiste oli saarten suojassa eikä ihan vieressä ole virallisia veneväyliä.

Vuosaari 3 -mittauspisteessä (Kuva 7) havaittiin myös selkeä melutasojen nousu ruoppaus- poraus- ja loughintatöiden alkaessa. Melutasot ovat korkeimmillaan mittausjakson lopulla, jolloin kaikki työvaiheet ovat olleet aktiivisina. Osa lähimmällä RK4a -alueella tapahtuneista loughinnoista jäivät vaimeammaksi, koska mittauspiste ja loughinnan välillä oli matalikko. Koko mittausjakson keskiäänitaso oli 119,4 dB.

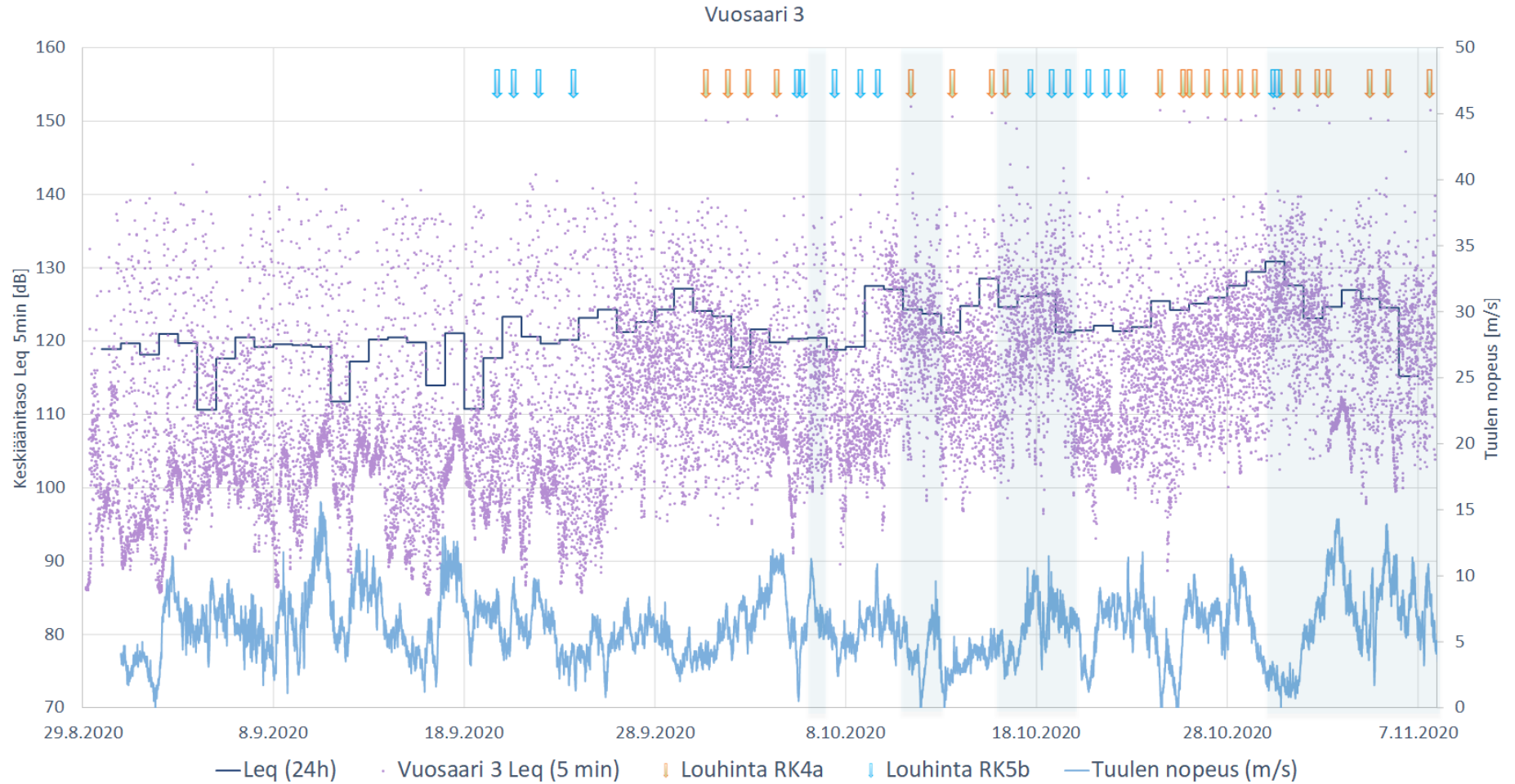
Vuosaari 4 -mittauspisteellä (Kuva 8) koko jakson keskiäänitaso oli toiseksi alhaisin (116,1 dB). Loughinnat kuuluivat samalla tasolla alueilta RK4a ja RK5b mutta jäivät melko alhaiseksi välissä olevien matalikkojen takia. Myös ruoppaus- ja porausäänet jäivät alhaiseksi. Vieressä oleva veneväylä nosti keskiäänitasoa.



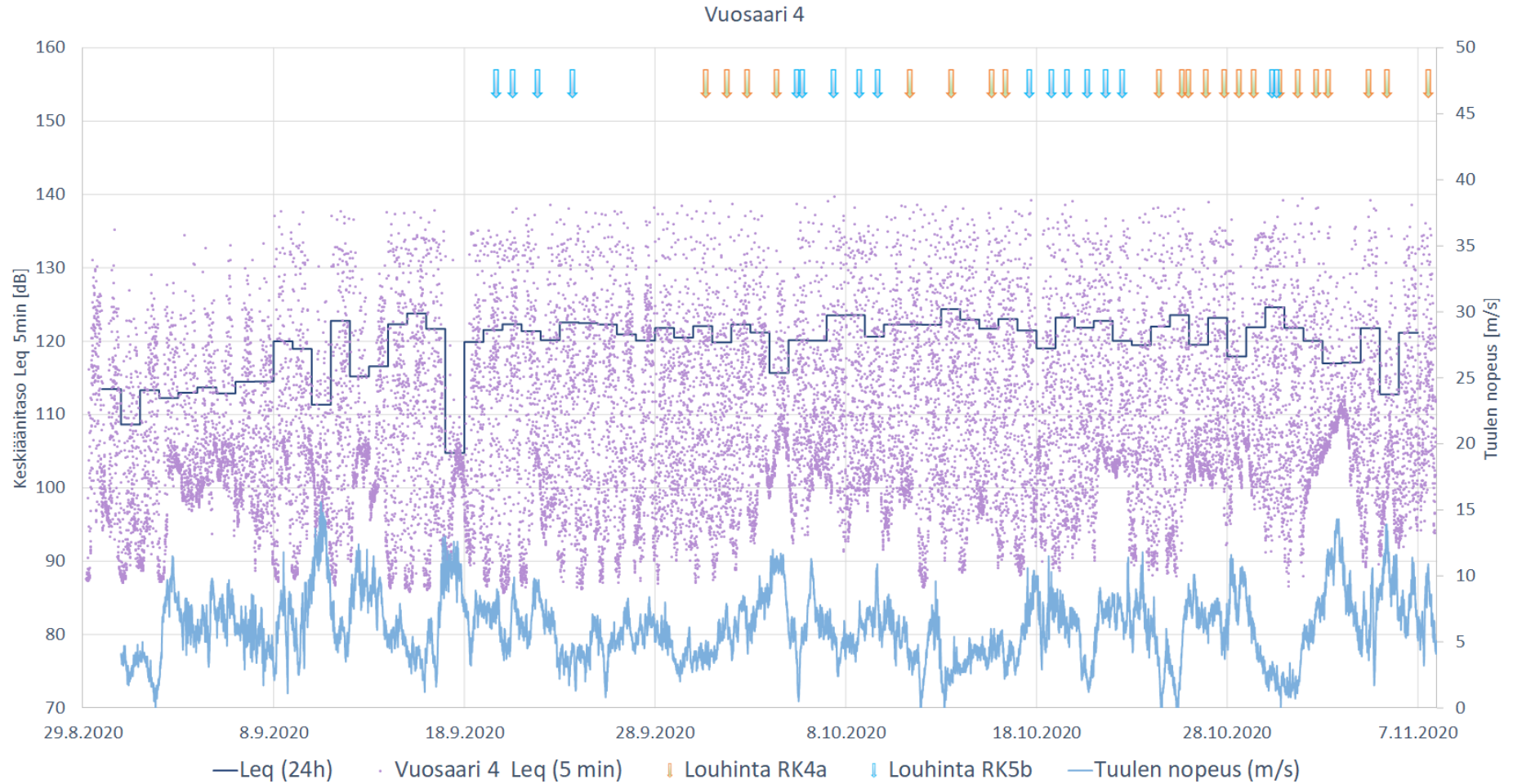
Kuva 5. Vuosaari 1 -mittauspisteen keskiäänitaso Leq(5min), vuorokauden keskiäänitaso Leq(24h), RK4a- ja RK5b- alueiden louhintatapahtumat sekä tuulen nopeus. Ruoppausajanjaksot mittauspisteen lähistöllä on merkitty sinisellä taustavärillä.



Kuva 6. Vuosaari 2 -mittauspisteen keskiäänitaso Leq(5min), vuorokauden keskiäänitaso Leq(24h), RK4a- ja RK5b- alueiden louhintatapahtumat sekä tuulen nopeus. Ruoppausajanjaksot mittauspisteen lähistöllä on merkitty sinisellä taustavärillä.



