



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
EESTI MEREAKADEEMIA
Merenduskeskus

Ivo Omer

**Eesti mereala valitud piirkonna ja alambasseinide veealuse müra
GIS analüüs: 50. protsentiili trend aastatel 2014 ja 2019**

Lõputöö

Juhendaja: PhD Janek Laanearu

Tallinn 2020

Olen koostanud töö iseseisvalt.

Töö koostamisel kasutatud kõikidele teiste autorite töödele, olulistele seisukohtadele ja andmetele on viidatud.

Ivo Omer

Allkirjastatud digitaalselt

(allkiri, kuupäev)

Üliõpilase kood: 166081VDVR

Üliõpilase e-posti aadress: ivo.omer@taltech.ee

Juhendaja: PhD Janek Laanearu

Töö vastab lõputööle esitatud nõuetele

Allkirjastatud digitaalselt

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: PhD Inga Zaitseva-Pärnaste

Lubatud kaitsmisele

Allkirjastatud digitaalselt

(ametikoht, nimi, allkiri, kuupäev)

Sisukord

Annotatsioon.....	4
Sissejuhatus	5
1 Läänemere hea keskkonnaseisundi indikaator: veealune müra.....	6
1.1 Veealuse müra hindamine Läänemeres	6
1.2 Meremüra allikad ja mõju	8
1.3 Müra indekseerimine	9
2 Hüdroakustika.....	11
2.1 Heli levikut meres mõjutavad tegurid.....	12
2.2 Hüdroakustilised parameetrid	12
2.2.1 Helirõhu taseme kaardid.....	15
3 Läänemere helirõhukaartide GIS-analüüs	17
3.1 HKS analüüs	18
3.2 Meetodi kirjeldus	19
3.3 Tulemused.....	22
Kokkuvõte	28
Abstract.....	29
Viidatud allikad	30
Lisa 1 Merealade helirõhu tasemete karakteristikud (dB).....	32
Lisa 1 järg Merealade helirõhu tasemete karakteristikud (dB).....	33
Lisa 2 Alambasseinide müratasemete pindalad.....	34
Lisa 2 järg Alambasseinide müratasemete pindalad.....	35
Lisa 2 järg Alambasseinide müratasemete pindalad.....	36
Lisa 2 järg Alambasseinide müratasemete pindalad.....	37
Lisa 2 järg Alambasseinide müratasemete pindalad.....	38
Lisa 3 Mereala 2014. ja 2019. a sesoonsete muutuste kokkuvõte.....	39
Lisa 4 Mereala 2014. ja 2019. a vastavate kuude vaheliste muutuste kokkuvõte	40

Annotatsioon

Meremüra on üks komponent hea keskkonnaseisundi saavutamise kriteeriumitest, see peab jääma piiridesse, mis ei kahjusta keskkonda. Käesoleval ajal ei ole saavutatud ühtset konsensust läviipiiride kohta, seetõttu on sobilik hinnata keskkonnaseisundit trendipõhiselt, võrreldes helirõhu tasemeid varasemate perioodide andmetega. 2014. aastal mõõdistati ja modelleeriti terve Läänemere ulatuses helirõhu tasemeid kesksagedustel 63 Hz, 125 Hz ja 2 kHz, mis on võimaldanud 2019. aasta andmete põhjal modelleeritud kaarte võrrelda viie aasta taguse perioodiga. Töös võrreldakse statistilisi karakteristikuid nagu miinimum, maksimum, mediaan ja keskmine helirõhutase leidmaks muutuste trendi. Lisaks on töö käigus uuritud muutuseid erinevate klasside alusel, muutused 1 dB laiuste klassidega on kujutatud histogrammidel ning 5 dB muutuste põhjal on koostatud ilmsetavad kaardid. Vaadeldes ainult keskmiseid ja mediaanväärtuste muutuseid võib jääda petlik mulje, et muutused on olnud väikesed, kuid viie aastaga on 63 Hz ja 125 Hz kesksageduste helirõhutasemed tõusnud enam kui 5 dB 6-16% merealal, arvestades väiksemate muutustega on tõus olnud rohkem kui 90% merealast.

Sissejuhatus

Merestrategia raamdirektiiviga oli püstitatud eesmärk saavutada 2020. aastaks hea keskkonnaseisund, milleni jõudmist hinnatakse kasutades erinevaid kriteeriumeid ning meremüra on üheks uuemaks inimtekkeliseks surveteguriks, millele on hakatud tähelepanu pöörama. Selle jälgimiseks viidi Läänemeres läbi 2014. aastal laiaulatuslik mõõdistus ja modelleerimisprojekt, mille tulemuseks oli kolme kesksagedusega helirõhu tasemete kaardid iga kuu ning terve aasta lõikes. Sama meetodikat kasutades on käsil modelleerimisprotsess 2019. aasta helitasemete kaarteide valmistamiseks, mis töö kirjutamise ajaks on võimaldanud teha analüüsi võrdlemaks jaanuari ja mai kuude viie-aasta vahelisi muutusi. Arvestades muutuste trendi on ekspertidel võimalik tulemuste andmeid kasutada hea keskkonnaseisuni saavutamise hinnangu andmisel.

Töö eesmärk on leida võrreldavate kuude statistilised karakteristikud: miinimum, maksimum, keskmine ja mediaan helirõhutase ning anda 2014. aasta ja 2019. aasta vaheliste, kui aasta siseste sesoonsete muutuste trendidest ülevaade. Läänemere keskkonnaseisundit mõjutava meremüra trendide määramisel lähtutakse Eesti jurisdiktsiooni kuuluva mereala ja tema alambasseinide hindamisega, mis on paraku piiratud 2019. aasta helirõhu tasemete kaartide ulatuse poolest. Analüüsi poolt katmata on Ida-Virumaast põhjas olev mereala, samuti Saaremaast ja Hiiumaast läände jääv ala ning väike osa Liivi lahe lõuna osast.

Esimeses peatükis kirjeldatakse lähemalt meremüra olemust ning seniseid terviklikke hinnanguid Läänemere seisundi kohta meremüra seisukohast. Selleks on kasutatud HOLAS I ja HOLAS II aruandeid. Seejärel tutvustatakse mõningaid olulisemaid hüdroakustika mõisteid ja helirõhu tasemete kaartide olemust lähtudes mõõdistusprojekti BIAS raames valminud meetodilistest juhenditest. Kolmas peatükk käsitleb endas GIS analüüsi kirjeldust ning tulemusi.

1 Läänemere hea keskkonnaseisundi indikaator: veealune müra

Merekeskkondade kaitse eesmärgil võeti 2008. aastal Euroopa Liidus vastu merestrateegia raamdirektiiv 2008/56/EÜ (edaspidi MSRD), tagamaks jätkusuutlik majanduskasv läbi säästva merede kasutamise. Sellega sätestati, et 2020. aastaks saavutatakse hea keskkonnaseisund (edaspidi HKS), mis on kõigi Euroopa Liidu liikmesriikide eesmärgiks, kuid igal riigil on võimalik otsustada, mil viisil see saavutada, samas eeldatakse piirkondlikku tihedat koostööd. Direktiiv määrab soovituslikult ära HKS-i kvalitatiivsed tunnused, mida tuleb seirata, muuhulgas tuues välja, et meremüra taseme poolest loetakse heaks keskkonnaseisuniks läviväärtust, mis ei kahjusta merekeskkonda. Komisjoni otsusega (EL) 2017/848 määrati ära hea keskkonnaseisundi kriteeriumid ja meetodikastandardid ning hindamise spetsifikatsioonid. Komisjoni otsuses kuulub veealune müra koos üldisema energia keskkonda juhtimisega 11. tunnuse alla. Tunnus jaguneb eraldi kaheks liigiks, inimtekkeliseks impulssheliks vees (D11C1) ja inimtekkeliseks pidevaks madalsagedusega heliks vees (D11C2) ning neid tuleb hinnata taseme, kestuse ja ruumilise ulatuse põhjal.

1.1 Veealuse müra hindamine Läänemeres

Läänemere näol on tegemist eriti tundliku merekeskkonnaga, mistõttu hea merekeskkonna seisundi tagamiseks tuleb inimtegevusega kaasnevaid mõjusid seirata, hinnata ja planeerida. Läänemere kaitsmist koordineerib 1974. aastal vastuvõetud Läänemere merekeskkonna kaitse konventsiooni eesmärkide elluviimiseks moodustatud Läänemere merekeskkonna kaitse komisjon (HELCOM). HELCOM on avaldanud kaks terviklikku ülevaadet mere seisundi kohta HOLAS I ja HOLAS II, raportitega antakse hinnang mere seisukorrale läbi survetegurite, elustiku ja ökosüsteemi analüüsi. Suuremat tähelepanu on hakatud pöörama energia merekeskkonda juhtimisele s.o veealusele mürale, kuid selle mõju ja ulatus ei olnud veel selgelt teada. (Läänemere kaitse 2020)

Esimese perioodi, 2003–2007, HOLAS I raporti kohaselt olid teadmised meremürast võrdlemisi kehvad ja vajasid täiendamist. Toodi välja selge soovitus mõõta meremüra. Teada oli, et teatud intensiivsuse ja sagedusega heli segas loomadevahelist suhtlust, tekitas mageveekalades stressihormooni tõusu ja põhjustas vaalaliste randa ujumist. (HELCOM 2010a)

Aruande kohaselt laevade tekitatud helitugevus võib kerkida kuni 200 dB-ni, kuid sumbub vähem kui 1 km raadiuses laevast. Töötavad tuulikud on meres kuuldavad, kuid helirõhu tasemed on võrreldes üldise taustamüraga või ehitustegevusega madalad. Seevastu ehitustegevusega kaasneva impulssmüra kohta on leitud, et see peletab mereloomi ja kalu. Teoreetilised ja vaadeldud kalade ning loomade vältimiskaugused saadi hüljestel 2,0 km, pringlitel 7,4-15 km, turskadel 5,5 km, lõhedel 1,4 km, seejuures pringlitel täheldati käitumise muutusi kuni 20 km kaugusel. Suurem osa Läänemerest hinnati mürast mõjutatuks piirides, mis takistab loomade omavahelist kommunikatsiooni. Vältimisreaktsiooni põhjustavat müra seostati suure tõenäosusega tekkivaks ehitustegevuse piirkondades. (HELCOM 2010a)

HOLAS I aruandes kirjeldati müra nelja mõjutaset:

- mõjutase 1 – elustiku poolt tajutav helitase;
- mõjutase 2 – segab loomade kommunikatsiooni;
- mõjutase 3 – vältimisreaktsioon;
- mõjutase 4 – ehitustegevusest tulenev füsioloogiline mõju;

Tasemete koostamine baseerus pringlitel, hüljestel ja turskadel tehtud uurimustel ning laevaliikluse, merealuste kaablite ja tuuleparkide ehitustegevuse ning tuuleparkide käitamise andmetel. (HELCOM 2010a)

Hilisem merekeskkonna terviklik ülevaade, HOLAS II, on antud perioodile 2011–2016, kus hinnangu moodustamisel lähtuti HELCOMi põhiindikaatoritest ja nendega seotud läviväärtustest. Kokkuvõtte moodustati parimate olemas olnud teadmiste ja kättesaadavate andmete alusel. Meremüra kohta esitati kirjeldav hinnang, kuna indikaatorid olid veel väljaarendamise järgus. Holistilise ülevaate kohaselt oli tervikus näha mõningat olukorra paranemist, kuid Läänemere tegevuskava (HELCOM *Baltic Sea Action Plan*, BSAP) eesmärgid ei olnud veel saavutatud. Olukorra parendamiseks tuleb jätkata kokkulepitud BSAP tegevustega ning nende edendamine on aktuaalne. HOLAS II tõi välja ettepanekud, mis sammudega edaspidi on võimalik saavutada HKS Läänemeres ja kuidas tugevdada Läänemere tegevuskava rakendamist aastaks 2021. Hinnangud võivad ühtlasi olla sisendiks piirkonna ÜRO säästva arengu eesmärkide lähtepunktide koostamisel ja abiks Läänemere-äärsete Euroopa Liidu riikide MSRD täitmisel. (HELCOM 2018)

Läänemere heliinformatsiooni (*Baltic Sea Information on the Acoustic Soundscape*, BIAS) projekti raames salvestati 2014. aastal hüdrofonidega pidevat meremüra kesksagedustel 63 Hz,

125 Hz ja 2000 Hz, mille põhjal modelleeriti Läänemere helimaastiku kaardid, mis näitavad ruumilist ja ajalist heli levikut. Eesti merealasa asus neist neli merepõhja poijaama. Pideva taustamüra info kogumiseks olid mitmetel riikidel käimas ajutised projektid ning plaanis oli ka regionaalne pidevmüra mõõdistamisprojekt. Valjude impulshelidega seotud tegevusi on võimalik alates 2015. aastast dokumenteerida HELCOMi ja OSPARi (Kirde-Atlandi merekeskkonna kaitse konventsioon, *Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic*) poolt loodud regionaalses registris. Riigid leppisid kokku impulssmüra tekitatavad tegevused registreerida ning perioodil 2011-2016 esitasid oma andmeid kuus riiki. HOLAS II raporti raames kajastati esmakordselt meremüra ruumilist levikut ja selle kattuvust müratundlike liikide võtmealadega. (HELCOM 2018)

1.2 Meremüra allikad ja mõju

Erinevate inimtegevuste tulemusel on Läänemeres laialdaselt levinud surveteguriks veelune heli. Kõrge pideva helitasemega piirkonnad kattuvad peamiselt tiheda laevaliiklusega aladel. Aastatel 2011–2016 registreeriti kuni 1700 impulsheli sündmust, millest suurema osa moodustavad lõhkamised ning ligi 11% sündmustest seostatakse ehitustegevusega kaasnevate vaiade rammimisega. HOLAS II raporti koostamise ajal puudus teadmine mõjutatud mere-elustiku liikide kohta ja meremüra hindamiseks vajalikud indikaatorid olid väljatöötamise faasis, mistõttu puudus võimalus anda meremüra survetegurile hinnangut vaid piirduti nende kirjeldustega. (HELCOM 2018)

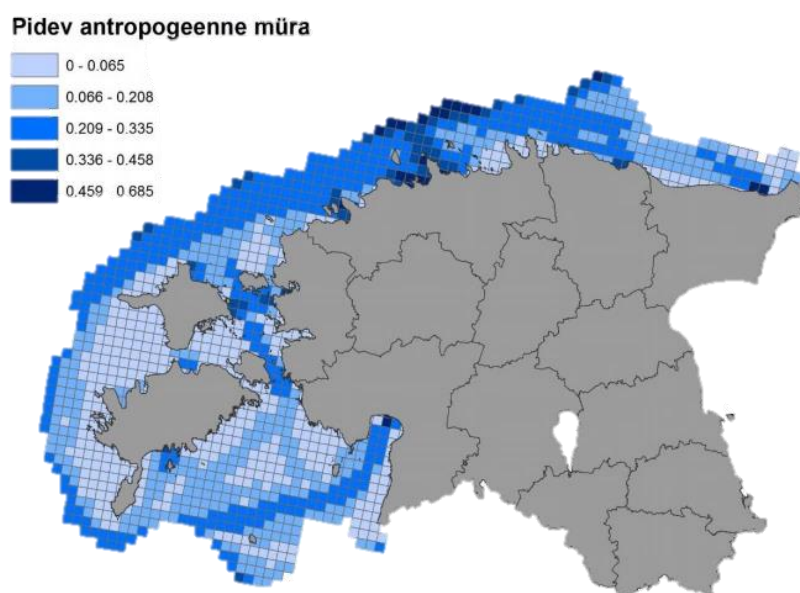
Müra avaldumismõju sõltub liigist, kuna osad loomad tajuvad kõrgeid sagedusi paremini kui teised – kalad kuulevad madalaid sagedusi paremini kui mereloomad ning pringlid kuulevad kõrgemaid sagedusi paremini kui hülged. Hea keskkonnaseisund eeldab, et impulss- ja pidevmüra tase ning levik ei põhjustaks mereelustikule negatiivseid mõjusid. HOLAS II raporti koostamise ajal ei olnud eelpool nimetatud piire defineeritud, kuid läviväärtuste kehtestamise suunas käib pidev arendustöö. (HELCOM 2018)

Impulssmüra iseloomustab lühike kestvus ning kiire rõhu kasv, mida seostatakse näiteks vaiade rammimisega, veelause plahvatusena või seisimoakustiliste uuringute tarbeks kasutatavate õhukahuritega ja sonari süsteemidega. Impulssmüra võib põhjustada loomade ümberpaiknemist ja hirmutada eemale olulistest toidumis-, poegimisaladest ja teistest sotsiaalsetest tegevustest, samuti võib impulssmüra põhjustada ajutisi või püsivaid kuulmishäireid. (HELCOM 2018)

Pidevmüra võib olla ühtlane, kõikuv või pika aja jooksul aeglaselt varieeruv. Müra allikateks võivad olla sillad, avamere tuulikud, kaubanduslik ja rekreatiivne meresõit. Peamiseks murekohaks pidevmüra puhul on loomade orienteerumise ja kommunikatsioonisignaalide varjamine ehk maskeerimine. (HELCOM 2018)

1.3 Müra indekseerimine

2016. aasta Keskkonnaministeeriumi poolt tellitud Eesti mereala survetegurite indeksi väljatöötamise ja rakendamise aruande kohaselt on merekeskkonda mõjutatava pideva antropogeense müra kumulatiivse surve hinnang saadud erinevate andmekihtide kaalude summana. Kaalud väljendavad vaadeldava kihi survet võrreldes teiste kihtidega nii, et iga grupi kihtide kaalude kogusumma oleks 1. Inimtekkelise pideva müra surveindeksi (joonis 1) saamiseks kasutati inimasustuse (kaaluga 0,20), sadamate (kaaluga 0,20), laevaliikluse (kaaluga 0,30), kaevandamise (kaaluga 0,10), süvendamise (kaaluga 0,10) ja kaadamise (kaaluga 0,10) kaardikihtide andmeid ning impulsshelide surveindeksi jaoks merelindude küttime, sõjaväe harjutusalade, kaevandamise, süvendamise ja kaadamise (lõhkamise) kaardikihte. Kummalgi juhul ei ole kasutatud BIAS helirõhu tasemete kaarte, tuues selgituseks põhjuse, et neis ei ole võimalik eristada inimtekkelist müra. Inimtegevusest lähtuva pideva müra surve Eesti territoriaalmerele mõjuvast kumulatiivsest survest moodustab eksperthinnangute põhjal 5%. (Lips 2016)



Joonis 1. Merekeskkonda mõjutava pideva inimtekkelise müra kumulatiivse surve kaart. Skaala 0–1, kus 0 tähistab surve puudumist, 1 maksimaalset survet. Allikas: Lips 2016

Saadud surveteguri (*Baltic Sea Pressure Index – BSPI*) komponent on esimeseks sammuks inimtekkelise pidevmüra olemuse mõju mõistmiseks ruumis, kuid ei ole üheselt ülekantav mõjuks ökosüsteemile. Viimast kirjeldab mõjutegur (*Baltic Sea Impact Index – BSII*), mis hindab inimtekkelist mõju konkreetse ökosüsteemi hulgale vaadeldavas alas. (HELCOM 2010b)

2018. aastal esitatud „Läviväärtuste kehtestamine Eesti merealade hindamiseks MSRD 11. tunnuse (veelause müra) kriteeriumi järgi“ uuringus on koondatud teadmised mõjuteguri määramiseks. Uuringus on toodud välja mereloomade läviväärtused (tabel 1), kuid märgitakse, et kalade jaoks andmed on puudulikud. Mõjuteguri määramisel lähtutakse teadaolevatest läviväärtustest, loomade arvukuse ja paiknemisaladest ning BIAS helirõhukaartidest.

Tabel 1. Eesti vetes müra suhtes tundlike liikide läviväärtused. Allikas: Klauson jt 2018

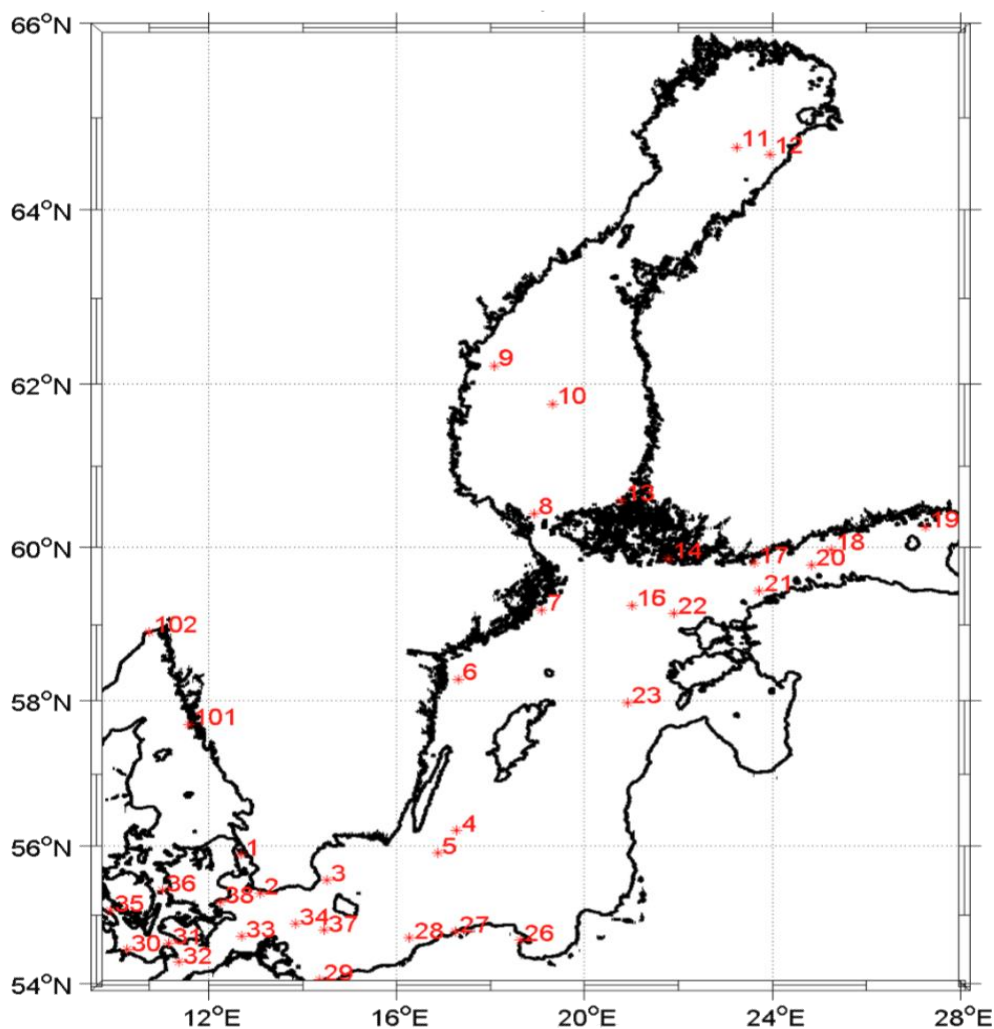
Loomaliigid	Helirõhu tase, dB re 1µPa			
	alaline kuulmisläve tõus	ajutine kuulmisläve tõus	käitumisreaktsioonid	maskeerimine
Hallhüljes	218	212	110	olemas, vähe uuritud
Viigerhüljes	218	212	110	looduslik + 20
Tursk	andmed puuduvad		vähe uuritud	olemas, vähe uuritud
Kilu	andmed puuduvad			võib esineda, vähe uuritud
Räim	andmed puuduvad			võib esineda, vähe uuritud

Uuringus tõdetakse, et käesoleval ajal puudub ühtne meetodika inimtekkelise müra läviväärtuse hindamiseks, kuid ELi ja HELCOMi meremüraga tegelevad töögrupid liiguvad selle välja selgitamise suunas, lähtudes põhimõttest, et inimtekkeline müra ei tohi merefaunat kahjustada. (Klauson jt 2018)

2 Hüdroadustika

Töös kasutatavate 2014. aasta modelleeritud aluskaartide kalibreerimiseks on kasutatud BIAS projekti raames mõõdetud helirõhku. ELi poolt toetatav programm sai alguse 2012. aastal ning selle kolm põhieesmärki oli rakendada regionaalsel tasandil MSRDR 11. tunnuse seiret, töötada välja ühtsed andme kogumise ning töötlemise meetodid ja standardid ning helitasemete modelleerimisega katta terve Läänemeri. (Verfuß jt 2015)

BIAS projekti raames koguti andmeid 38 hüdrofoni üle Läänemere (joonis 2), millest 4 asusid Eesti merealas. Andmehõive lähtus ühtsetest akustilistest parameetritest, mis võimaldas modelleeritud meremüra helimaastiku kalibreerimist *in situ* mõõtetulemustega. (Folegot jt 2016)



Joonis 2. BIAS projektis kasutatud hüdrofonide asukohad. Allikas: Folegot jt 2016

2019. aasta kaartide modelleerimisel lähtuti BIAS projekti raames väljatöötatud standarditest, meetoditest ja kasutades samu andmebaase, millest on juttu lähemalt järgmistes peatükkides. Kuna viie aastaga on arvutite võimekus paranenud, siis hilisemad kaardid on suurema eraldusvõimega, mis tähendab, et modelleeritud kaardi ühe piksli suurus katab väiksemat ala võimaldades nii detailsemaid kaarte.

2.1 Heli levikut meres mõjutavad tegurid

Heli levikut keskkonnas mõjutavad erinevad tegurid (tabel 2). Esinevad ülekandekaod, mis on tingitud energia jaotumisest üha suuremale alale eemaldudes heli allikast ning sumbumiskaod, mis tulenevad akustilise energia muundumisest soojuseks (neeldumine), dispersioonist (hajumine) ja helienergia helikanali lekkest (näiteks merepõhja). Helileviku kiirust mõjutavad vee temperatuur, soolsus ning sügavus põhjustades sellega refraktsiooni, mis omakorda muudab helikiirte leviku trajektoori. Selleks, et saada kvaliteetseid heli mõõtmise tulemusi on vaja põhjalikke teadmisi heli allikast, keskkonnast ja vastuvõtjast. Seega müra mõõtmisel tuleb arvestada erinevate mõjuteguritega nagu batümeetria, settete omadused, helikiiruse profiil, laevade liikluse tihedus, sademed, jääkate jms ning mõõtmisseade peab olema kalibreeritud. (Verfuß jt 2015)

Tabel 2. Heli levikut ja taustamüra põhjustavad tegurid. Allikas: Täiendatud Folegot jt 2016

	Mõjutab heli levikut	Põhjustab heli ja panustab taustamürasse
Batümeetria	Jah	Ei
Aluspinna koostis	Jah	Jah
Temperatuur/soolsus	Jah	Ei
Meretase	Jah	Ei
Hoovused	Ei	Jah
Tuul/lained	Jah	Jah
Vihm	Ei	Jah

2.2 Hüdroakustilised parameetrid

Vees saab heli mõõta kui akustilise rõhu muutust, seda mõõdetakse SI-ühikutes, milleks on paskalid (Pa). Rõhu võnkumise kiirus määrab ära heli sageduse, mida kirjeldatakse

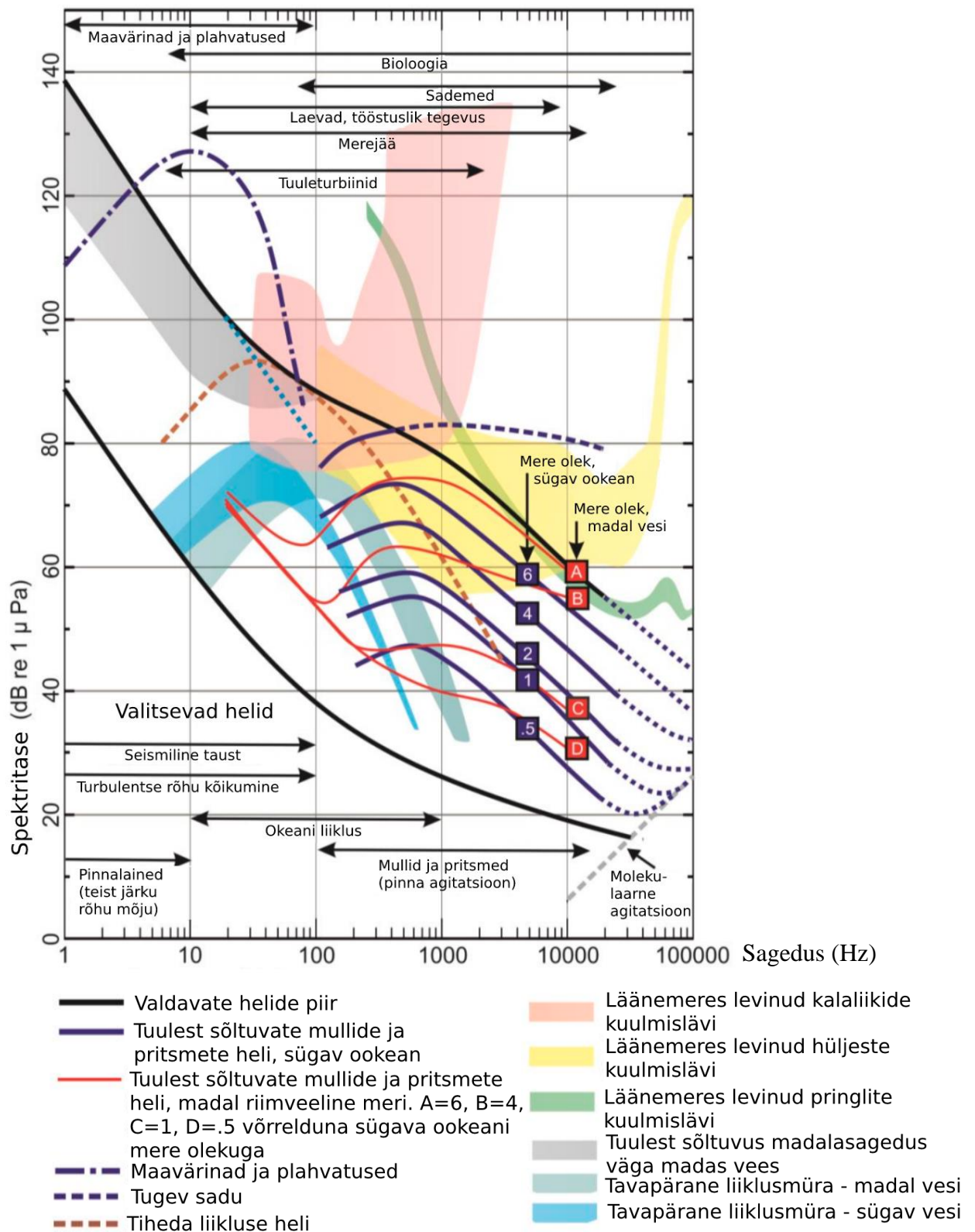
hertsidega (Hz). Helirõhku mõõdetakse sagedusribade vahemikes, mis jäävad 1/3-oktaavi piiridesse. (Verfuß jt 2015)