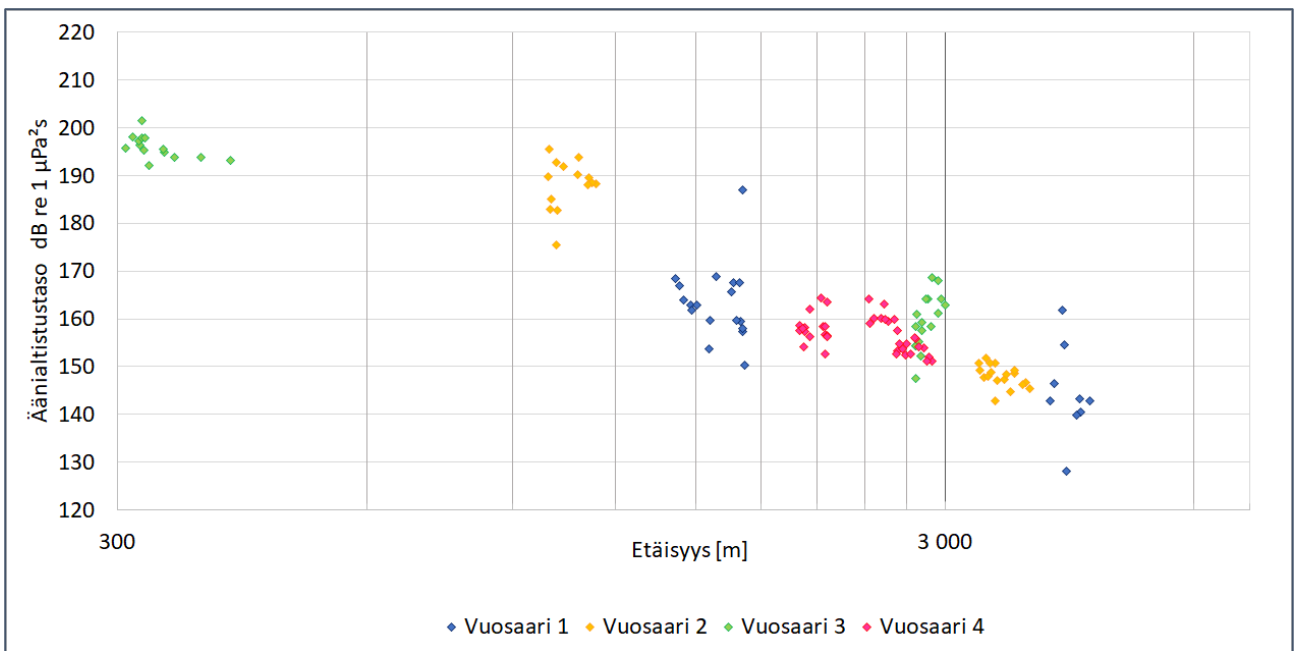
Kuva 7. Vuosaari 3 -mittauspisteen keskiäänitaso Leq(5min), vuorokauden keskiäänitaso Leq(24h), RK4a- ja RK5b- alueiden louhintatapahtumat sekä tuulen nopeus. Ruoppausajanjaksot mittauspisteen lähistöllä on merkitty sinisellä taustavärillä.



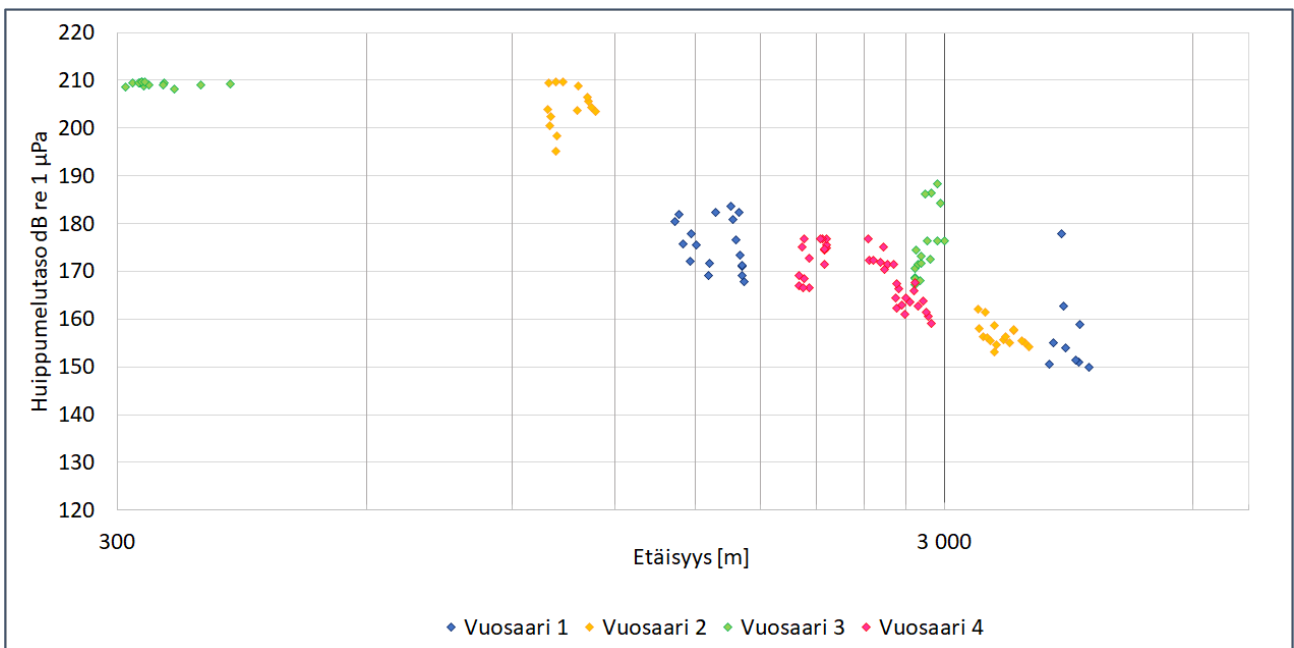
Kuva 8. Vuosaari 4 -mittauspisteen keskiäänitaso Leq(5min), vuorokauden keskiäänitaso Leq(24h), RK4a- ja RK5b- alueiden louhintatapahtumat sekä tuulen nopeus. Ruoppausajanjaksot mittauspisteen lähistöllä on merkitty sinisellä taustavärillä.

Louhinta

Mittausten aikana suoritettiin yhteensä 40 louhintatapahtumaa. Räjähdykset olivat mitattavissa useasta mittauspisteestä samanaikaisesti, yhteensä analysoitiin 129 räjähtyksen aiheuttamaa melutapahtumaa. Osa räjähdyksistä ylitti lähimpänä olevien hydrofonien mittaussysteemin, jolloin räjähdys analysoitiin ainoastaan kauempana olevista mittauspisteistä. Myös kauempien mittauspisteiden osalta osa melutapahtumista jäi havaitsematta, koska esimerkiksi sataman lähellä olleen Vuosaari 1 -aseman tapauksessa alusmelu peitti usein RK4 alueen louhinnasta syntyneet melutapahtumat. 129 melutapahtumasta laskettiin äänialtistustaso (Kuva 9) sekä äänenpaineen huippuarvo (Kuva 10).