Keskmised helirõhu tasemed (*Sound Pressure Level* – SPL) saadakse järgmise valemi abil:

$$SPL = 10 \cdot \log_{10} \frac{1/T \int_0^T p(t)^2 dt}{p_0^2} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{p_{rms}}{p_0} \right)^2 = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{p_{rms}}{p_0} \right),$$

kus kindlas sagedusriba vahemikus mõõdetud ja üle ajaperioodi (T) integreeritud ruutkeskmist helirõhu taset (p_{rms}) võrreldakse referentsväärtusega p_0 . Helirõhu tasemete suhte kirjeldamiseks kasutatakse logaritmilist skaalat, kus SPLi väljendatakse detsibellides (dB). Veepõhise referentssuuruseks (p_0) 1 μ Pa, mis erineb õhu omast ja on inimeste kuuldeläve tasemest sõltuvalt 20 μ Pa. Seetõttu õhus ja vees mõõdetud helirõhu tasemed ei ole omavahel otseselt võrreldavad. Esitatavate helitasemete eristamiseks kasutatakse tähistust õhus dB re 20 μ Pa ja vees dB re 1 μ Pa. (Verfuß jt 2015)

Veealuses keskkonnas on heli alati olemas, mille jaotumist erinevate allikate järgi ning nende helirõhu tasemeid kirjeldab Läänemere keskkonnatingimustega täiendatud Wenzli kõverad joonisel 3, peamiselt jaotatakse aga heli looduslikuks ja inimtekkeliseks.



Joonis 3. Loodusliku ja inimtekkelise helitasemed sügavas ja madalas vees, mida on täiendatud Läänemere loomade kuuldelävedega. Allikas: (Verfuß jt 2015)

2.2.1 Helirõhu taseme kaardid

Modelleeritud kaardid kujutavad helirõhu taset mingis protsentiilis. Protsentiil vastab ajalisele ja ruumilisele proportsioonile, meremüra kontekstis tähendab see, et valitud perioodil ületab meremüra tase kaardil kujutatud tasemest (L_N) valitud protsendi ($N\%$) ajast. Selle saavutamiseks on vaadeldava perioodi kõiki mõõdetud tasemete numbrilised väärtused järjestatud kahanevas järjekorras ja valitud vastavad väärtused, mis jäävad alla valitud protsendist ($N\%$) järjestatud jadast. Selline lähenemine võimaldab üksikute maksimumide mõju vähendada lõpptulemuses. Nii kujutab L_1 heli kaart maksimaalseid ja L_{99} minimaalseid helirõhu tasemeid ning L_{50} mediaani. (Folegot jt 2016)

BIAS meetodite baasil helirõhu tasemete kaardid on koostatud kasutades taustmüra sisenditeks laevade liiklustihedust (laevade jälgimissüsteemidest AIS ja VMS pärit andmete põhjal) ning tuulelainete müra, mis tuletati *in situ* akustilistest mõõdistuste ja pinnalainete andmete võrdlusest. Modelleerimine teostati iga sagedusriba 63 Hz, 125 Hz ja 2kHz kesksageduse (f_m) kolmandik oktaavi jaoks, mille väärtus on saadud järgmise valemi abil:

$$SPL_{1/3} = SPL_{f_m} + 10 \log_{10}(f_2 - f_1),$$

kus $SPL_{1/3}$ on kolmandikoktaavi helirõhu tase, SPL_{f_m} on helirõhu tase modelleeritud f_1 ja f_2 kesksageduse f_m juures. (Folegot jt 2016)

Käesolevas töös kasutatud andmete kesksagedused on 63 Hz, 125 Hz ja 2 kHz ning nende kolmandikoktaavi piirid on toodud tabelis 3.

Tabel 3. Kolmandik oktaavi sagedusfiltri vahemik. (Folegot jt 2016)

Sagedusriba nimisagedus	f_1 (Hz)	f_m (Hz)	f_2 (Hz)
63	56,23	63,1	70,79
125	112,2	125,9	141,3
2000	1778	1995	2239

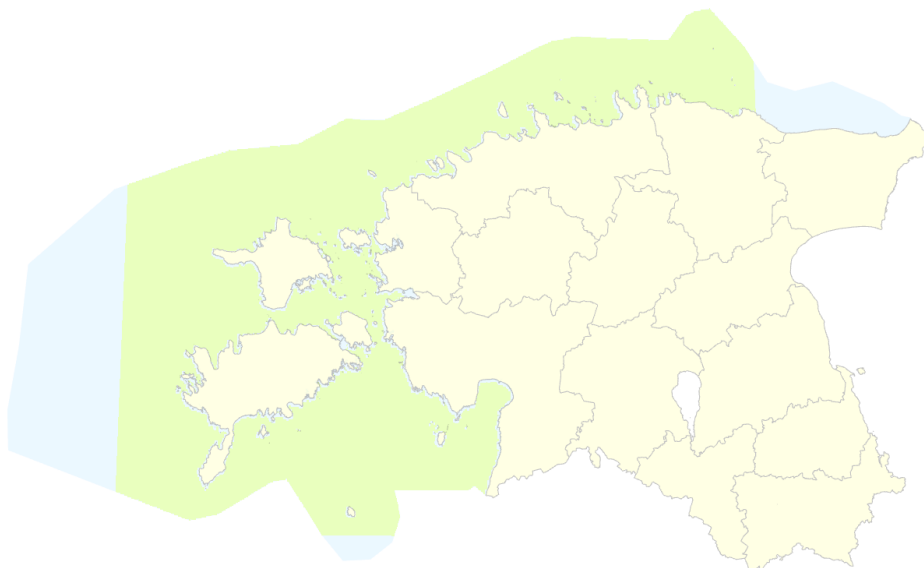
Looduslikud andmed, mille sisendeid modelleerimisprotsessis veel kasutati on batümeetria Baltic Sea Bathymetry Database põhjal, setete tüübid EMODnet-Geology andmebaasist, helikiiruse ja

lainetuse info saadi Rootsi meteoroloogia ja hüdroloogia instituudist vastavalt okeanograafilisest mudelist HIROMB BS01 ja laine mudelist SWAN. Loodete ja hoovuste andmeid ei kasutatud. Andmete töötlemiseks kasutati Quiet-Oceans'i modelleerimistööriista Quonops. (Folegot jt 2016)

Kogutud andmete põhjal moodustati 2014. aasta kohta 819 kaarti kolmele sagedusele – 63 Hz, 125 Hz ja 2 kHz, iga sageduse kohta seitse protsentiilikaarti (5., 10., 25., 50., 75., 75., 90., 95.); kolm sügavusvahemikku (pinnalt kuni 15 m, 30 m kuni põhjani ja terve veesamba kohta); 2014. aasta iga kuu ja terve aasta keskmise jaoks. Modelleeritud ja mõõdetud tulemuste vahe jäi valdavalt alla 4 dB, kuid 63 Hz kesksageduse puhul oli see 4,3 dB. 2019. aasta kaartide modelleerimisega ei olda veel lõpetatud. (Folegot jt 2016)

3 Läänemere helirõhukaartide GIS-analüüs

Majandusvööndi seaduse kohaselt kuulub merekeskkonna kaitse Eesti Vabariigi jurisdiktsiooni alla (Majandusvööndi seadus, 2019), mistõttu järgnev analüüs käsitleb Läänemere modelleeritud helirõhukaartidest Eesti merealad majandusvööndi (EEZ) välispiirini. Tulenevalt saadaolevatest modelleeritud andmete ulatusest jäävad osad majandusvööndi alad mitme aasta võrdluses välja (joonis 5). Analüüsile seavad piirid 2019. aasta modelleerimisproduktid, mis on kitsama ulatusega ning piiratud perioodiga – lõputöö koostamise hetkeks 2019. aasta viimane kättesaadav kaart kajastab mai kuu tulemusi. Lähtuvalt antud piirangutest on tulemuste ühesugustel alustel võrdlemise eesmärgil nii 2014. kui 2019. aasta sesoonsete ja aastate vaheliste võrdluste sooritamiseks kasutatud jaanuari ning mai andmeid, mis on piiritletud 2019. aasta helirõhu tasemete kaartide geograafilise ulatusega, kattes nii tervest EEZst 74,2%.



Joonis 4. Rohelisega olemasolevate andmete ulatus, sinisega EEZ ulatus, mis on puuduvate andmete tõttu katmata.

Mereala modelleeritud helirõhu tasemete kaardid on koostatud BIAS ja Eesti merealade seireprojektide raames ning analüüsis on kasutada TIFF (*Tagged Image File Format*) ja Esri ruudustik formaadis (*Esri Grid Format*, .adf failid) rasterformaadis andmeid. Mõlemad andmestikud kannavad endas lõpliku suurusega ristkülikute (pikslite) korrapärast paigutust, millele on lisa atribuutidena kaasas projektsiooni ja asukoha andmed. Üheks paljudest erinevustest saab TIFF formaadis rasterandmeid vaadata tavalise pildikuvamise programmiga, kuid Esri ruudustiku formaadil selline kuvamise viis puudub. Võrdlustes on kasutatud terve veesamba ulatuses (0 m – põhi) kolmandikoktaavide kesksageduste 63 Hz, 125 Hz ning 2000 Hz

kuukeskmiste väärtustega 2014. aasta kaarte jaanuarist ja maist ning 2019. aasta kaardid kajastavad samu sagedusi ja perioodide kuukeskmiseid tulemusi. Aluskaartidel on helirõhu tasemete väärtused 50. protsentiilil, st rasterkaardi piksliga kaetud alas esineb 50% ajast kaardil olevast piksli väärtusega märgitud helirõhu tasemest kõrgemad ja 50% ajast madalamad tasemed ehk tegemist on piksli alla jääva ala kuukeskmise helirõhu taseme mediaanväärtusega. Andmete analüüsimiseks on kasutatud tabelarvutusprogrammi Microsoft Office Excel ja geoandmete töötlemiseks geoinfosüsteemi (GIS) Esri Inc. ArcGIS Pro 2.5 tarkvara, mis on ülikooli poolt hallatava *Advanced* põhilitsentsiga ning *Image Analyst* ja *Spatial Analyst* lisalitsentsidega. ArcGIS tarkvara võimaldab uurida, visualiseerida ja töödelda ruumandmeid, mis on nii 2D kui 3D vaadetes (About ArcGIS... 2020).

3.1 HKS analüüs

Hea keskkonnaseisundi (HKS) kvantitatiivsete väärtuste määramise ebakindluses võib tulemusi anda trendipõhine lähenemine. Trendipõhise analüüsi eelis seisneb vaatluspõhisel andmekogumisel ning ei ole mõjutatud subjektiivsetest piirmääradest, vaid kirjeldavad ajas toimunud reaalseid muutusi. Analüüsi oluliseks eelduseks on pikaajaliste andmete olemasolu, millest võib samuti olla abi hilisema referentsmäära valimisel. (Federer jt 2018)

Trendipõhise analüüsi teostamiseks on kasutatud terve veesamba 50% ületamise määraga BIAS 2014. aasta ning samadel põhimõtetel ja meetodeid kasutades 2019. aastal modelleeritud kaarte, mis seega väljendavad mediaan-helirõhu tasemeid jaanuari ja mai kuudes.

Seniks kuni puuduvad üheselt välja selgitatud ja kokku lepitud läviväärtused müratasemetest, saab kasutada varasemate aastate helikaarte baasväärtustena ning hinnata nende põhjal olukorra parenemist või halvenemist seoses HKS määramisega, antud hinnangu näol oleks tegemist ühtlasi surveteguri (BSPI) osana.

Teostatava analüüsiga on näha surveteguri muutust terves merealas histogrammidel 1 dB laiuse klassiga ning koostatud kaartidelt ja tabelitest (lisad 2–4) iga alambesseini kohta 5 dB intervallidena. Sõltuvalt erinevatest liikide läviväärtustest on ekspertidel võimalik kasutada vastavat surveteguri muutust mõjuteguri hindamisel. Seejuures mõjutegurite veelgi täpsemaks hindamiseks tuleb lähtuda konkreetsete liikide levikuulatusest terviklikult ning võrrelda muutusi levila ulatuses. Seetõttu HSK hindamiseks on lisaks meremüra seire andmetele vajalik koguda ja

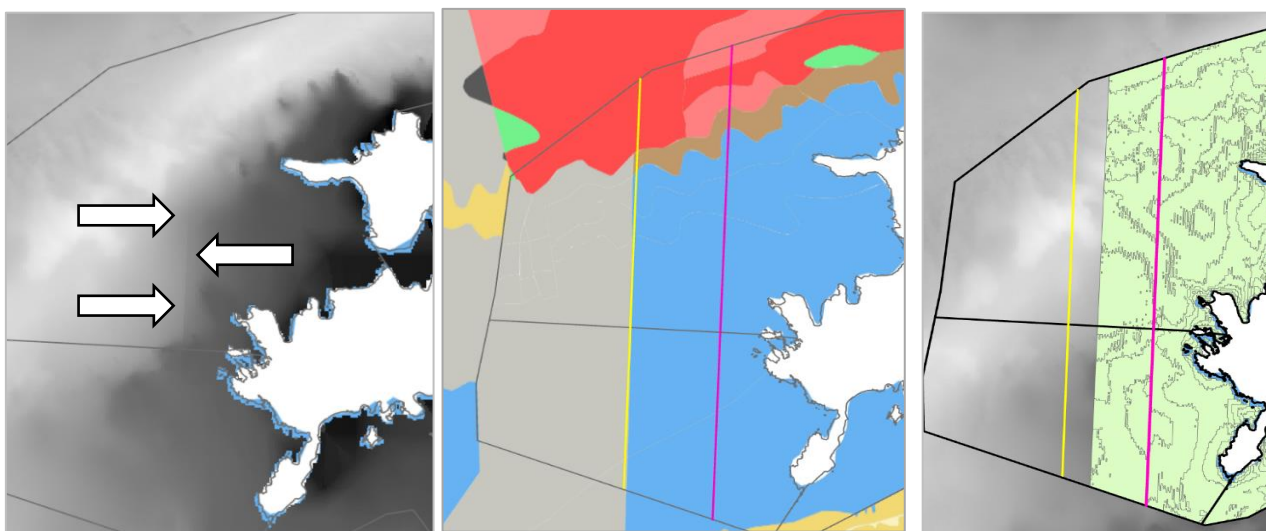
omada ülevaadet loomade levikust ning meremüra muutuste mõjust erinevatele taksonitele huvipakkavas piirkonnas.

3.2 Meetodi kirjeldus

Järgnev alapeatükk kirjeldab analüüsimiseks kasutatud võtteid ja märkusi andmete töötlemisest. Analüüs toimus erinevates etappides, mis päädis statistiliste karakteristikute tabelitega (lisa 1), histogrammide ning 5 dB sammuga muutuseid kajastavate kaartidega (lisa 3–4).

Andmete esmane visuaalne kontroll, vastavuse tuvastamine analüüsitavale alale, eesmärgiga leida silmapaistvaid anomaaliaid nagu näiteks maksimume või miinimume, seal kus neid andmete pidevust silmas pidades ei tohiks olla. Samas etapis veenduti failide koordinaatsüsteemide vastavuses teineteisele.

Kontrolli käigus selgus, et 2014. aasta kaartidel Saaremaast ja Hiiumaast läänes esineb umbes 3 dB suurune järsk põhja-lõunasuunalisest joonest üleminek (joonis 6). Teades helitaseme kaartide melleerimise sisendandmeid, leidis EMODneti geoloogia kaardikihist tõenäoline 3 dB „hüppe“ põhjuse allikas. Joonisel 6 keskmine kaart kujutab merepinna kvarernaari eelset aluskivimite EMODneti kaardikihti, kus ühe aluskivimitüübi (joonisel sinisega) lõpp, mis on tähistatud kollase joonega, ühtib paralleelse nihkega küllaltki täpselt „hüppe“ joonega (joonisel lillaga).

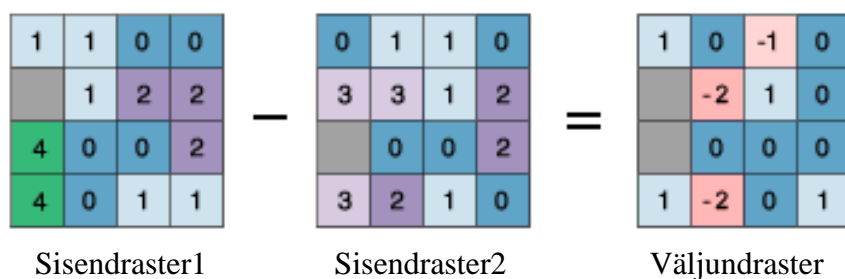


Joonis 6. Vasakpoolsel joonisel 2014. aasta helirõhu kaartidel esinev 3 dB „hüppe“ koht (näitana toodud 63 Hz mai kaart) . Keskmisel joonisel EMODnet geoloogia aluskivimi kaardikiht, kollase püstjoonega tähitatud ühte tüüpi auskivimi andmete piir ning paraleelse lilla joonega heli kaardi „hüppe“ koht. Parempoolsel joonisel roheline ala kujutab analüüsitavat mereala.

Sarnast üleminekut ei täheldatud 2019. aasta kaartidel, mistõttu võrreldes erinevaid aastaid võivad kajastuda ligi 2800 km² alal (joonisel 6 parempoolne pilt, lillast joonest läände jääval alal) ebatäpsed muutused, mis näitavad antud ala helirõhu muutusi väiksemas või suuremas mastaabis.

Esmasele kontrollile järgnes rasterkaartide diskretiseerimine ehk sümplimine kõrgema lahutusvõimega 2019. aasta TIFF madalama eraldusvõimega kaartideks. Täpsusklass sõltub madalaimast täpsustasemest, võrreldes 2014. aasta ligi 2 ha suuruseid piksleid 2019. aasta umbes 1 ha suuruse piksli andmetega, saame tulemuse täpsuseks suurema 2 ha piksli. Seetõttu on mõistlik sh arvutusmahtu silmas pidades edasistes etappides just kõrgema lahutusvõimega kaart sümplida madalamaks. Selleks kasutati ArcGISi tööriista lisavalikuid bilineaarset interpoleerimist ja „*snap to grid*“. Valitud interpoleerimise meetod kasutab uute pikslite väärtuste loomiseks lähima nelja piksli väärtust, mis on just sobilik pidevate andmete interpoleerimiseks. Sobinuks ka polünoomiline interpoleerimine, kuid sellega võivad kaasneda uute pikslite puhul miinimum- ja maksimumväärtused, mida varem andmestikus ei eksisteerinud (Resampling... 2020), mistõttu langetati otsus bilineaarse kasuks. „*Snap to grid*“ valik tagab 2019. aasta andmete põhjal loodud uute pikslite kohakuti olemise 2014. aasta pikslitega, mis oli oluline aspekt järgmistes arvutusetappides.

Sesoonsete ja aastate vaheliste erinevuste tuvastamiseks lahutati rasterkaardid teineteisest saades uus rasterkaart muutuste väärtustega. Kohtades, kus esines emmas-kummas kaardis „auk“ võrreldes teise kaardiga, oli tulemuseks tühi väärtus (*NoData*) (joonis 7) ning seega antud väärtus ei läinud arvesse analüüsi tulemuste saavutamisel (Minus ... 2020).



Joonis 7. Rasterkaartide lahutamine, hallid ruudud tähistavad ilma väärtuseta piksleid (*NoData*).
Allikas: Täiendatud Minus... 2020

Rasterandmestiku baasil moodustati histogrammid ühe detsibelli laiuste klassidega, mille vertikaaltelg kujutab esinemissagedust protsentides. Geograafilise analüüsi eripärast tulenevalt väljendab vertikaaltelje protsentuaalne väärtus ühes detsibelli klassis olevaid piksleid, mis omavad

korruga ruumilise ja helirõhu taseme väärtuseid. Seega horisontaalsel teljel olev m dB helirõhu muutus moodustab n -protsenti kõigist helirõhu muutusest ning ühtlasi on helirõhu tase muutunud m dB n -protsendil merealast. Kuna ArcGISis sisse-ehitatud histogrammide manipuleerimisvõimalused olid piiratud, tuli leida alternatiivne lahendus raster-andmete visualiseerimiseks histogrammide abil, selleks kasutati programmeerimiskeelt Pythonit Rasterio ja Matplotlib teekidega. Histogrammide koostamisel kasutatud Matplotlib teek arvestab klassi alumise piiri sisse ja ülemise välja (Matplotlib... 2020), kuna kaartide klassid arvestavad vastupidiselt ülemise piiri sisse ja alumise välja (Reclassify... 2020), siis teoreetiliselt erinevad histogrammid ja lisades 3–4 kaardid, praktilisest seisukohast antud erinevus ei mõjuta lõpptulemust, kuna klassi piiridel ehk täisarvulisi muutusi rasterkaartides ei leidunud.

Alambasseinide statistikute leidmiseks lõigati rasterfailide soovitud mõõtmetesse, mis võimaldas vastavate rasterandmete miinimum, maksimum, mediaan ja keskmise tulemuse leidmise. Lõikamine toimus lõputöö juhendaja poolt edastatud piire sisaldava failiga (*shapefile*), mis on polügoon, sisaldades pindala ja piiride ning muid atribuutandmeid nagu alade nimed jms.

Meremüra muutuseid kajastavate kaartide koostamiseks klassifitseeriti rasterkaardi muutused 5 dB intervallidega. Põhjus seisneb 2014. aasta modelleeritud kaartidel esinenud eelpool mainitud „hüppes“ ning modelleerimise ja mõõdetud andmete erinevusest kuni 4,3 dB. Lähtudes nendest võimalikest ebatäpsustest ning loetavuse mugavuse tagamiseks ümardati koostatavate kaartide klassifitseerimise samm 5 dB-ks.

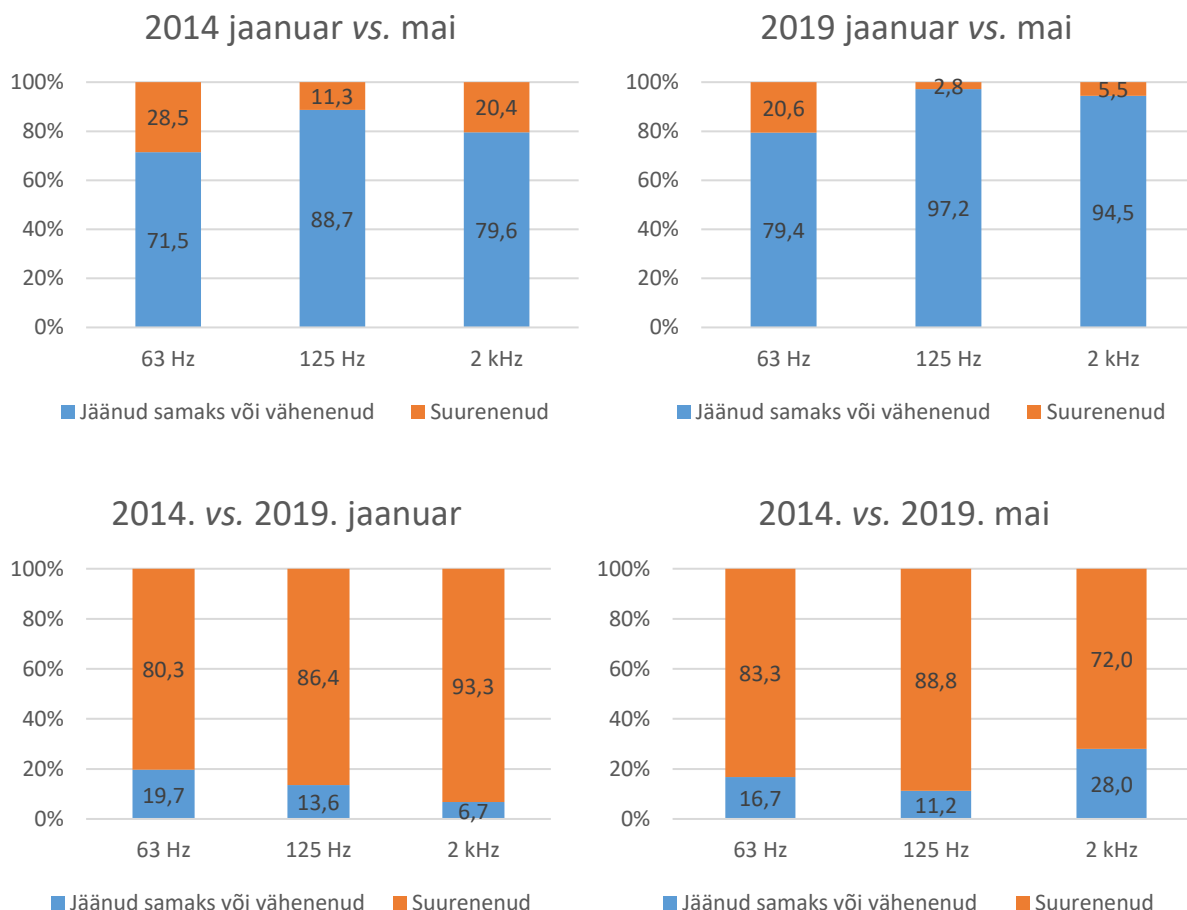
Alambasseinides toimunud üldistatud muudatuste mugavamaks andmetöötluseks teisendati ümberklassifitseeritud raster polügooniks ja ühteaegu vahetati Eestis käibel olevaks L-EST97 koordinaatsüsteemi. Selle tulemusena muutusid rasterkaardi mõõtühikuks olnud kaareminutid meetriteks ning iga klassifitseeritud polügoon sai tuttava pindalaühiku ruutmeetri näol. Antud tegevus vähendas tunduvalt ajakulu helirõhu tasemete muutuste pindalade leidmiseks alambasseinides. Lõplik polügoonide andmete üldistamine toimus Excelis, kus iga klassifitseeritud polügooni pindala jagati terve analüüsitava mere pindalaga, saades nii müratasemete muutuse osakaalud, mis väljendati protsentides. Sama tehti ka eraldi iga alambasseini kohta. Tabelarvutusprogrammiga leitud tulemused on lisades 1 ja 2.

3.3 Tulemused

2014. ja 2019. aasta kaartide helirõhu tasemete statistilised karakteristikud on toodud Lisas 1. Terve mereala kõrgeimad miinimumväärtused pärinevad 2 kHz kesksageduse modelleeritud tulemustest, olles 2014. aasta jaanuaris 71,1 dB ning mais 68,6 dB ning 2019. vastavalt 75,4 dB ja 69,6 dB. Alambasseinide jaotuse analüüsist näeme, et antud madalaimad väärtused pärinevad Liivi lahe ja Väinamere piirkonnast. Ülejäänud neljas alambasseinis on kõigis madalaim tase ligi 3 dB võrra kõrgem. 2 kHz kõrgeimad väärtused küündivad jaanuaris 2014. aastal 96 dB-ni ja 2019. aastal 96,9 dB-ni ning mais vastavalt 94,6 ja 95,4 dB-ni jäädes nii alla 63 Hz ja 125 Hz maksimumväärtustele. Kõrgeimad 2 kHz väärtused esinevad, sõltumata aastast, jaanuari kuus Läänemere avaosa põhjasseinis, millele järgneb Soome laht. Mai kuu maksimumväärtused esinevad vastupidi: Soome lahes, millele järgneb Läänemere avaosa põhjassein. 2 kHz kesksagedus on Läänemeres seiramiseks võetud imetajaid silmas pidades, kuna viietherhülged on just kõrgema sageduse helide suhtes tundlikud. Kuna nende levila on peamiselt Liivi lahes ja Väinameres (Klauson jt 2018), siis tuleb edaspidigi tähelepanelikult jälgida kõrgsageduse muutuseid eriti tähelepanelikult selles alambasseinis. Käesolevate tulemuste põhjal on näha, et viie aastaga antud alambasseinis on jaanuaris müra maksimumtase tõusnud 1,2 dB ja mais 1,7 dB, keskmine tõus on olnud jaanuaris 1,6 dB ja mais 0,6 dB (mediaan vastavalt 1,2 ja 0,3 dB). Muutuste pindala võrdluses (lisa 3) on näha, et müratase enam kui 5 dB on kasvanud Liivi lahes ja Väinameres jaanuaris 3,4% ja mais 0,7%, valdavalt jäävad 2 kHz muutused ± 5 dB juurde. 2014. aasta jaanuari ja mai sesoonselt muutusest on näha, et mai kuuks langeb keskmine müratase 88,1% pindalal, kusjuures enam kui 5 dB puhul 4%. 2019. aastal on langus 91,9% pindalast ning enam kui 5 dB lausa 30,3%.