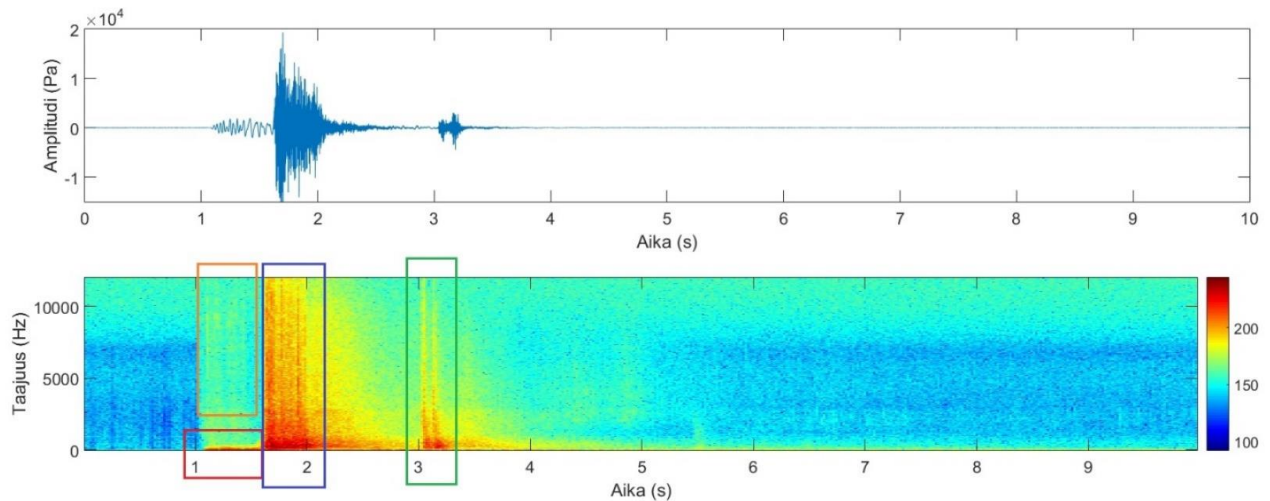


Kuva 9 Louhinnoista lasketut äänialtistustasot



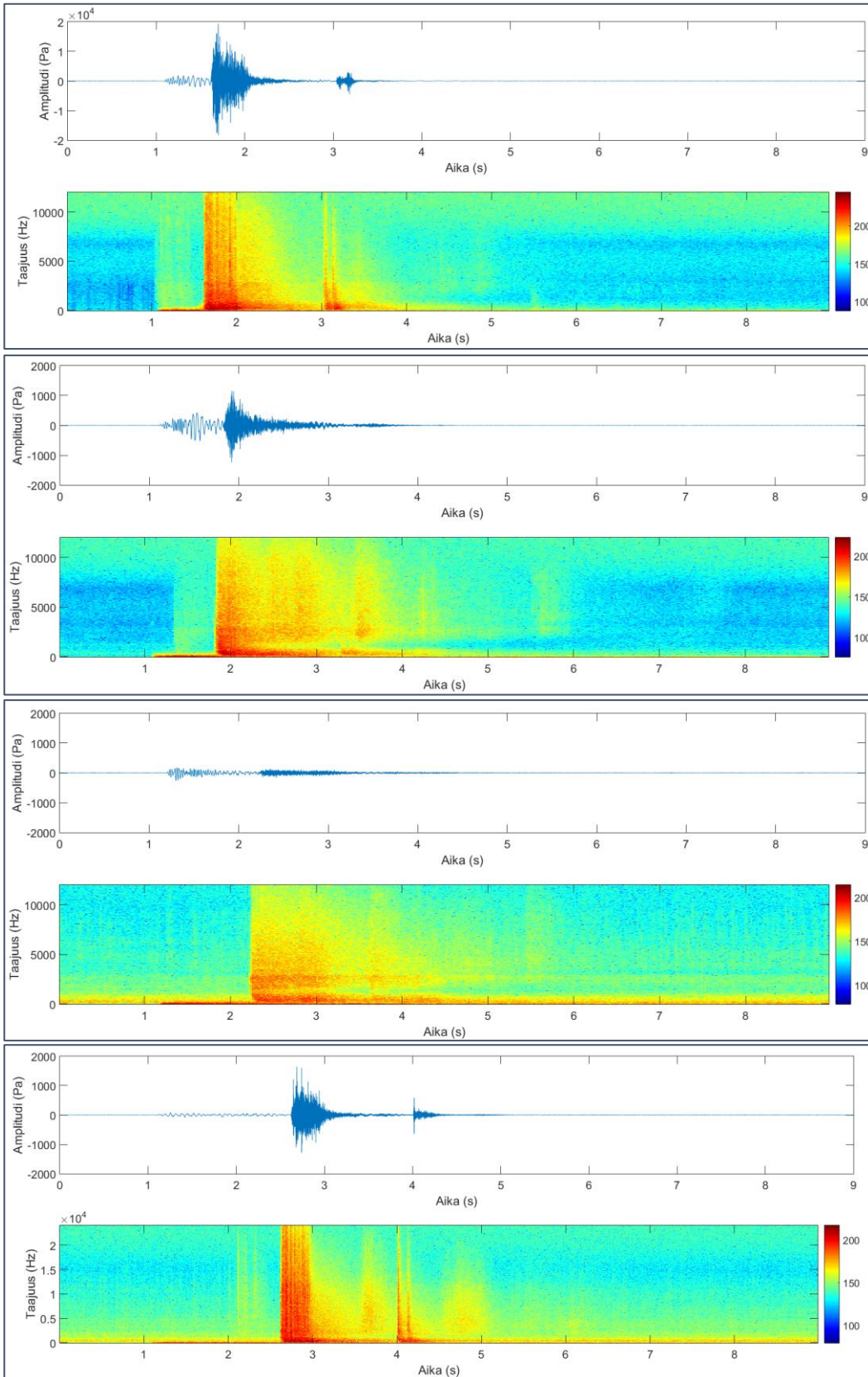
Kuva 10. Louhinnoista lasketut huippumelutasot

Louhinnan yhteydessä suoritetusta räjäytyksestä aiheutuva melu on impulssimaista ja lyhytkestoista. Kuvissa 11 ja 12 on RK5b-alueella suoritettu räjäytys #22. Kuvaan 11 on merkitty räjähdystapahtuman eri vaiheet. Punaisella on merkitty pohjan kautta etenevä matalataajuinen ääni. Suurin osa energiasta etenee vedessä. Oranssilla on merkitty ensin räjähtävät nallit ja sinisellä merkityllä alueella on varsinainen räjähdys. Lopuksi räjäytyksen jälkeen saapuvat vihreällä merkityt heijastukset.



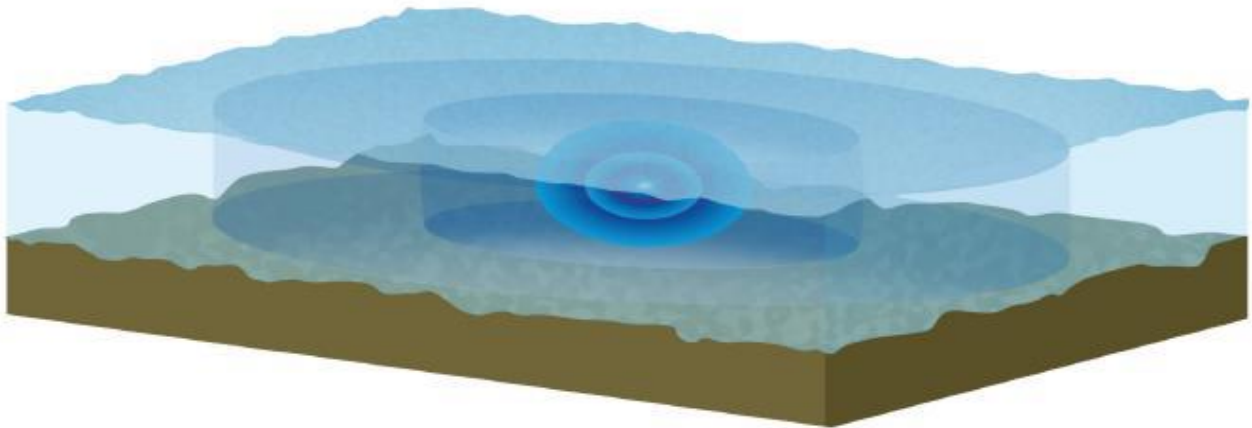
Kuva 11 Räjäytyksen eri vaiheet

Kuvassa 12. räjähdys on esitetty jokaisesta neljästä mittauspisteestä etäisyysjärjestyksessä Vuosaari 2 (1100 m), Vuosaari 1 (1400 m), Vuosaari 4 (2000 m) ja Vuosaari 3 (3000 m). Etäisyyden ja matalikkojen sekä heijastumien johdosta mitattu spektri muuttuu. Vedessä noin 1450 m/s etenevä ääni saapuu mittauspisteille eriaikaisesti, kun taas pohjan kautta kulkeva ääni lähes samanaikaisesti. Äänenpainetasot pisteessä Vuosaari 4 jäivät melko alhaiseksi välissä olevien matalikkojen takia.



Kuva 12. Esimerkki louhinnasta alueelta RK5b neljästä pisteestä mitattuna etäisyysjärjestyksessä Vuosaari 2 (1100 m), Vuosaari 1 (1400 m), Vuosaari 4 (2000 m) ja Vuosaari 3 (3000 m).

Mittausten perusteella etenemisvaimennus oli hyvin voimakasta. Melun etäisyysvaimenemiseen vaikuttaa mm. merenpohjan fysikaaliset ominaisuudet ja sedimenttityyppi, veden äännopeusprofiili sekä syvyysolosuhteet. Tässä tapauksessa suurin vaikutus on todennäköisesti hyvin matalilla ja vaihtelevilla syvyysolosuhteilla. Matalassa vedessä ääni etenee sylinterimäisesti ($10\log(r)$, kuva 13), kun taas syvässä vedessä pallomaisesti ($20\log(r)$).³ Geometrisen etenemisvaimennuksen on osoitettu olevan Itämerellä usein välillä $14\log(r) - 17\log(r)$.⁴ Taulukossa 2 on esimerkki etenemisvaimennuksen vaikutuksesta ja kuvaan 14 on piirretty vertailun vuoksi $+15\log(r)$ -vaimennus.



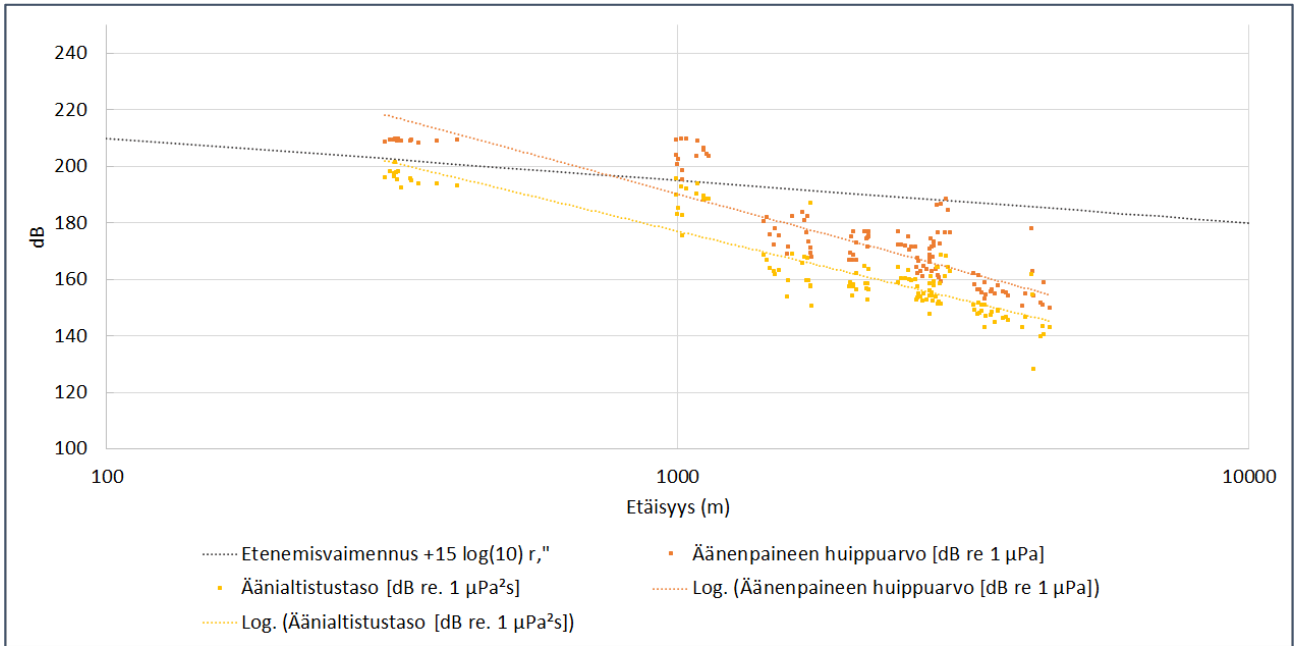
Kuva 13 Sylinterimäinen eteneminen matalassa vedessä.