Suurimad keskmised helirõhu tasemete tõusud viie aasta võrdluses on toimunud 125 Hz kesksagedusel. Terve ala võrdluses on näha, et jaanuaris on tõusnud keskmine 2,1 dB (mediaan 0,2 dB) ning mais 1,6 dB (mediaan 1,7 dB). 125 Hz puhul paistab suure muutusega välja jaanuari kuu miinimumtaseme tõus 7,9 dB 51,1 dB-lt 59,0 dB-ni, mais on vastav tõus olnud poole madalam 3,5 dB, tõustes 54,0 dB-ni. Maksimumväärtuste tõus on olnud tagasihoidlikum jäädes umbes 2 dB piiridesse saavutades jaanuaris 105,5 dB ja mais 102,2 dB. Helirõhu tasemete tõus katab nii jaanuaris kui mais üle 85% merepindalast. Alambasseinide võrdluses jaanuari suurim tõus on olnud Liivi lahe ja Väinamere basseinis moodustades 92,5%, Soome lahes 93,8% ning langus Ida-Gotlandi basseini 41,4%. Ida-Gotlandi ja Läänemere avaosa põhjasseini (17,7%) tavatult suur langus võrreldes teistega, kus see jääb alla 10%, on tõenäoliselt seotud sisendametes olnud 3 dB

hüppega (vt eelmine alapeatükk), mis jääb antud alambasseinidesse, ka lisa 4 kaardilt on näha ebaloomulikult sirget piirjoont 125 Hz helirõhu tasemete languse ja tõusu piirialal, mis kattub 3 dB hüppe joonega. Enam kui 5 dB langus puudub ning kasv on jaanuaris 16,1% ja mais 10% kogu merealast. Aasta-sisesed sesoonsed muutused (joonis 8) järgivad langustrendi, mais on helirõhu tase vähenenud 88,7–97,2% (üle 5 dB 45–55%) merealal.

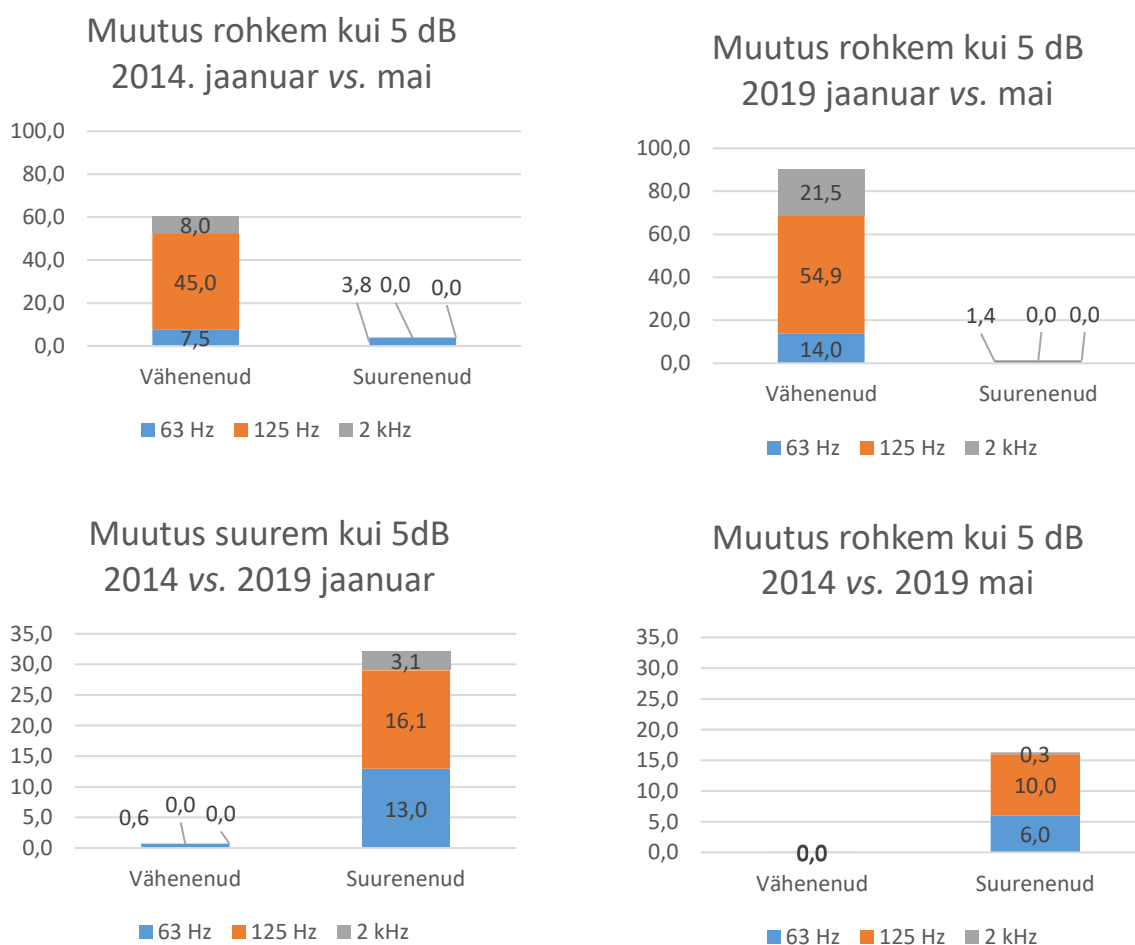


Joonis 8. Terve mereala sesoonsete ja aastate vaheliste helitasemete kasvu ja kahanemise suhted protsentides.

Kõige madalam kesksagedus, 63 Hz, on püsinud mediaan helirõhu tasemete muutuse põhjal kõige stabiilsemana. Viiea aasta muutused on alla 1 dB nii jaanuari kui mai kuu võrdluses, keskmised on samas tõusnud vastavalt 1,6 dB ja 1,1 dB. Sarnaselt 125 Hz müratasemete muutusele on 63 Hz miinimumtasemed tõusnud enim jaanuari kuus Liivi lahe ja Läänemere avaosa põhjabasseinis. Mai kuu võrdluses maksimumväärtuste tõus on tühine erinedes ainult sajandike võrra, kuid miinimumtase tõusis 3,5 dB. Teistest sagedustest erineb 63 Hz selle poolest, et sesoonses võrdluses on see ainuke kesksagedus, kus esineb mürataseme tõusu rohkem kui 5 dB mai kuus võrreldes jaanuariga. 2014. aastal on peamine tõus olnud Hiiumaa ja Saaremaa ümbritsevatel aladel ning

2019. aastal on tõus koondunud Soome lahte, peamiselt Tallinna lahe piirkonda, kus tõus on ulatunud 10–15 dB vahemikku.

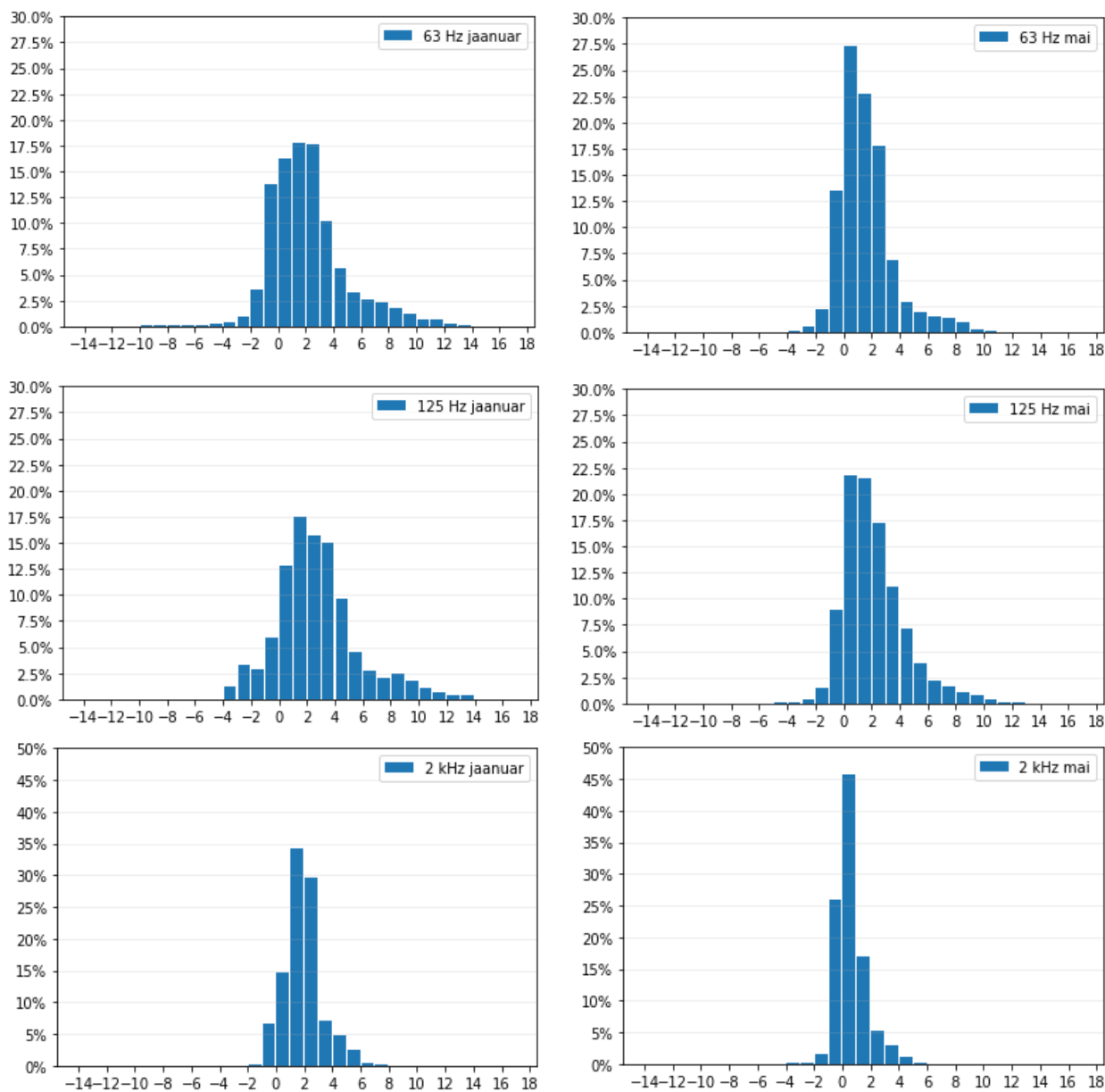
Graafikud joonistel 8 toovad välja kõigi kolme kesksageduse muutused üle terve mereala, kõrvutades samu sesooneid ja aastate vahelisi terve mereala suhtelisi muutusi, mis on üle 5 dB, siis on näha, et kõige enam varieerub 63 Hz kesksageduse rõhutased. Sesoones vaates on 63 Hz näidanud suurimal pindalal langust enam kui 5 dB ning samuti aastate võrdluses on kõige rohkem helirõhu tasemete tõus toimunud just sellel kesksagesusel.



Joonis 9. Terve mereala helitasemete protsentuaalsed muutused, mis on suuremad kui 5 dB.

Aastate võrdluses on näha, et kõigis kesksagedustes helirõhu tasemete trend olnud nii jaanuaris kui mais tõusu suunas ka suuremate kui 5 dB muutuste korral.

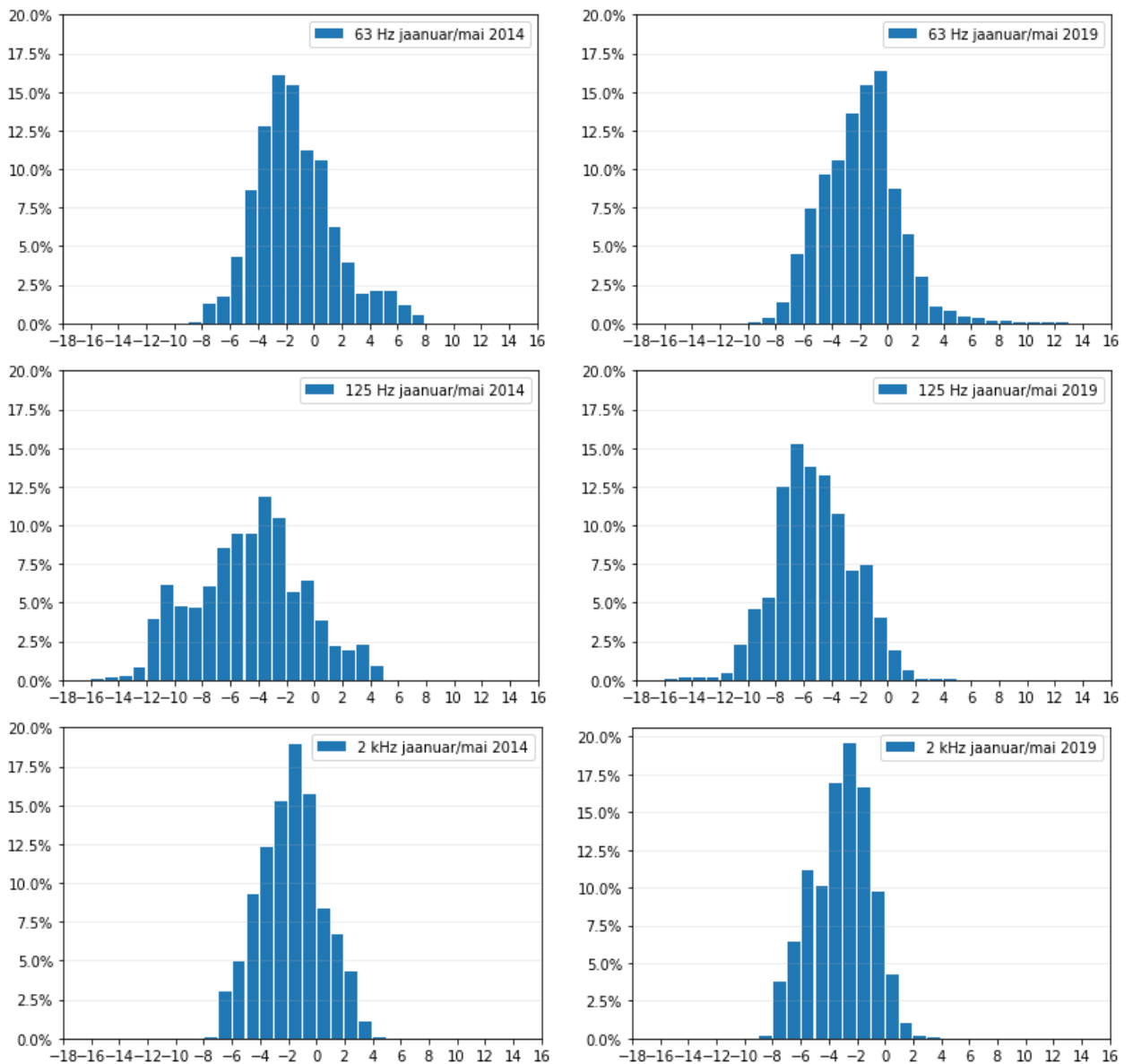
Analüüsi käigus loodud aastate võrdluse histogrammid joonisel 10 annavad täpsema visuaalse ülevaate muutuste kohta terves vaadeldavas merealas. Iga histogrammi tulba laius on 1 dB ning vertikaalteljel on protsentuaalne muutus 2014. ja 2019. aasta vastavate kuude võrdluses.



Joonis 11. 2014. ja 2019. jaanuari ja mai kuude helirõhu tasemete muutuste histogrammid kesksageduste järgi. Vertikaalteljel helirõhu tasemete kogu muutuse suhe ja ühtlasi mere pindala muutuse protsent.

Aastate vahelises võrdluses on selgelt näha, et valdavalt esineb mürataseme tõus kõigi kesksageduste juures. Jaanuari kuu muutused on olnud rohkem kasvu poole kaldus võrreldes maiga, eriti 2 kHz puhul ning 63 Hz puhul, vähem 125 Hz korral. Võrreldes histogramme vähe muutunud keskmiste ja mediaanväärtustega on näha, et 63 Hz ja 125 Hz müratasemete tõus on laienenud küllaltki suurele protsendile mere pindalast.

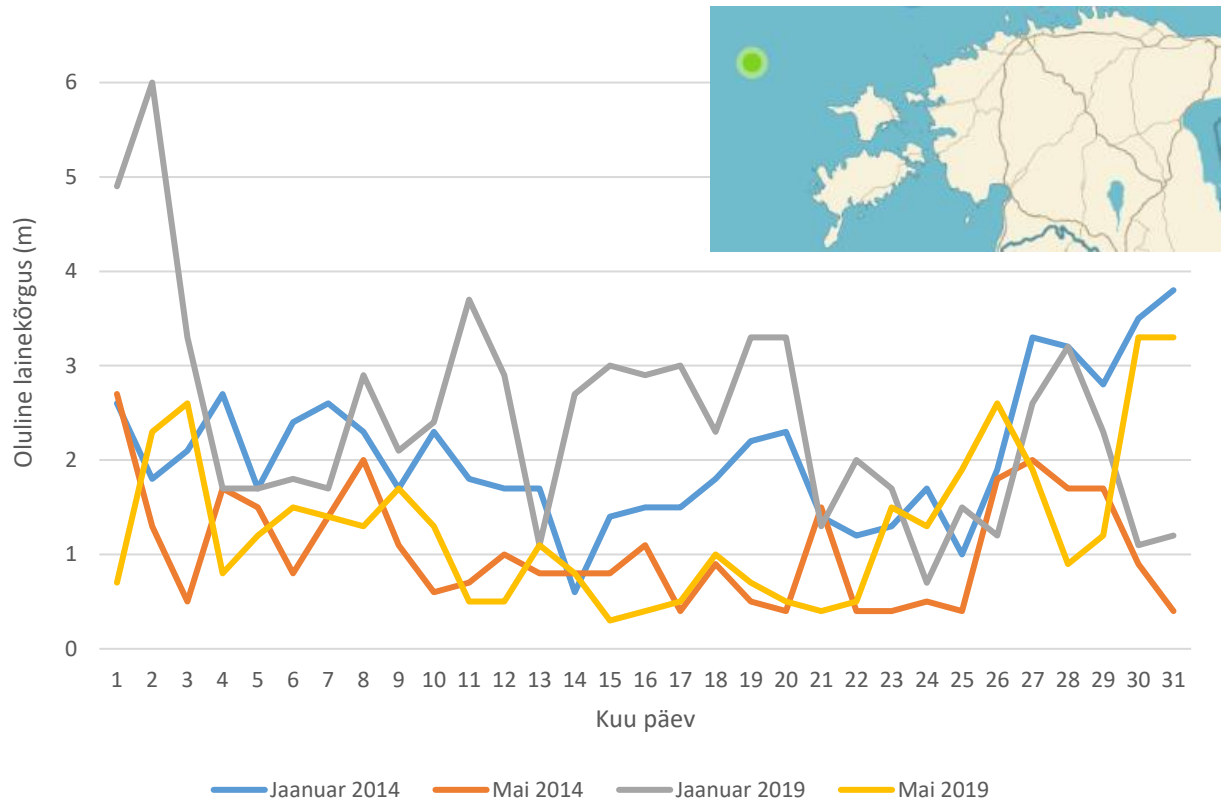
Sesoonsete muutuste histogrammid joonisel 11, mis võrdlevad aasta siseste jaanuari ja mai kuude muutuseid näitavad, et mai kuus on müratase madalam. Muutused 2014. ja 2019. sarnanevad palju, valdavalt on 2019. aasta langus olnud suurem, mis paistab eriti silma 125 Hz ja 2 kHz kesksageduste helirõhu tasemetes.



Joonis 11. Sesoonse muutuse histogramm kesksageduste kaupa. Vertikaalteljel helirõhu tasemete kogu muutuse suhe ja ühtlasi mere pindala muutuse protsent.

Sesoonne langus tuleneb meremüra olulisest looduslikust allikast. Jaanuar on valdavalt tormisem ja seega tekitab merel rohkem tuult ja laineid, mis on põhjustava looduslikku müra. Joonisel 12 on toodud Soome Meteoroloogia Instituudi lainepoi mõõdistustulemused 2014. ja 2019. aasta

jaanuari ning mai kuudest. Graafikul on kujutatud mõõtepäeval esinenud maksimaalne oluline lainekõrgus meetrites, millega joonistub välja korrelatsioon tormise mere ja jaanuari kõrgema mürataseme vahel.



Joonis 12. Graafikul päeva maksimaalne oluline lainekõrgus. Roheline täpp kaardil tähistab Soome Meteoroloogia Instituudi lainepoi asukohta meres (Soome Meteoroloogia Instituut 2020).

Lainetuse graafikute põhjal on näha, et erinevate aastate jaanuari kuu lainetuses on suurem kõikumine kui mai kuus. Sellest lähtuvalt sobib mai helirõhu tasemete kaartide võrdlus jaanuari omadest paremini andmaks üldistatud hinnagut meremüra tasemete muutumise kohta. Ühetaoliste keskkonnatingimuste valitsemine vähendab loodusliku müra varieerumist ning seega annab antud võrdluses parema võimaluse inimtekkeliste müraallikate mõju hindamisele.

Viie aasta helirõhutasemete statistilised karakteristikud näitavad, et keskmised muutused jäävad 1–2 dB juurde. Samal ajal muret tekitavam on mere üldpindalal toimuvad muutused. 63 Hz ja 125 Hz kesksageduste helirõhu tasemed, mis on kasvanud enam kui 5 dB, katavad 6–16% merealast, kui arvestada kõiki helirõhu tasemete suurenemisi, siis on tõus olnud 70–90% sõltuvalt kesksagedusest ja kuust. Nende tulemuste põhjal on näha, et 2/3 seiratavatatest kesksagedustest näitavad kasvutrendi.

Kokkuvõte

Viie aastaga toimunud muutuste trendi analüüsis on näha 2014. ja 2019. sesoonsete muutuste ühesugust käitumist. Jaanuari kuus on helirõhu tasemed mõlemal aastal kõrgemad kui mais, mida saab põhjendada ilmastikuoludega, mille tulemusel on jaanuaris lainekõrgused suuremad tekitades nii rohkem looduslikku müra. Mai kuuks on kõigis kolmes kesksageduse alas näha valdavalt langustrendi, mis on suurem, kui jaanuar on olnud tormisem.

Tulenevalt aastate jaanuari kuu ilmastiku varieeruvusest sobivad mai kuu tulemused üldistuste tegemiseks paremini. Keskmised ja mediaan helirõhutasemed on muutunud paari detsibelli võrra ning maksimaalsed modelleeritud tasemed on jäänud võrdsetele tasemetele, kuid on näha, et minimaalsed väärtused on tõusnud 1–3,5 dB. Lisas 4 histogrammidelt nähtavad 1 dB ja kaartidel 5 dB klassid näitavad selgelt, et vaatamata statistiliste karakteristikute väiksele muutusele on helirõhu taseme kasv toimunud 90% merealal ning suuremad kui 5 dB muutused võtavad enda alla 6-16% tervest merealast.

Analüüsiga on kaetud 74% Eesti vastutusalasse kuuluvast merealast. Tulemuste põhjal on näha, et helirõhu tasemete trend on olnud viie aastase võrreldava perioodi vahel tõusvas suunas, kattes kasvuga enamuse merealast. Kõige tugevam tõus on olnud 63 Hz ja 125 Hz kesksageduste helirõhu tasemetes, mis on peamiselt toimunud Liivi lahe ja Väinamere piirkonnas. Andmaks selget hinnangut Läänemere hea keskkonnaseisundi saavutamise osas, on vaja eelkõige formuleerida üldised indikaatorid meremürale.

Abstract

The study of GIS analysis of selected Estonian marine area and its sub-basins: 50th percentile trends during years 2014 and 2019 is analyzing the goal to reach good environmental status by 2020. It does that by comparing modelled soundscape maps from 2014 and 2019. First by comparing means and medians of each year's January and May, then by analyzing spacial changes of sound pressure levels that have increased more than 5 dB in the 63 Hz, 125 Hz and 2 kHz frequency bands. At the first glance it seems that changes have been minor. But taking another looking at the sound pressure levels that have increased more than 5 dB we can see that such rise covers 6–16% of marine areas in 63 Hz and 125 Hz bandwidths, while 2 kHz is seeing smaller changes. When considering smaller increases as well, the sound pressure levels have increased in more than 90% of whole marine area. Due to lack of formulation of general indicators of underwater noise, it is not possible to conclude by the analysis whether the good environmental status of the Baltic Sea has been attained regarding the trends of underwater noise.

Viidatud allikad

- About ArcGIS Pro—ArcGIS Pro | Documentation. (2020). ESRI. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/get-started/get-started.htm> 25.10.2020
- Federer, L.M., Belter, C.W., Joubert, D.J., Livinski, A., Lu, Y.L., Snyders, L.N., et al. (2018). Data sharing in PLoS ONE: An analysis of Data Availability Statements. PLoS ONE. 2018;13(5):e0194768
- Folegot T., Clorennec D., Chavanne R., R. Gallou. (2016). Mapping of ambient noise for BIAS. Quiet-Oceans technical report QO.20130203.01.RAP.001.01B, Brest, France, December 2016
- HELCOM. (2010a). Ecosystem Health of the Baltic Sea 2003–2007: HELCOM Initial Holistic Assessment. Balt. Sea Environ. Proc. No. 122.
- HELCOM. (2010b). Towards a tool for quantifying anthropogenic pressures and potential impacts on the Baltic Sea marine environment: A background document on the method, data and testing of the Baltic Sea Pressure and Impact Indices. Balt. Sea Environ. Proc. No. 125.
- HELCOM (2018): State of the Baltic Sea – Second HELCOM holistic assessment 2011-2016. Baltic Sea Environment Proceedings 155.
- Klauson, A., Laanearu, J., Mustonen, M. (2018). Läviväärtuste kehtestamine Eesti mereala hindamiseks MSRD 11. tunnuse (veealuse müra) kriteeriumite järgi. https://www.envir.ee/sites/default/files/lavivaartuste_kehtestamine_d11_20180305_final.pdf 10.04.2020
- Lips, U. (2016). Eesti mereala survetegurite indeksi väljatöötamine ja rakendamine. Tallinn. https://www.envir.ee/sites/default/files/surveindeks_aruanne_final.pdf 16.03.2020
- Läänemere kaitse. (2020). Keskkonnaministeerium. <https://www.envir.ee/et/laanemere-kaitse> 06.03.2020
- Majandusvööndi seadus. (Vastu võetud 28.01.1993, muudetud, täiendatud, viimati jõustunud 01.10.2019). –Elektroniline Riigi Teataja <https://www.riigiteataja.ee/akt/119032019101> (04.05.2020)
- matplotlib.pyplot.hist – Matplotlib 3.1.2 documentation. (2020). https://matplotlib.org/3.1.1/api/_as_gen/matplotlib.pyplot.hist.html 19.05.2020
- Minus function—ArcGIS Pro | Documentation. (2020). ESRI. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/data/imagery/minus.htm> 19.05.2020
- Reclassify – Help | Documentation. (2020). ESRI. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/reclassify.htm> 19.05.2020

- Resampling Method (Environment setting)-Geoprocessing | Documentation. (2020). ESRI.
<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/environment-settings/resampling-method.htm> 19.05.2020
- Soome Meteoroloogia Instituut. (2020). Download observations - Finnish Meteorological Institute. <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/download-observations#!/> (19.05.2020)
- Verfuß, U.K., Andersson, M., Folegot, T., Laanearu, J., Matuschek, R., Pajala, J., Sigray, P., Tegowski, J., Tougaard, J. BIAS Standards for noise measurements. Background information, Guidelines and Quality Assurance. Amended version. 2015.

Lisa 1 Merealade helirõhu tasemete karakteristikud (dB)

Terve ala		miinimum			maksimum			keskmine			mediaan			standardhälve	
		2014	2019	muutus	2014	2019	muutus	2014	2019	muutus	2014	2019	muutus	2014	2019
Jaanu	63 Hz	53,6	56,5	2,9	101,5	102,7	1,2	77,5	79,1	1,6	74,7	75,2	0,6	12,3	11,4
	125 Hz	51,1	59,0	7,9	103,4	105,5	2,1	80,8	82,9	2,1	83,3	83,6	0,2	14,5	13,2
	2000 Hz	71,1	75,4	4,3	96,0	96,9	0,9	82,6	84,4	1,7	82,9	84,4	1,6	5,6	5,4
Mai	63 Hz	53,8	57,3	3,5	101,5	101,6	0,0	76,2	77,2	1,1	73,4	73,5	0,1	11,9	12,0
	125 Hz	50,5	54,0	3,5	102,2	102,2	0,0	76,1	77,7	1,6	73,7	75,4	1,7	13,4	13,5
	2000 Hz	68,6	69,6	1,0	94,6	95,4	0,8	80,9	81,3	0,4	81,2	81,5	0,2	5,8	5,8

Alambasseinide kaupa			miinimum			maksimum			keskmine			mediaan			standardhälve	
			2014	2019	muutus	2014	2019	muutus	2014	2019	muutus	2014	2019	muutus	2014	2019
Jaanu	63 Hz	EGBP	57,7	61,2	3,6	89,9	88,7	-1,1	74,8	77,1	2,3	74,1	76,6	2,5	5,6	4,4
		GoF	59,1	56,5	-2,6	101,5	102,7	1,2	85,6	86,2	0,6	88,4	90,1	1,7	9,1	10,8
		GoR	54,1	60,8	6,7	81,8	85,5	3,7	67,0	69,2	2,2	68,2	69,7	1,6	5,9	3,8
		NBP	53,6	61,4	7,8	98,4	100,0	1,5	83,6	85,8	2,2	89,1	89,1	0,0	12,7	10,4
	125 Hz	EGBP	57,2	60,9	3,7	94,9	92,5	-2,4	80,8	81,2	0,4	81,3	82,2	0,9	8,6	6,1
		GoF	58,1	60,0	1,8	103,4	105,5	2,1	91,8	94,0	2,2	93,9	96,4	2,5	7,2	7,6
		GoR	51,1	59,0	7,9	90,6	94,6	4,0	65,7	69,3	3,6	66,2	69,1	2,9	7,8	5,6
		NBP	51,7	60,2	8,5	100,9	102,9	2,1	88,8	90,4	1,6	94,1	93,8	-0,2	11,4	10,1
	2000 Hz	EGBP	75,0	77,9	2,8	90,8	92,0	1,2	85,0	86,4	1,4	84,9	86,6	1,7	3,0	2,7
		GoF	75,4	79,6	4,1	93,1	94,7	1,6	86,7	88,5	1,8	87,1	88,7	1,6	3,0	3,0
		GoR	71,1	75,4	4,3	82,5	83,7	1,2	77,0	78,5	1,6	77,5	78,7	1,2	2,3	1,3
		NBP	72,0	76,5	4,5	96,0	96,9	0,9	85,0	87,3	2,2	85,3	87,2	1,9	5,3	4,5

EGBP – Eastern Gotland Baltic Proper – Ida-Gotlandi bassein; **GoR** – Gulf of Riga – Liivi lath (ja Väinameri)

GoF – Gulf of Finland – Soome laht; **NBP** – Northern Baltic Proper – Läänemere avaosa põhjassein.