Taulukko 2. Etenemisvaimennuksen vaikutus

Etäisyys, r [m]	Sylinterimäinen etenemisvaimennus	Pallomainen etenemisvaimennus
	$10\log(r)$ [dB]	$20\log(r)$ [dB]
1	0	0
10	10	20
100	20	40
1000	30	60

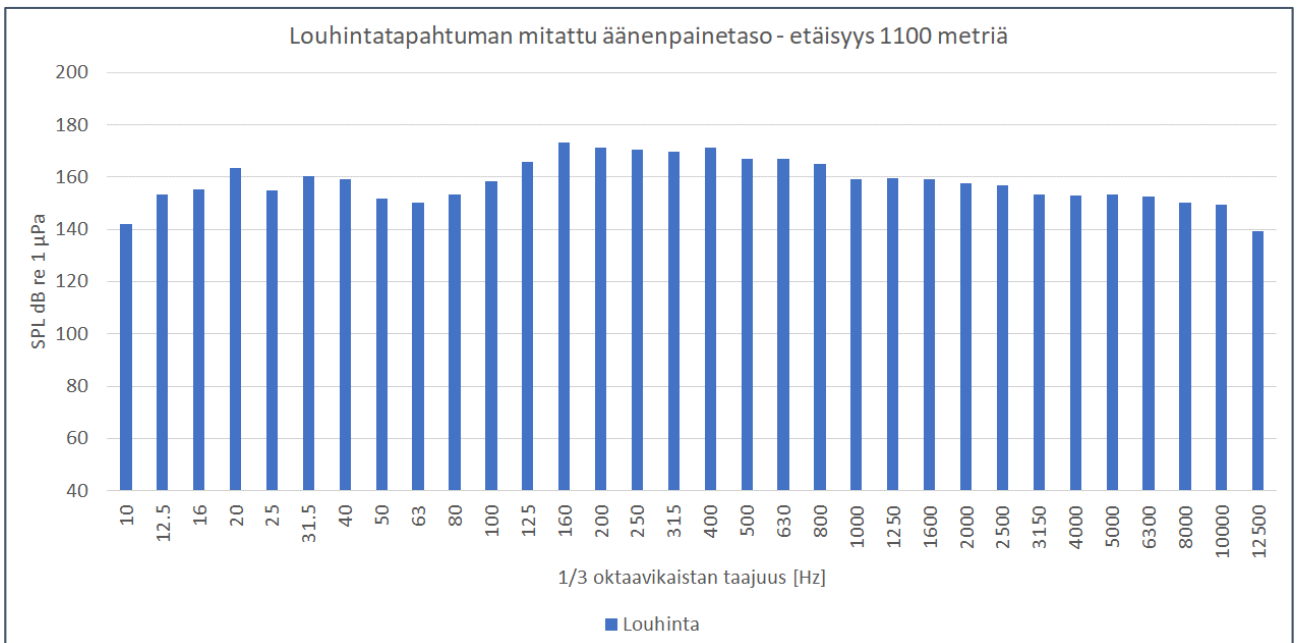
³ Good Practice Guide for Underwater Noise Measurement, National Measurement Office, Marine Scotland, The Crown Estate, Robinson, S.P., Lepper, P. A. and Hazelwood, R.A., NPL Good Practice Guide No. 133, ISSN: 1368-6550, 2014.

⁴ Jörgen Pihl, Jan-Olof Hegethorn, Sven Ivansson, Per Morén, Eva Norrbrand, Bernt Nilsson, Gunnar Sundin, Anders Wester and Viggo Westerlin (1998) Underwater Acoustics in the Baltic FOA Defence Research Establishment, FOAR-98-00727-409-SE, ISSN 1104-9154



Kuva 14. Laajakaistaisen melun etenemisvaimennus.

Louhinnasta aiheutuvat melun vaikutusalueen arviointiin käytettiin dBSea-ohjelmistoa, jolla voidaan laskea äänen etenemistä ja vaimenemista mallinnusalueella sekä arvioida vedenalaisen melun alueellista ja ajallista vaikutusta kaloille tai merinisäkkäille. Ohjelma laskee äänikentän etäisyyden, syvyyden ja äänilähteen suunnan funktiona. Mallia varten valittiin yksi keskimääräinen louhintatapahtuma alueelta RK5b. Kuvassa 15 on esitetty louhintatapahtuman mitattu äänenpainetaso 1/3 oktaavikaistoittain.



Kuva 15. Louhintatapahtuman mitattu äänenpainetaso 1/3 oktaavikaistoittain.

Mitattujen äänenpainetasojen ja tunnettujen mittausetäisyyksien perusteella pystyttiin ohjelman avulla määrittämään melupäästö referenssitilassa (yhden metrin päässä lähteestä). Mallissa

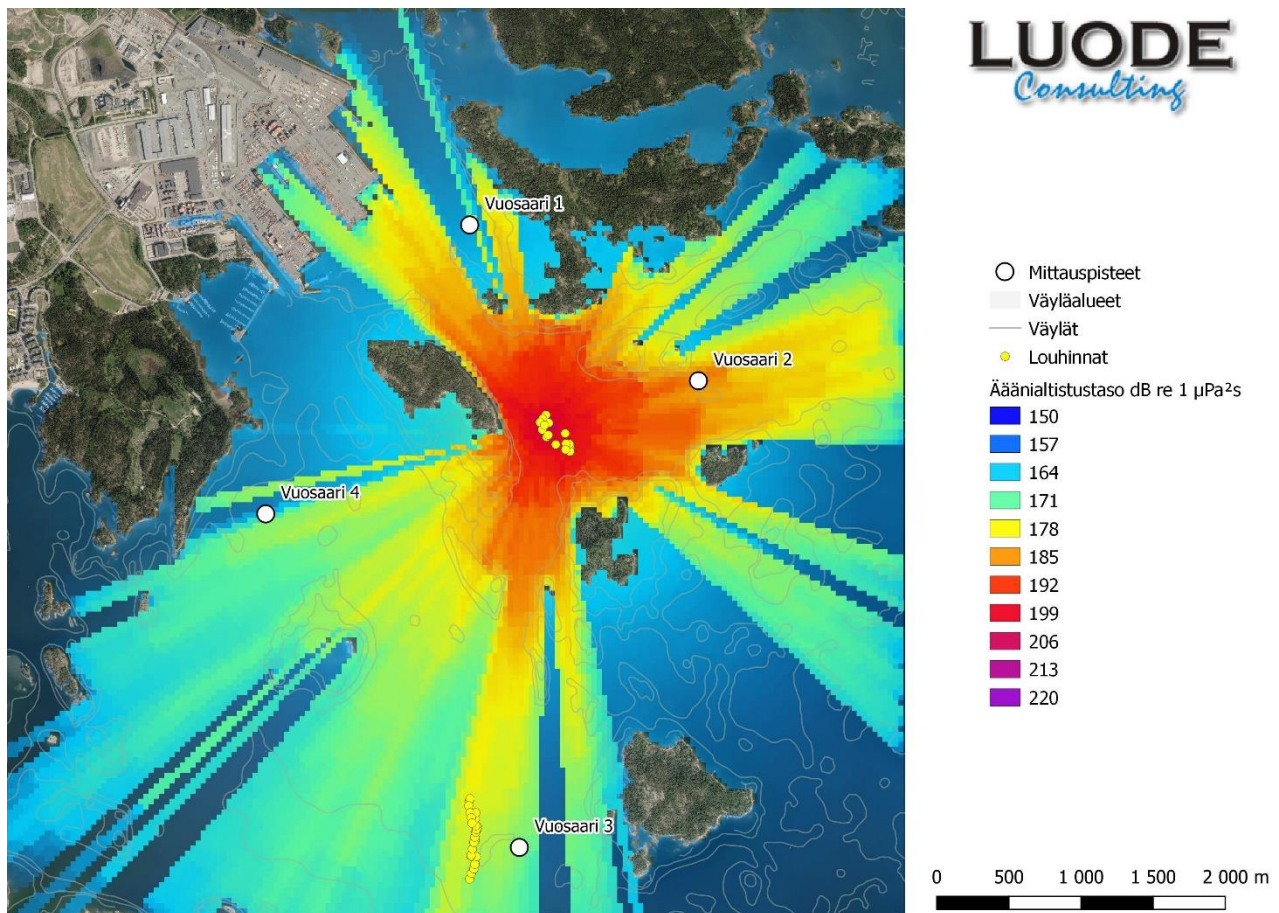
käytettiin kahden eri laskentamenetelmän yhdistelmää, koska eri laskentamenetelmät ovat sopivia rajoitetulla taajuusalueella.

Korkeammilla taajuuksilla käytettiin sädemenetelmää (engl. ray tracing), joka soveltuu paremmin lyhyille aallonpituuksille. Matalilla taajuuksilla aallonpituudet ovat pitkiä, jolloin parabolinen etenemisyhtälö huomioi paremmin etenemisvaimennuksen ja vaihtelevan merenpohjan. Melutasot mallinnettiin oktaavikaistoittain taajuusalueelle 20–8000 Hz.

Alueen syvyysmalli tehtiin yhdistämällä Traficomien avoin syvyysaineisto. Mallissa hyödynnettiin mitattuja äänennopeusprofiileja ja merenpohjan sedimenttityypiksi valittiin siltti.

Kuvassa 16 on esitetty yksittäisen louhintatapahtuman mallinnus alueelta RK5. Kuvaan on merkitty myös muut louhintapisteeet sekä mittauspisteet.

Mallitulosten perusteella arvioitiin myös mahdolliset vaikutusetäisyydet yksittäisestä louhintatapahtumasta alueen merieliöstölle alueilla RK5b ja RK4a. Tulokset on esitetty liitteessä 1.

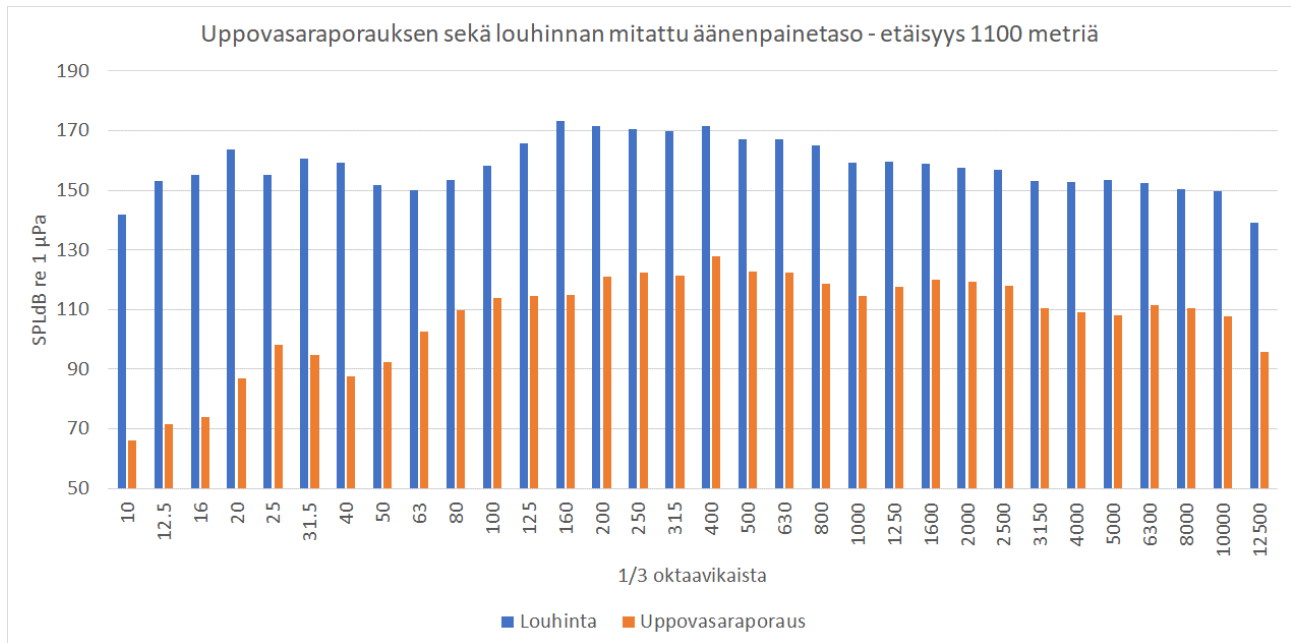


Kuva 16. Yksittäisen louhintatapahtuman mallinnus alueelta RK5.