Lisa 1 järg Merealade helirõhu tasemete karakteristikud (dB)

Alambasseinide kaupa			miinimum			maksimum			keskmine			mediaan			standardhälve	
			2014	2019	muutus	2014	2019	muutus	2014	2019	muutus	2014	2019	muutus	2014	2019
Mai	63 Hz	EGBP	60,7	63,4	2,7	86,1	85,6	-0,5	75,2	75,2	0,1	74,5	75,0	0,5	3,1	3,2
		GoF	56,6	59,6	3,0	101,5	101,6	0,0	84,2	85,8	1,7	86,8	88,9	2,2	10,0	10,2
		GoR	53,8	57,3	3,5	77,4	80,6	3,1	64,9	66,1	1,2	65,8	66,0	0,2	4,0	3,0
		NBP	56,2	61,6	5,4	97,8	99,4	1,6	82,7	84,0	1,3	85,6	86,6	0,9	10,8	11,0
	125 Hz	EGBP	57,2	59,3	2,0	87,3	86,9	-0,4	74,4	74,7	0,3	73,9	74,8	0,9	4,8	5,0
		GoF	51,4	55,4	4,0	102,2	102,2	0,0	86,1	88,5	2,4	88,8	91,4	2,7	9,3	8,9
		GoR	50,5	54,0	3,5	81,3	85,5	4,3	63,0	64,5	1,5	64,3	64,5	0,2	5,1	4,2
		NBP	51,1	57,0	5,9	99,1	100,9	1,8	83,4	85,5	2,1	87,3	88,8	1,6	12,2	11,9
	2000 Hz	EGBP	75,2	76,7	1,5	87,2	87,6	0,5	83,6	83,8	0,2	84,0	84,3	0,4	1,8	2,0
		GoF	72,7	72,2	-0,5	94,6	95,4	0,8	84,1	84,4	0,3	84,1	84,2	0,1	4,4	4,2
		GoR	68,6	69,6	1,0	84,0	85,7	1,7	74,6	75,2	0,6	74,4	74,7	0,3	2,4	2,4
		NBP	72,7	76,1	3,4	92,6	92,9	0,2	84,5	85,1	0,6	84,5	84,7	0,2	4,4	4,3

EGBP – *Eastern Gotland Baltic Proper* – Ida-Gotlandi bassein;

GoF – *Gulf of Finland* – Soome lath;

GoR – *Gulf of Riga* – Liivi lath (ja Väinameri);

NBP – *Northern Baltic Proper* – Läänemere avaosa põhjabassein.

Lisa 2 Alambasseinide müratasemete pindalad

Nimi	Sagedus (Hz)	Kuu	Aasta	dB muutuse intervall	Ala suurus (km ²)	% alam-basseinist
EGBP	63	jaan vs. mai	2014	-5 < ... ≤ 0	1184,2	45,2
EGBP	63	jaan vs. mai	2014	0 < ... ≤ 5	1289,4	534,1
EGBP	63	jaan vs. mai	2014	5 < ... ≤ 10	146,9	3,0
GoF	63	jaan vs. mai	2014	-10 < ... ≤ -5	241,4	3,6
GoF	63	jaan vs. mai	2014	-5 < ... ≤ 0	4885,1	73,6
GoF	63	jaan vs. mai	2014	0 < ... ≤ 5	1433,6	21,6
GoF	63	jaan vs. mai	2014	5 < ... ≤ 10	74,7	1,1
GoR	63	jaan vs. mai	2014	-10 < ... ≤ -5	1726,4	18,1
GoR	63	jaan vs. mai	2014	-5 < ... ≤ 0	5220,1	54,8
GoR	63	jaan vs. mai	2014	0 < ... ≤ 5	2493,5	26,2
GoR	63	jaan vs. mai	2014	5 < ... ≤ 10	84,4	0,9
NBP	63	jaan vs. mai	2014	-10 < ... ≤ -5	61,7	0,8
NBP	63	jaan vs. mai	2014	-5 < ... ≤ 0	5937,8	72,8
NBP	63	jaan vs. mai	2014	0 < ... ≤ 5	1434,3	17,6
NBP	63	jaan vs. mai	2014	5 < ... ≤ 10	725,0	8,9
EGBP	125	jaan vs. mai	2014	-15 < ... ≤ -10	866,8	33,1
EGBP	125	jaan vs. mai	2014	-10 < ... ≤ -5	778,9	29,7
EGBP	125	jaan vs. mai	2014	-5 < ... ≤ 0	780,1	29,8
EGBP	125	jaan vs. mai	2014	0 < ... ≤ 5	194,8	7,4
GoF	125	jaan vs. mai	2014	-20 < ... ≤ -15	12,1	0,2
GoF	125	jaan vs. mai	2014	-15 < ... ≤ -10	840,6	12,7
GoF	125	jaan vs. mai	2014	-10 < ... ≤ -5	2572,1	38,8
GoF	125	jaan vs. mai	2014	-5 < ... ≤ 0	3017,5	45,5
GoF	125	jaan vs. mai	2014	0 < ... ≤ 5	192,5	2,9
GoR	125	jaan vs. mai	2014	-15 < ... ≤ -10	87,9	0,9
GoR	125	jaan vs. mai	2014	-10 < ... ≤ -5	2997,1	31,5
GoR	125	jaan vs. mai	2014	-5 < ... ≤ 0	4309,8	45,3
GoR	125	jaan vs. mai	2014	0 < ... ≤ 5	2122,5	22,3
GoR	125	jaan vs. mai	2014	5 < ... ≤ 10	7,1	0,1
NBP	125	jaan vs. mai	2014	-20 < ... ≤ -15	0,4	0,0
NBP	125	jaan vs. mai	2014	-15 < ... ≤ -10	1269,2	15,6
NBP	125	jaan vs. mai	2014	-10 < ... ≤ -5	2701,3	33,1
NBP	125	jaan vs. mai	2014	-5 < ... ≤ 0	3672,8	45,0
NBP	125	jaan vs. mai	2014	0 < ... ≤ 5	515,2	6,3

EGBP – *Eastern Gotland Baltic Proper* – Ida-Gotlandi bassein; **GoR** – *Gulf of Riga* – Liivi lath (ja Väinameri); **GoF** – *Gulf of Finland* – Soome laht; **NBP** – *Northern Baltic Proper* – Läänemere avaosa põhjassein.

Lisa 2 järg Alambasseinide müratasemete pindalad

Nimi	Sagedus (Hz)	Kuu	Aasta	dB muutuse intervall	Ala suurus (km ²)	% alam-basseinist
EGBP	2000	jaan vs. mai	2014	-5 < ... ≤ 0	2272,4	86,7
EGBP	2000	jaan vs. mai	2014	0 < ... ≤ 5	348,1	13,3
GoF	2000	jaan vs. mai	2014	-10 < ... ≤ -5	1648,7	24,8
GoF	2000	jaan vs. mai	2014	-5 < ... ≤ 0	4127,9	62,2
GoF	2000	jaan vs. mai	2014	0 < ... ≤ 5	858,3	12,9
GoR	2000	jaan vs. mai	2014	-10 < ... ≤ -5	383,0	4,0
GoR	2000	jaan vs. mai	2014	-5 < ... ≤ 0	8389,9	88,1
GoR	2000	jaan vs. mai	2014	0 < ... ≤ 5	752,0	7,9
NBP	2000	jaan vs. mai	2014	-10 < ... ≤ -5	121,9	1,5
NBP	2000	jaan vs. mai	2014	-5 < ... ≤ 0	4506,7	55,2
NBP	2000	jaan vs. mai	2014	0 < ... ≤ 5	3530,2	43,3

Nimi	Sagedus (Hz)	Kuu	Aasta	dB muutuse intervall	Ala suurus (km ²)	% alam-basseinist
EGBP	63	jaan vs. mai	2019	-5 < ... ≤ 0	2601,6	95,9
EGBP	63	jaan vs. mai	2019	0 < ... ≤ 5	110,7	4,1
GoF	63	jaan vs. mai	2019	-10 < ... ≤ -5	369,9	5,5
GoF	63	jaan vs. mai	2019	-5 < ... ≤ 0	3934,8	58,0
GoF	63	jaan vs. mai	2019	0 < ... ≤ 5	2103,2	31,0
GoF	63	jaan vs. mai	2019	5 < ... ≤ 10	327,6	4,8
GoF	63	jaan vs. mai	2019	10 < ... ≤ 15	47,8	0,7
GoR	63	jaan vs. mai	2019	-10 < ... ≤ -5	3342,6	33,0
GoR	63	jaan vs. mai	2019	-5 < ... ≤ 0	5192,3	51,2
GoR	63	jaan vs. mai	2019	0 < ... ≤ 5	1603,8	15,8
NBP	63	jaan vs. mai	2019	-10 < ... ≤ -5	183,5	2,2
NBP	63	jaan vs. mai	2019	-5 < ... ≤ 0	6548,3	79,1
NBP	63	jaan vs. mai	2019	0 < ... ≤ 5	1542,7	18,6
EGBP	125	jaan vs. mai	2019	-10 < ... ≤ -5	2251,4	83,0
EGBP	125	jaan vs. mai	2019	-5 < ... ≤ 0	461,0	17,0
GoF	125	jaan vs. mai	2019	-20 < ... ≤ -15	7,8	0,1
GoF	125	jaan vs. mai	2019	-15 < ... ≤ -10	323,8	4,8
GoF	125	jaan vs. mai	2019	-10 < ... ≤ -5	3142,3	46,3
GoF	125	jaan vs. mai	2019	-5 < ... ≤ 0	3219,7	47,5
GoF	125	jaan vs. mai	2019	0 < ... ≤ 5	85,3	1,3
GoF	125	jaan vs. mai	2019	5 < ... ≤ 10	4,3	0,1
GoR	125	jaan vs. mai	2019	-15 < ... ≤ -10	209,1	2,1
GoR	125	jaan vs. mai	2019	-10 < ... ≤ -5	5505,4	54,3
GoR	125	jaan vs. mai	2019	-5 < ... ≤ 0	4111,1	40,5
GoR	125	jaan vs. mai	2019	0 < ... ≤ 5	311,6	3,1
GoR	125	jaan vs. mai	2019	5 < ... ≤ 10	1,2	0,0

Lisa 2 järg Alambasseinide müratasemete pindalad

Nimi	Sagedus (Hz)	Kuu	Aasta	dB muutuse intervall	Ala suurus (km ²)	% alam-basseinist
NBP	125	jaan vs. mai	2019	-15 < ... ≤ -10	344,9	4,2
NBP	125	jaan vs. mai	2019	-10 < ... ≤ -5	3540,9	42,8
NBP	125	jaan vs. mai	2019	-5 < ... ≤ 0	3996,0	48,3
NBP	125	jaan vs. mai	2019	0 < ... ≤ 5	392,6	4,7
EGBP	2000	jaan vs. mai	2019	-5 < ... ≤ 0	2693,0	99,3
EGBP	2000	jaan vs. mai	2019	0 < ... ≤ 5	19,3	0,7
GoF	2000	jaan vs. mai	2019	-10 < ... ≤ -5	2526,2	37,2
GoF	2000	jaan vs. mai	2019	-5 < ... ≤ 0	4120,6	60,7
GoF	2000	jaan vs. mai	2019	0 < ... ≤ 5	136,5	2,0
GoR	2000	jaan vs. mai	2019	-10 < ... ≤ -5	3071,6	30,3
GoR	2000	jaan vs. mai	2019	-5 < ... ≤ 0	6248,1	61,6
GoR	2000	jaan vs. mai	2019	0 < ... ≤ 5	818,9	8,1
NBP	2000	jaan vs. mai	2019	-10 < ... ≤ -5	410,4	5,0
NBP	2000	jaan vs. mai	2019	-5 < ... ≤ 0	7296,9	88,2
NBP	2000	jaan vs. mai	2019	0 < ... ≤ 5	567,1	6,9

Nimi	Sagedus (Hz)	Kuu	Aasta	dB muutuse intervall	Ala suurus (km ²)	% alam-basseinist
EGBP	63	jaan	2014 vs. 2019	-5 < ... ≤ 0	113,5	4,3
EGBP	63	jaan	2014 vs. 2019	0 < ... ≤ 5	2316,5	88,5
EGBP	63	jaan	2014 vs. 2019	5 < ... ≤ 10	174,1	6,6
EGBP	63	jaan	2014 vs. 2019	10 < ... ≤ 15	14,2	0,5
GoF	63	jaan	2014 vs. 2019	-15 < ... ≤ -10	8,4	0,1
GoF	63	jaan	2014 vs. 2019	-10 < ... ≤ -5	162,6	2,5
GoF	63	jaan	2014 vs. 2019	-5 < ... ≤ 0	1273,6	19,3
GoF	63	jaan	2014 vs. 2019	0 < ... ≤ 5	5042,7	76,3
GoF	63	jaan	2014 vs. 2019	5 < ... ≤ 10	121,9	1,8
GoR	63	jaan	2014 vs. 2019	-5 < ... ≤ 0	2532,9	26,7
GoR	63	jaan	2014 vs. 2019	0 < ... ≤ 5	5004,9	52,7
GoR	63	jaan	2014 vs. 2019	5 < ... ≤ 10	1907,8	20,1
GoR	63	jaan	2014 vs. 2019	10 < ... ≤ 15	45,2	0,5
NBP	63	jaan	2014 vs. 2019	-5 < ... ≤ 0	1201,1	14,7
NBP	63	jaan	2014 vs. 2019	0 < ... ≤ 5	5726,2	70,2
NBP	63	jaan	2014 vs. 2019	5 < ... ≤ 10	838,7	10,3
NBP	63	jaan	2014 vs. 2019	10 < ... ≤ 15	385,9	4,7
NBP	63	jaan	2014 vs. 2019	15 < ... ≤ 20	0,8	0,0

EGBP – Eastern Gotland Baltic Proper – Ida-Gotlandi bassein; **GoR** – Gulf of Riga – Liivi lath (ja Väinameri); **GoF** – Gulf of Finland – Soome laht; **NBP** – Northern Baltic Proper – Läänemere avaosa põhjassein.