Poraus

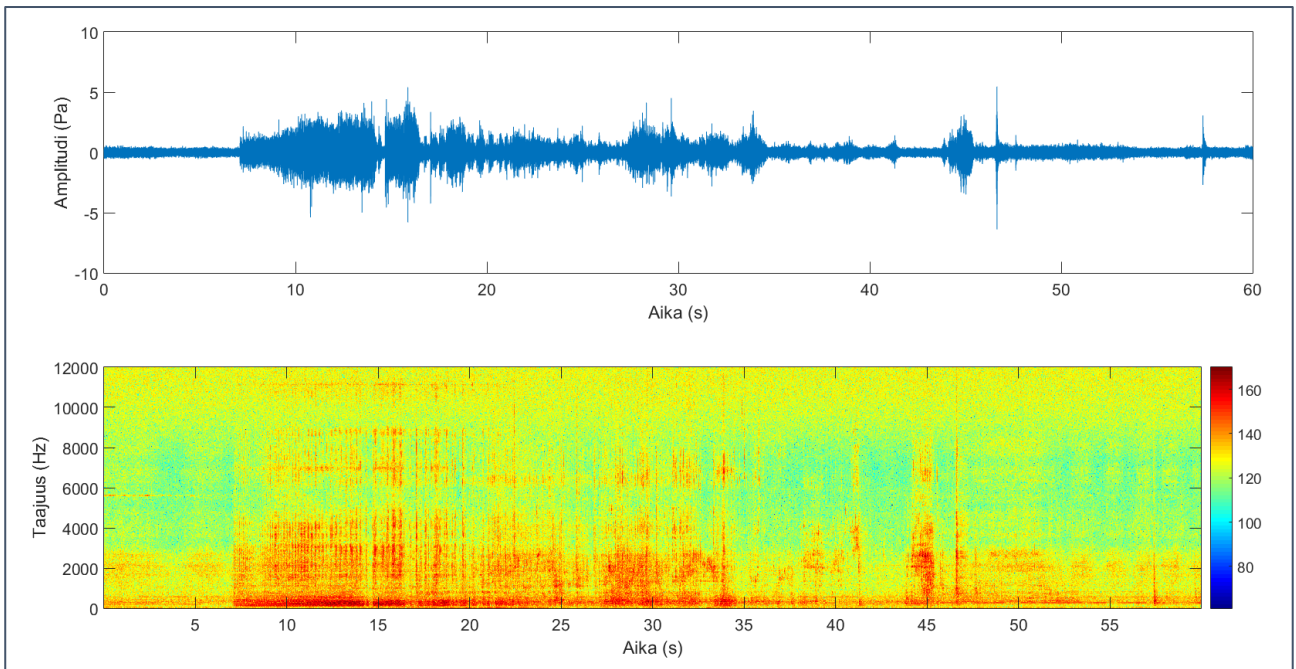
Poraamisen äänenpainetasot riippuvat pohjan rakenteesta, porausmenetelmästä sekä myös porattavan reiän koosta. Vuosaarissa louhinnan yhteydessä tehtävässä porauksessa käytettiin uppovasaraporaus-menetelmää. Uppovasaraporauksessa iskuvasara on suoraan porakruunun takana, joten iskusysteemi seuraa kruunua porattavaan reikään. Poraputket välittävät tarvittavan syöttövoiman, kierto liikkeen ja paineilman vasaralle ja kruunulle. Uppovasaraporauksen aiheuttama melu pinnalla muodostuu ainoastaan kompressorin aiheuttamasta äänestä.

Kuvassa 17 on näyte uppovasaraporauksen aiheuttamasta melusta veden alle 1/3 oktaavikaistoittain. Kuvaan on lisätty vertailun vuoksi myös louhintatapahtuman äänenpainetaso 1/3 oktaavikaistoittain. Mittausetäisyys molemmissa on noin 1100 metriä. Poraamisesta syntyvä ääni siirtyy poratessa porausreiästä ympäröivään merenpohjaan sekä poraustyökaluston värähtelyn myötä suoraan veteen. Melu on laajakaistaista, energiaa myös korkeammilla taajuuksilla. Melu ei ole iskumaista tai kapeakaistaista

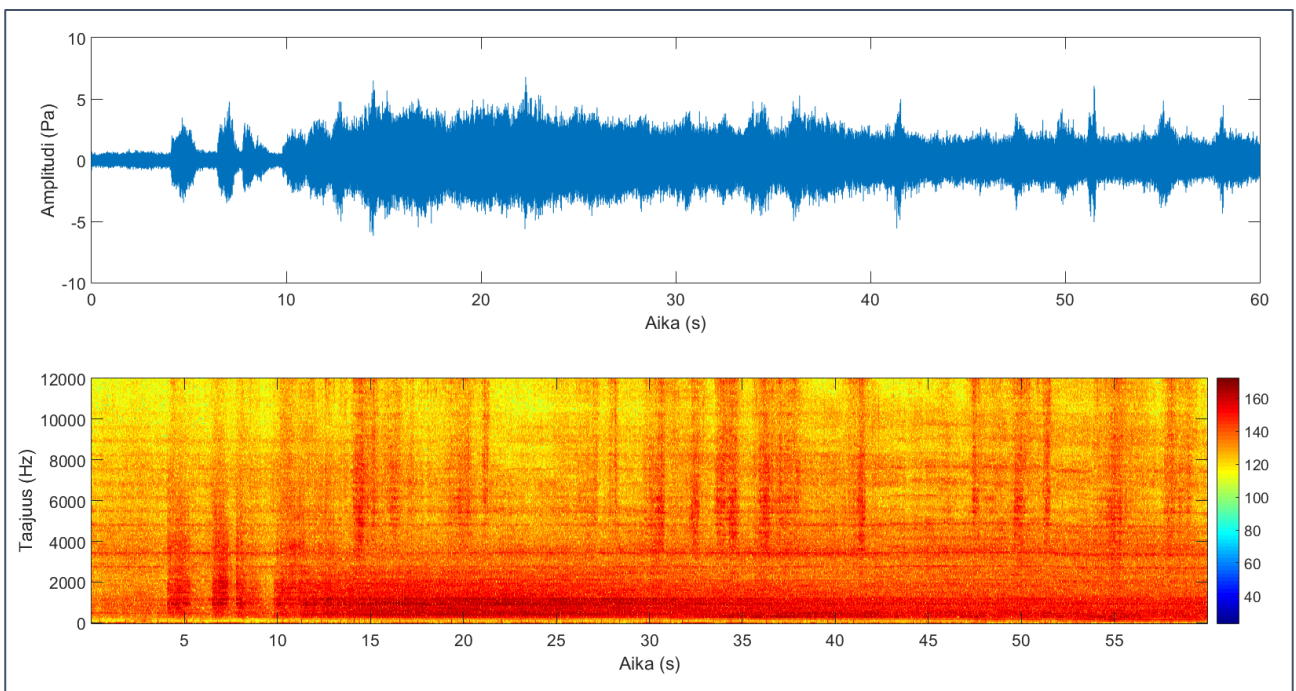


Kuva 17 Uppovasaraporauksen sekä vertailun vuoksi louhintatapahtuman mitattu äänenpainetaso 1/3 oktaavikaistoittain.

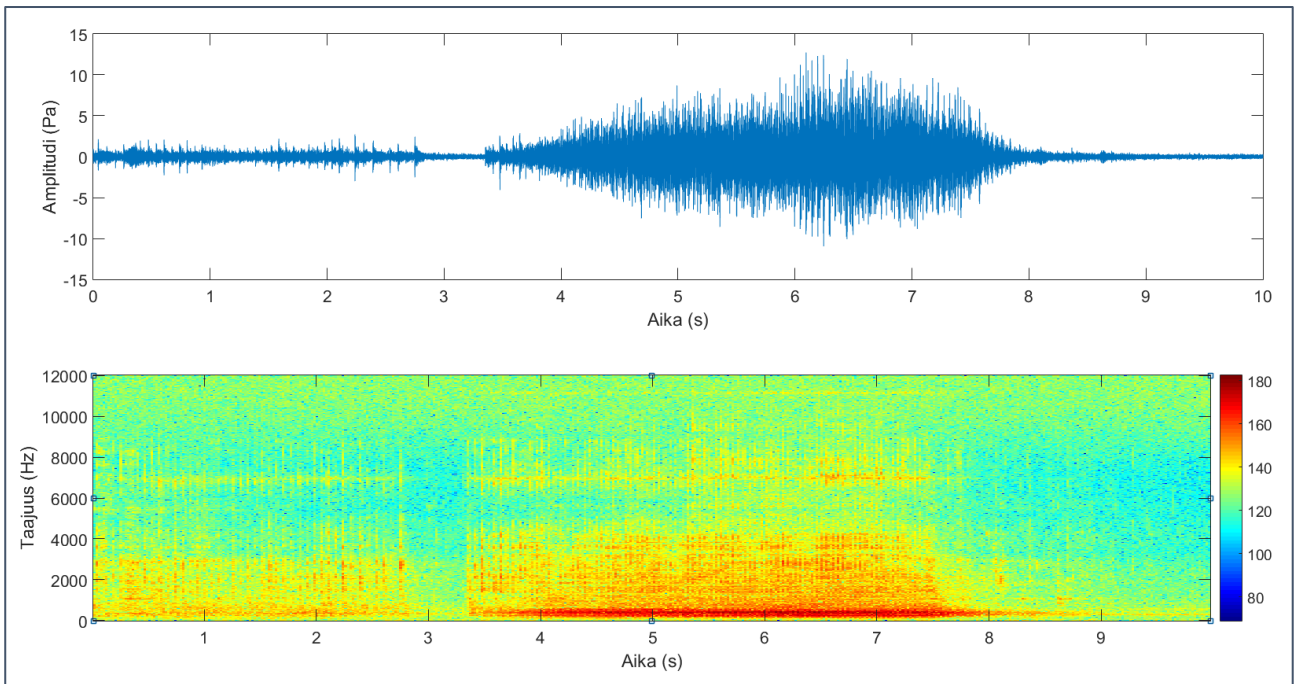
Kuvassa 18 on esitetty äänenpaine ja spektrogrammi uppovasaraporauksesta alueella RK5b. Mittausetäisyys on 1100 metriä. Vertailun vuoksi kuvassa 19 on esitetty poraustapahtuma, joka mitattiin Rauman väylän louhinnan yhteydessä 7.9.2016 noin 1300 metrin etäisyydeltä. Kuvien perusteella ero ei ole merkittävä. 5-10 Pa vastaa veden alla 134-140 dB:n äänenpainetasoa. Kuvassa 20 on toinen 10 sekunnin näyte Vuosaaren mitatusta uppovasaraporauksesta.



Kuva 18 Uppovasara-poraus Vuosaaren louhinnan yhteydessä 17.10.2020. Etäisyys noin 1100 metriä.

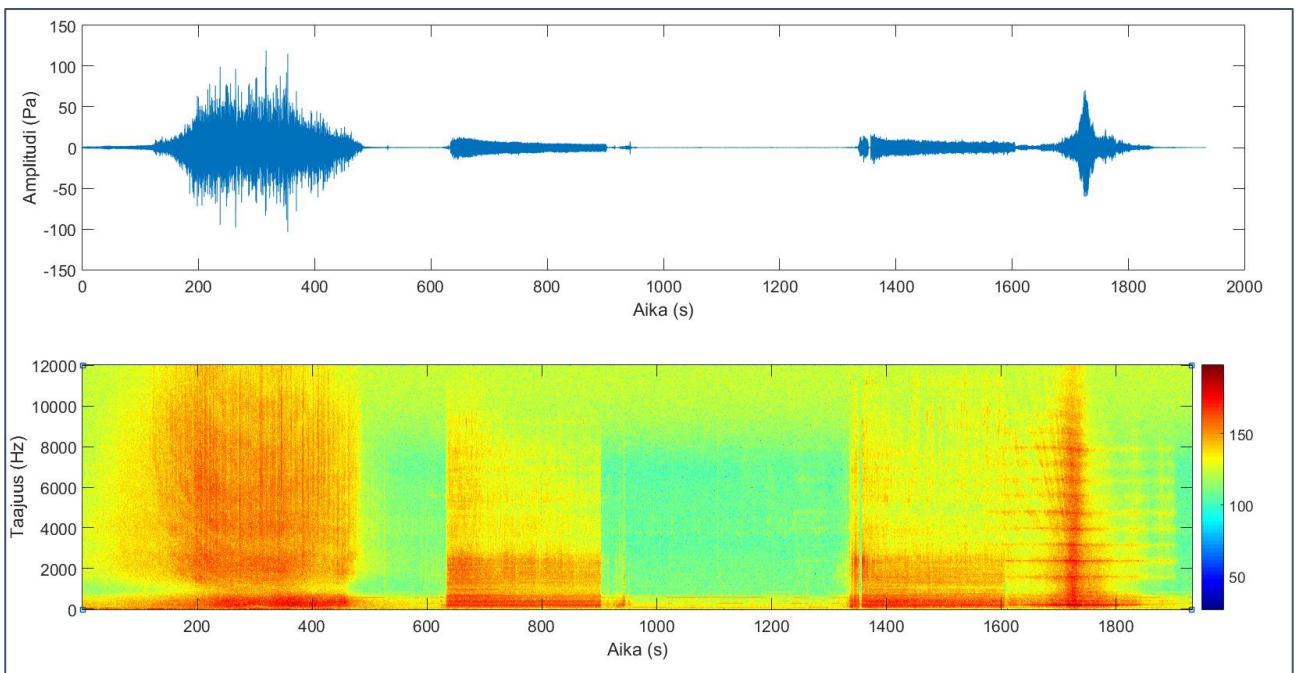


Kuva 19. Poraus Rauman louhinnan yhteydessä 7.9.2016 Etäisyys noin 1300 metriä.



Kuva 20. 10 sekunnin esimerkki uppovasaraporauksesta Vuosaaren louhinnan yhteydessä 17.10.2020

Kuvassa 21. on esimerkki kolmesta peräkkäisestä melutapahtumasta mittauspisteellä Vuosaari 2 16.10.2020. Alussa Finbo Cargo -rahtialus ohittaa mittauspisteen noin 1200 metrin päästä. Tämän jälkeen on kaksi porausjaksoa noin 1100 metrin päästä ja näytteen loppupuolella moottorivene ohittaa mittauspisteen arviolta 100 - 200 metrin päästä.

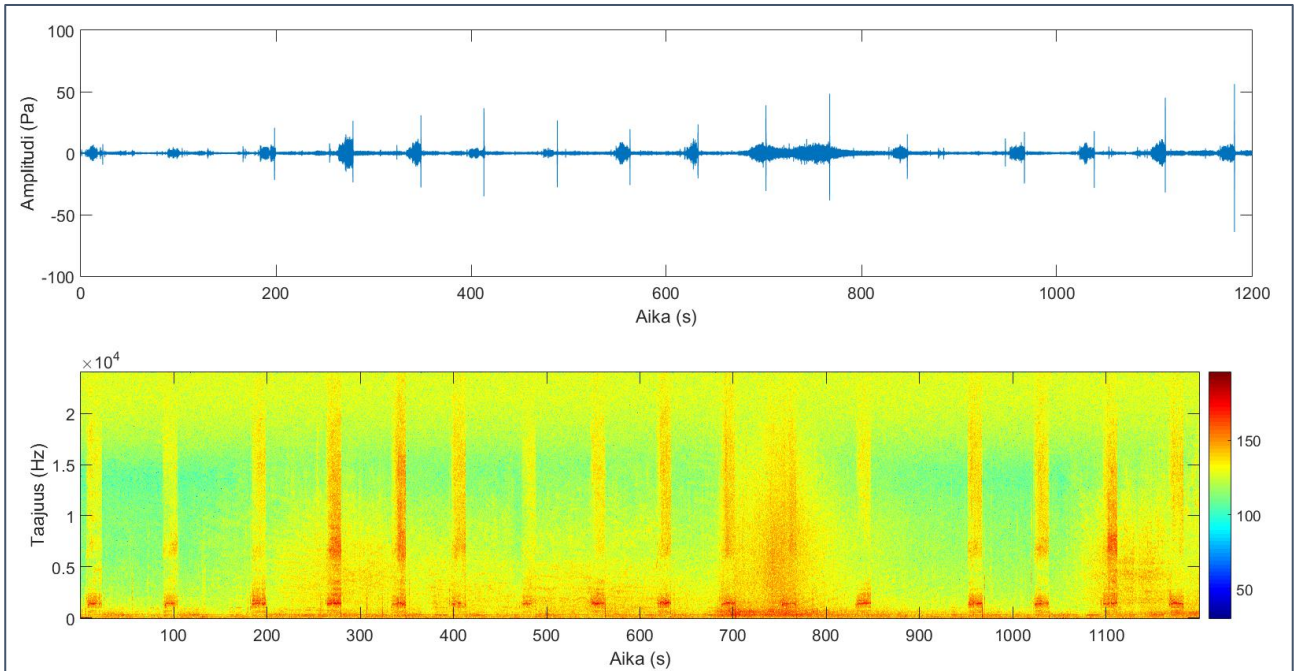


Kuva 21. Esimerkki melutapahtumista mittauspisteellä Vuosaari 2. Alussa näkyy ison laivan ohitus, välissä kaksi porausjaksoa ja lopussa moottoriveneen ohitus.

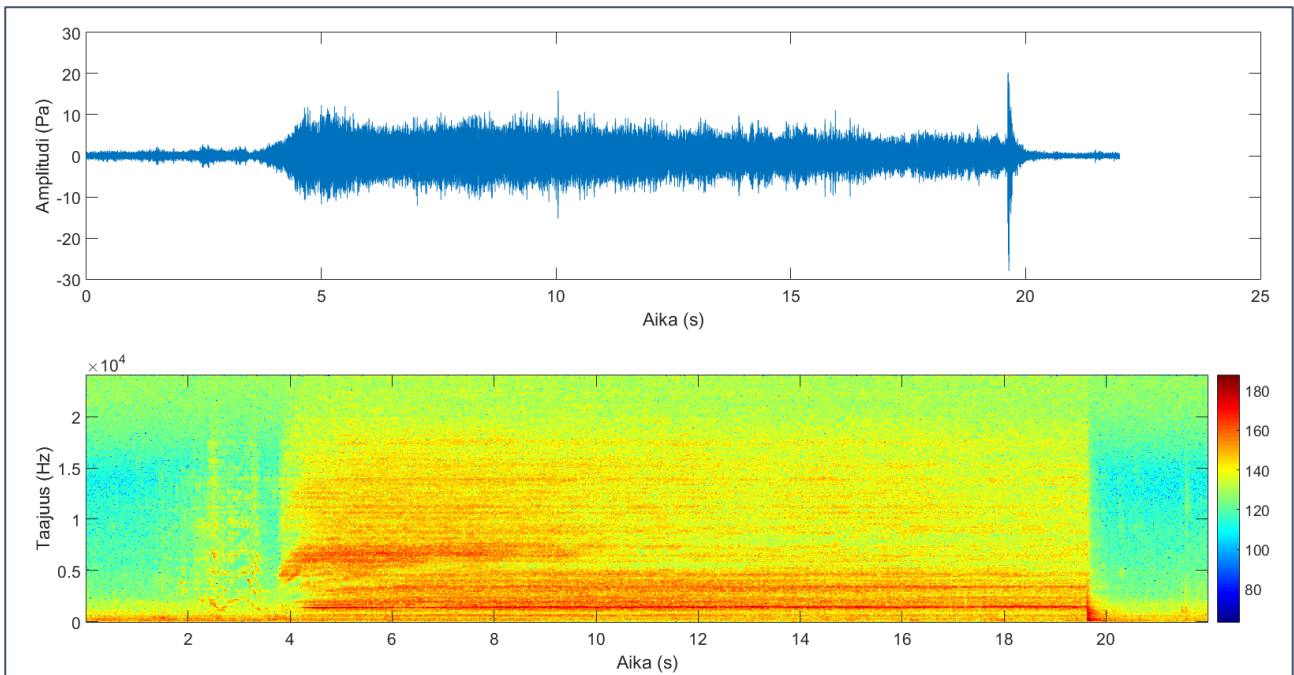
Ruoppaus

Ruoppauksesta aiheutunut melu esiintyi selkeimmin mittauspisteessä Vuosaari 1. Kuvissa 22–23 on näyte Kahmari 2:n suorittamasta ruoppauksesta 200–400 metrin päässä hydrofonista

ruoppausalueella RK6F. Pääosa korkeista taajuuksikomponenteista syntyy vajereista, kun kahmarikauhaa nostetaan niiden varassa ylös. Noston lopuksi kuuluu kolahdus, jonka mitattu taso oli 145–155 dB.



Kuva 22. Esimerkki ruoppauksesta Vuosaaren louhinnan yhteydessä 17.10.2020. Etäisyys 200-400 metriä

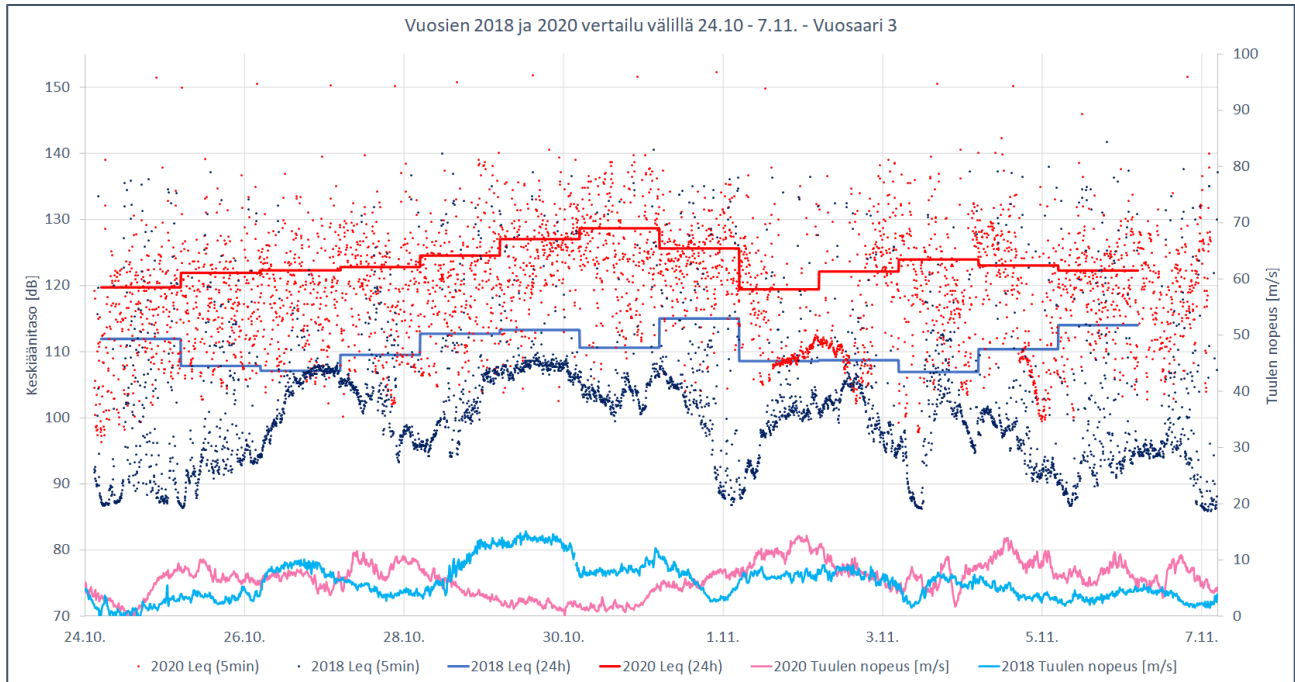


Kuva 23. Esimerkki ruoppauksesta Vuosaaren louhinnan yhteydessä 17.10.2020. Etäisyys 200 – 400 metriä.

Syventämishankkeen aikaisten melutasojen vertailu esiselvitykseen

Vuonna 2018 esiselvityksen yhteydessä mitattiin melutasoja samoissa mittauspisteissä. Kuvassa 24 on vertailtu Vuosaari 3 -mittauspisteen keskiäänitasoja molemmilta vuosilta välillä 24.10.–07.11. Jakson aikana työskenneltiin pääosin alueella RK4a. Alueella RK5b oli ainoastaan kaksi pientä louhintatapahtumaa 30.10.2020, joissa räjähdeainemäärät olivat 424,6 kg ja 370,7 kg. RK4a-alueella louhittiin kyseisenä ajanjaksona 15 kenttää, joissa kentän räjähdeainemäärän keskiarvo oli

4317 kg. Alueella RK4a myös ruopattiin 30.10.–7.11. välisenä aikana yhteensä 37 000 m³. Aluskäyntien määrä oli tarkastelujakson aikana 2018 79 kpl ja vuonna 2020 104 kpl. Jakson keskiäänitaso oli vuonna 2018 110,9 dB ja vuonna 2020 123,6 dB.



Kuva 24. Vuosaari 3 -mittauspisteen keskiäänitasojen vertailu vuosilta 2018 ja 2020 välillä 24.10. – 07.11.

Johtopäätökset

Yhteensä 129 melutapahtumasta laskettiin äänialtistustaso sekä äänenpaineen huippuarvo. Geometrinen etenemisvaimennus oli alueella voimakasta saarien, matalikkojen ja vaihtelevien syvyyssolosuhteiden vuoksi.

Vuosaassa käytetyn uppovasarakorauksen ja Rauman väylähankkeen yhteydessä mitatun porauksen välisissä melutasoissa ei havaittu merkittävää eroa.

Vuosaari 1 -mittauspisteellä keskiäänitaso pysyi melko tasaisena koko mittausjakson ajan mutta melutaso oli voimakkain (122,3 dB) verrattuna muihin mittauspisteisiin. Pääosin melua aiheutti sataman alusliikenne sekä ruoppaustyöt, jotka olivat käynnissä suurimman osan mittausjaksosta.

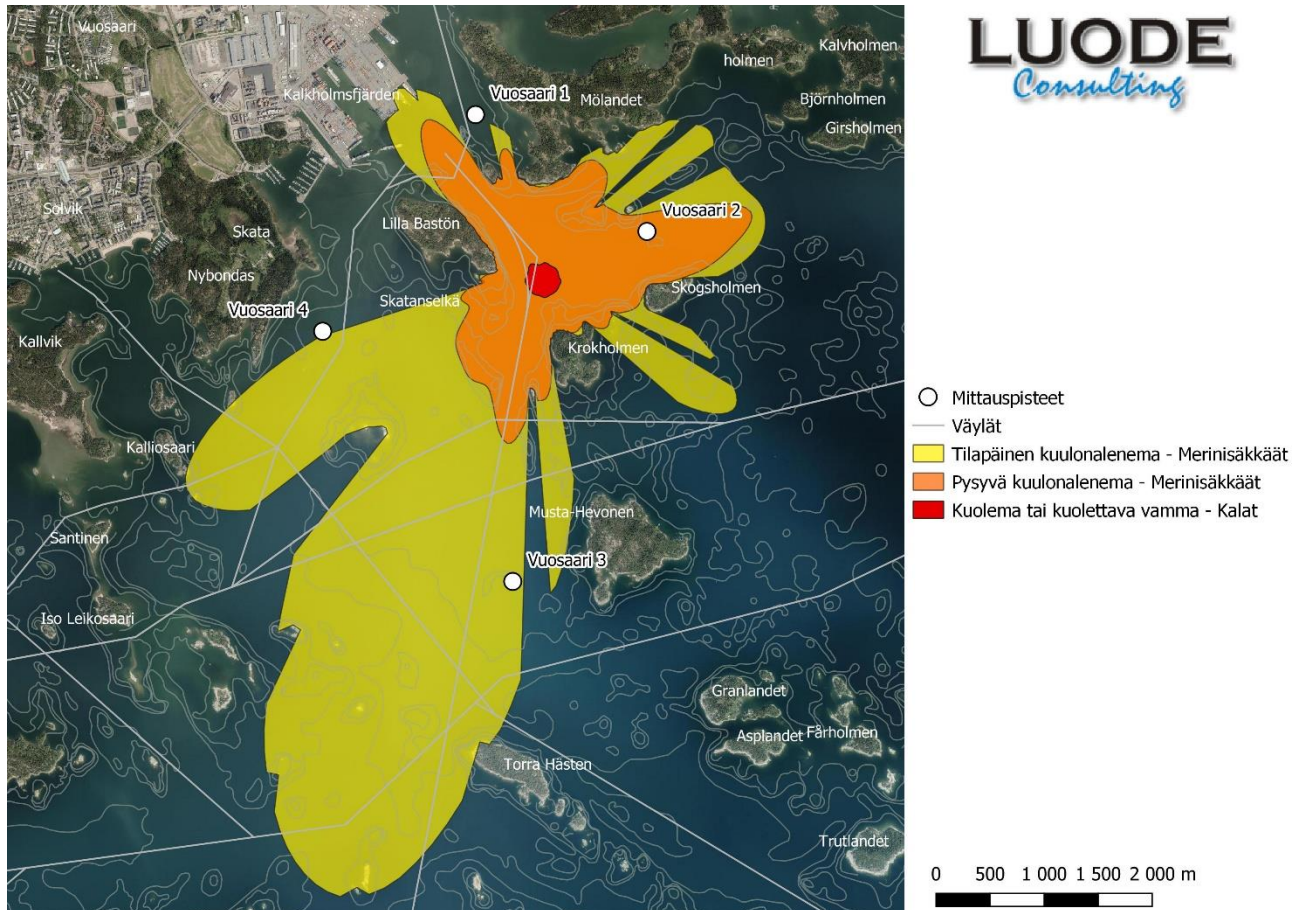
Vuosaari 2 -mittauspisteellä ruoppaus- poraus- ja louhintatyöt nostivat selkeästi melutasoja. Koko mittausjakson aikainen keskiäänitaso oli alhaisin (113,9 dB), koska mittauspiste oli saarten suojassa eikä ihan vieressä ole veneväyliä.

Vuosaari 3 -mittauspisteellä havaittiin myös selkeä melutasojen nousu ruoppaus- poraus- ja louhintatöiden alkaessa. Osa lähimmällä RK4a -alueella tapahtuneista louhinnoista jäivät vaimeammaksi mittauspisteen ja louhinnan välillä olevan matalikon takia. Koko mittausjakson keskiäänitaso oli 119,4 dB.

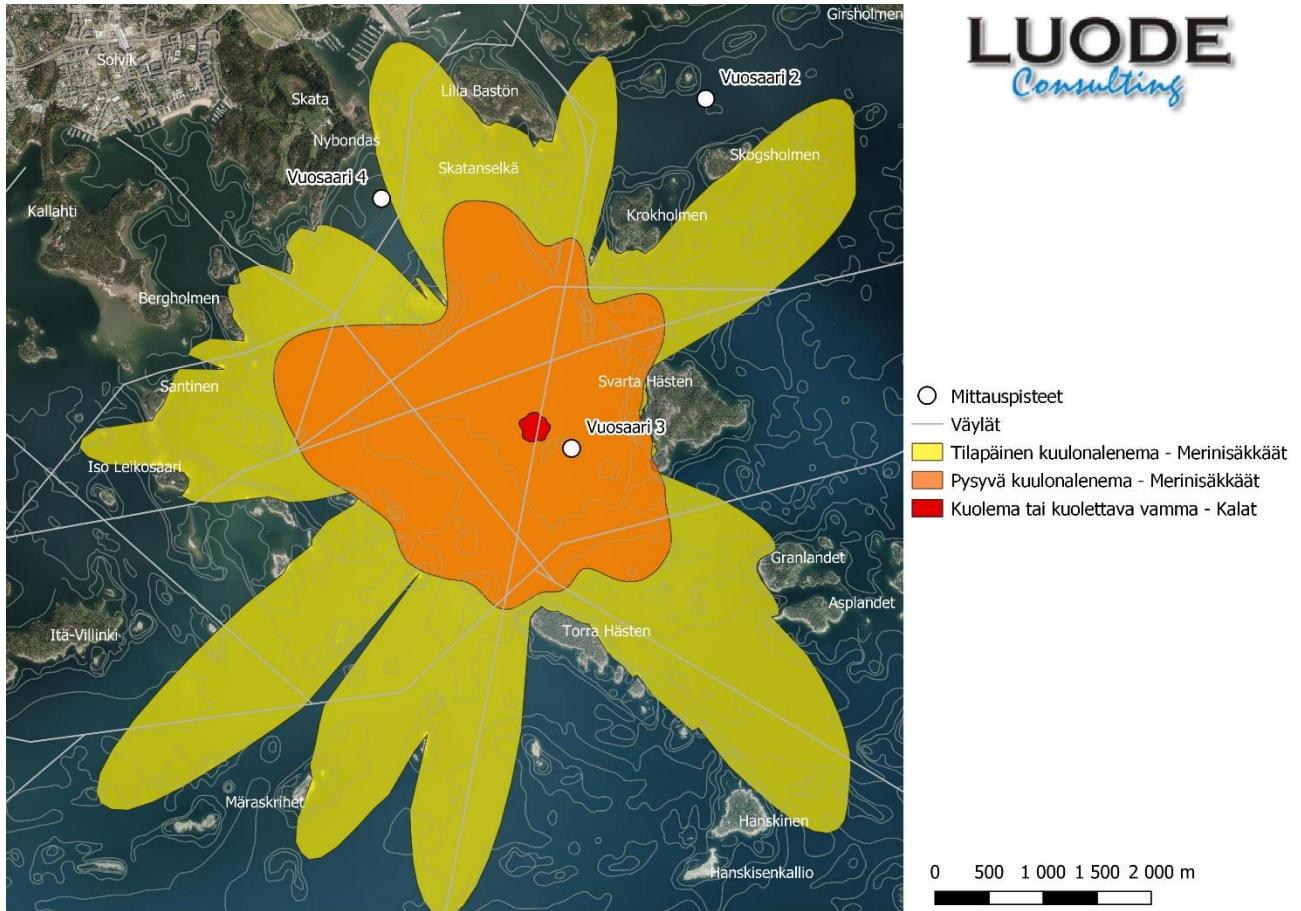
Vuosaari 4 -mittauspisteellä koko jakson keskiäänitaso oli toiseksi alhaisin (116,1 dB). Louhinnat kuuluivat samalla tasolla alueilta RK4a ja RK5b mutta jäivät melko alhaiseksi välissä olevien matalikkojen takia. Myös ruoppaus- ja porausäänet jäivät alhaiseksi. Vieressä oleva veneväylä vaikutti olennaisesti keskiäänitasoihin.

Liite 1. Louhintatapahtuman vaikutuksen arviointi kaloille ja merinisäkkäille

Pyöriäisen ja hylkeen tilapäisen kuulonaleneman raja-arvona käytettiin 164 (SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$) (yksittäinen tapahtuma). Pysyvän kuulonaleneman raja-arvona käytettiin 179 (SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$). Kalojen osalta vaikutusalue 207 (SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$) jäi kyseisen räjähdysosan lähikenttään eli joidenkin kymmenien metrien päähän.



Kuva 25. Mallinnettu louhintatapahtuman vaikutuksen arviointi kaloille ja merinisäkkäille alueella RK5b.



Kuva 26. Mallinnettu louhintatapahtuman vaikutuksen arviointi kaloille ja merinisäkkäille alueella RK4a.

Liite 2 Lista raportin mukana toimitettavasta materiaalista

- Tulokset aikasarjoina koko mittausajalta 5 minuutin ja tunnin keskiäänitasoina
- Taulukot sääolosuhteista
- Taulukot ruoppaus-, poraus- ja louhintatöistä
- Sataman laivalistat

Liite 3. Hydrofonien kalibrointitiedot

Device	Model	SoundTrap 300 STD
	Serial No	1208545311
Source	Model	Center 327
	Serial	130307390
	Frequency	250 Hz
	Coupler	OIC1
	Level	120 dB re. 1 μ Pa
Reference	Model	B&K 2236
	Serial	2015497
End-to-End Calibration	High Gain	176.1 dB
	Low Gain	188.7 dB
Calibration Tone	RTI Level @ 1kHz	135 dB re. 1 μPa

Device	Model	SoundTrap 300 HF
	Serial No	671916070
Source	Model	Center 327
	Serial	130307390
	Frequency	250 Hz
	Coupler	OIC1
	Level	120 dB re. 1 μ Pa
Reference	Model	B&K 2236
	Serial	2015497
End-to-End Calibration	High Gain	177.9 dB
	Low Gain	190.4 dB
Calibration Tone	RTI Level @ 1kHz	136.5 dB re. 1 μPa

Device	Model	SoundTrap 300 STD
	Serial No	1208221722
Source	Model	Center 327
	Serial	130307390
	Frequency	250 Hz
	Coupler	OIC1
	Level	120 dB re. 1 μ Pa
Reference	Model	B&K 2236
	Serial	2015497
End-to-End Calibration	High Gain	176.7 dB
	Low Gain	189.1 dB
Calibration Tone	RTI Level @ 1kHz	135.4 dB re. 1 μPa

Device	Model	SoundTrap 300 STD
	Serial No	336072751
Source	Model	Center 327
	Serial	130307390
	Frequency	250 Hz
	Coupler	OIC1
	Level	121 dB re. 1 μ Pa
Reference	Model	B&K 2236
	Serial	2015497
End-to-End Calibration	High Gain	183 dB
	Low Gain	210.2 dB
Calibration Tone	RTI Level @ 1kHz	140.4 dB re. 1 μPa

Device	Model	SoundTrap 300 STD
	Serial No	335573045
Source	Model	Center 327
	Serial	130307390
	Frequency	250 Hz
	Coupler	OIC1
	Level	121 dB re. 1 μ Pa
Reference	Model	B&K 2236
	Serial	2015497
End-to-End Calibration	High Gain	182.4 dB
	Low Gain	209.7 dB
Calibration Tone	RTI Level @ 1kHz	139.6 dB re. 1 μPa

Device	Model	SoundTrap 300 STD
	Serial No	1208774690
Source	Model	Center 327
	Serial	130307390
	Frequency	250 Hz
	Coupler	OIC1
	Level	120 dB re. 1 μ Pa
Reference	Model	B&K 2236
	Serial	2015497
End-to-End Calibration	High Gain	176.3 dB
	Low Gain	188.9 dB
Calibration Tone	RTI Level @ 1kHz	135 dB re. 1 μPa

Device	Model	SoundTrap 300 STD
	Serial No	1207992351
Source	Model	Center 327
	Serial	130307390
	Frequency	250 Hz
	Coupler	OIC1
	Level	120 dB re. 1 μ Pa
Reference	Model	B&K 2236
	Serial	2015497
End-to-End Calibration	High Gain	176.3 dB
	Low Gain	188.8 dB
Calibration Tone	RTI Level @ 1kHz	135 dB re. 1 μPa

Device	Model	SoundTrap 300 STD
	Serial No	1208778777
Source	Model	Center 327
	Serial	130307390
	Frequency	250 Hz
	Coupler	OIC1
	Level	120 dB re. 1 μ Pa
Reference	Model	B&K 2236
	Serial	2015497
End-to-End Calibration	High Gain	176.8 dB
	Low Gain	189.3 dB
Calibration Tone	RTI Level @ 1kHz	135.5 dB re. 1 μPa