Lisa 2 järg Alambasseinide müratasemete pindalad

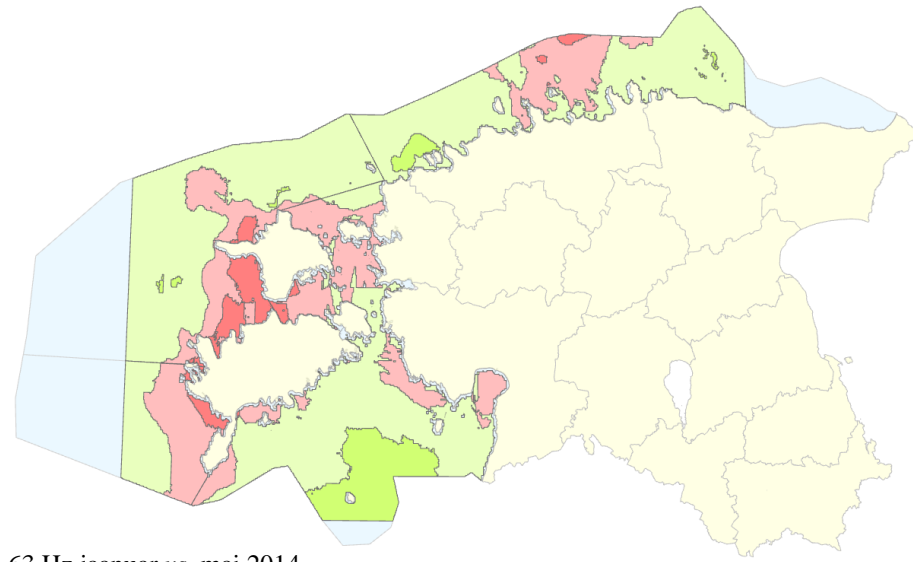
Nimi	Sagedus (Hz)	Kuu	Aasta	dB muutuse intervall	Ala suurus (km ²)	% alam-basseinist
EGBP	125	jaan	2014 vs. 2019	-5 < ... ≤ 0	1082,7	41,4
EGBP	125	jaan	2014 vs. 2019	0 < ... ≤ 5	1369,8	52,3
EGBP	125	jaan	2014 vs. 2019	5 < ... ≤ 10	149,5	5,7
EGBP	125	jaan	2014 vs. 2019	10 < ... ≤ 15	16,2	0,6
GoF	125	jaan	2014 vs. 2019	-10 < ... ≤ -5	2,8	0,0
GoF	125	jaan	2014 vs. 2019	-5 < ... ≤ 0	408,0	6,2
GoF	125	jaan	2014 vs. 2019	0 < ... ≤ 5	5909,2	89,4
GoF	125	jaan	2014 vs. 2019	5 < ... ≤ 10	287,2	4,3
GoF	125	jaan	2014 vs. 2019	10 < ... ≤ 15	1,9	0,0
GoR	125	jaan	2014 vs. 2019	-5 < ... ≤ 0	710,4	7,5
GoR	125	jaan	2014 vs. 2019	0 < ... ≤ 5	5605,2	59,1
GoR	125	jaan	2014 vs. 2019	5 < ... ≤ 10	2672,7	28,2
GoR	125	jaan	2014 vs. 2019	10 < ... ≤ 15	503,3	5,3
NBP	125	jaan	2014 vs. 2019	-5 < ... ≤ 0	1443,8	17,7
NBP	125	jaan	2014 vs. 2019	0 < ... ≤ 5	6021,5	73,9
NBP	125	jaan	2014 vs. 2019	5 < ... ≤ 10	543,4	6,7
NBP	125	jaan	2014 vs. 2019	10 < ... ≤ 15	144,0	1,8
EGBP	2000	jaan	2014 vs. 2019	-5 < ... ≤ 0	0,2	0,0
EGBP	2000	jaan	2014 vs. 2019	0 < ... ≤ 5	2617,2	100,0
EGBP	2000	jaan	2014 vs. 2019	5 < ... ≤ 10	0,8	0,0
GoF	2000	jaan	2014 vs. 2019	-5 < ... ≤ 0	88,5	1,3
GoF	2000	jaan	2014 vs. 2019	0 < ... ≤ 5	6441,8	97,5
GoF	2000	jaan	2014 vs. 2019	5 < ... ≤ 10	78,8	1,2
GoR	2000	jaan	2014 vs. 2019	-5 < ... ≤ 0	1715,7	18,1
GoR	2000	jaan	2014 vs. 2019	0 < ... ≤ 5	7447,6	78,5
GoR	2000	jaan	2014 vs. 2019	5 < ... ≤ 10	327,4	3,4
NBP	2000	jaan	2014 vs. 2019	-5 < ... ≤ 0	5,9	0,1
NBP	2000	jaan	2014 vs. 2019	0 < ... ≤ 5	7722,4	94,7
NBP	2000	jaan	2014 vs. 2019	5 < ... ≤ 10	424,5	5,2

Nimi	Sagedus (Hz)	Kuu	Aasta	dB muutuse intervall	Ala suurus (km ²)	% alam-basseinist
EGBP	63	mai	2014 vs. 2019	-10 < ... ≤ -5	4,1	0,2
EGBP	63	mai	2014 vs. 2019	-5 < ... ≤ 0	528,7	20,2
EGBP	63	mai	2014 vs. 2019	0 < ... ≤ 5	2081,9	79,5
EGBP	63	mai	2014 vs. 2019	5 < ... ≤ 10	3,4	0,1
GoF	63	mai	2014 vs. 2019	-10 < ... ≤ -5	0,7	0,0
GoF	63	mai	2014 vs. 2019	-5 < ... ≤ 0	220,6	3,3
GoF	63	mai	2014 vs. 2019	0 < ... ≤ 5	6249,7	94,6
GoF	63	mai	2014 vs. 2019	5 < ... ≤ 10	138,1	2,1

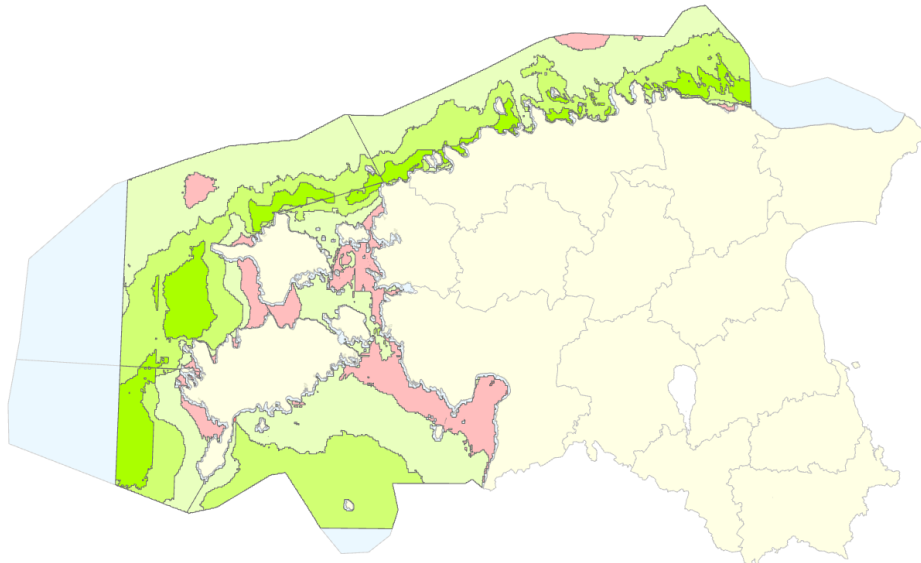
Lisa 2 järg Alambasseinide müratasemete pindalad

Nimi	Sagedus (Hz)	Kuu	Aasta	dB muutuse intervall	Ala suurus (km ²)	% alam-basseinist
GoR	63	mai	2014 vs. 2019	-5 < ... ≤ 0	2623,0	27,6
GoR	63	mai	2014 vs. 2019	0 < ... ≤ 5	5671,0	59,7
GoR	63	mai	2014 vs. 2019	5 < ... ≤ 10	1187,3	12,5
GoR	63	mai	2014 vs. 2019	10 < ... ≤ 15	10,4	0,1
NBP	63	mai	2014 vs. 2019	-5 < ... ≤ 0	1100,3	13,5
NBP	63	mai	2014 vs. 2019	0 < ... ≤ 5	6778,1	83,1
NBP	63	mai	2014 vs. 2019	5 < ... ≤ 10	271,8	3,3
NBP	63	mai	2014 vs. 2019	10 < ... ≤ 15	2,6	0,0
EGBP	125	mai	2014 vs. 2019	-10 < ... ≤ -5	4,6	0,2
EGBP	125	mai	2014 vs. 2019	-5 < ... ≤ 0	424,7	16,2
EGBP	125	mai	2014 vs. 2019	0 < ... ≤ 5	2185,7	83,5
EGBP	125	mai	2014 vs. 2019	5 < ... ≤ 10	3,2	0,1
GoF	125	mai	2014 vs. 2019	-10 < ... ≤ -5	0,4	0,0
GoF	125	mai	2014 vs. 2019	-5 < ... ≤ 0	137,5	2,1
GoF	125	mai	2014 vs. 2019	0 < ... ≤ 5	5581,7	84,5
GoF	125	mai	2014 vs. 2019	5 < ... ≤ 10	836,4	12,7
GoF	125	mai	2014 vs. 2019	10 < ... ≤ 15	52,3	0,8
GoF	125	mai	2014 vs. 2019	15 < ... ≤ 20	0,8	0,0
GoR	125	mai	2014 vs. 2019	-10 < ... ≤ -5	0,2	0,0
GoR	125	mai	2014 vs. 2019	-5 < ... ≤ 0	1854,1	19,5
GoR	125	mai	2014 vs. 2019	0 < ... ≤ 5	6331,5	66,7
GoR	125	mai	2014 vs. 2019	5 < ... ≤ 10	1218,2	12,8
GoR	125	mai	2014 vs. 2019	10 < ... ≤ 15	86,8	0,9
NBP	125	mai	2014 vs. 2019	-5 < ... ≤ 0	591,5	7,3
NBP	125	mai	2014 vs. 2019	0 < ... ≤ 5	7072,8	86,8
NBP	125	mai	2014 vs. 2019	5 < ... ≤ 10	479,5	5,9
NBP	125	mai	2014 vs. 2019	10 < ... ≤ 15	9,0	0,1
EGBP	2000	mai	2014 vs. 2019	-5 < ... ≤ 0	292,6	100,0
GoF	2000	mai	2014 vs. 2019	-10 < ... ≤ -5	2,9	0,0
GoF	2000	mai	2014 vs. 2019	-5 < ... ≤ 0	2427,1	36,7
GoF	2000	mai	2014 vs. 2019	0 < ... ≤ 5	4176,1	63,2
GoF	2000	mai	2014 vs. 2019	5 < ... ≤ 10	3,0	0,0
GoR	2000	mai	2014 vs. 2019	-5 < ... ≤ 0	3483,8	36,7
GoR	2000	mai	2014 vs. 2019	0 < ... ≤ 5	5942,4	62,6
GoR	2000	mai	2014 vs. 2019	5 < ... ≤ 10	64,7	0,7
NBP	2000	mai	2014 vs. 2019	-5 < ... ≤ 0	1307,5	16,0
NBP	2000	mai	2014 vs. 2019	0 < ... ≤ 5	6830,1	83,8
NBP	2000	mai	2014 vs. 2019	5 < ... ≤ 10	15,2	0,2

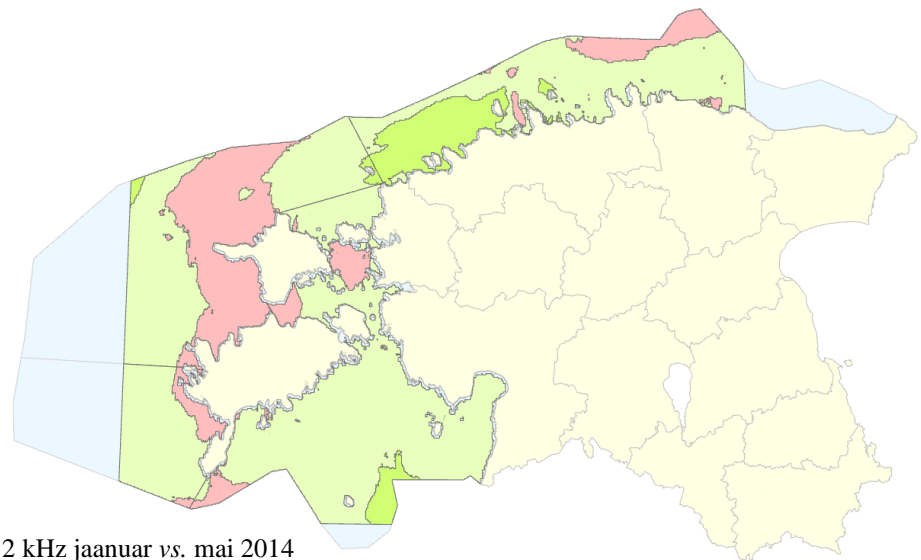
Lisa 3 Merealal 2014. ja 2019. a sesoonsete muutuste kokkuvõte



63 Hz jaanuar vs. mai 2014

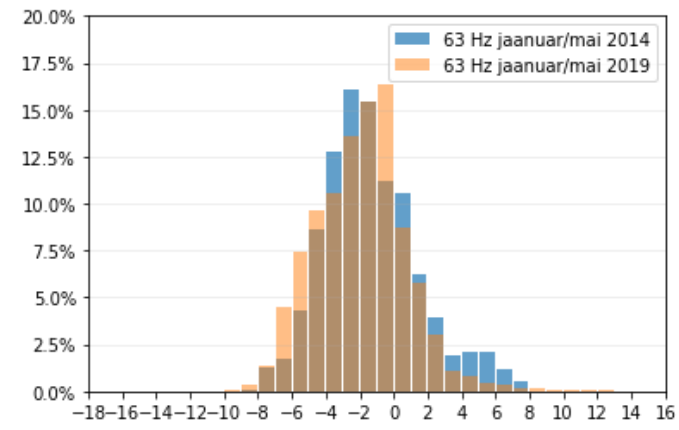
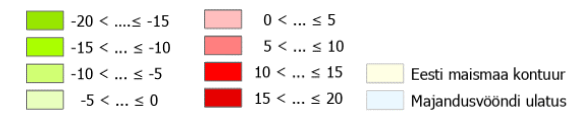


125 Hz jaanuar vs. mai 2014

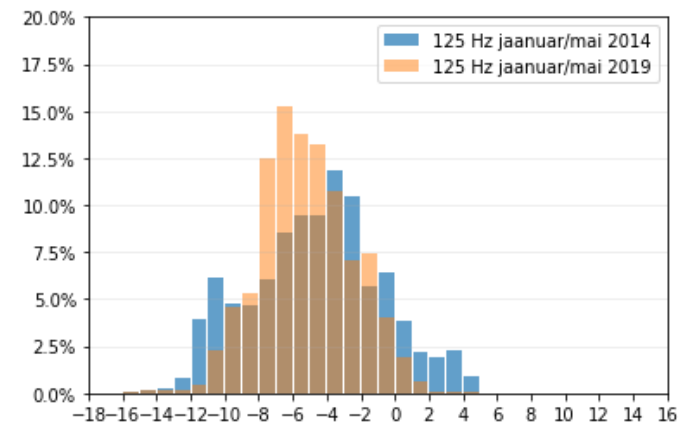


2 kHz jaanuar vs. mai 2014

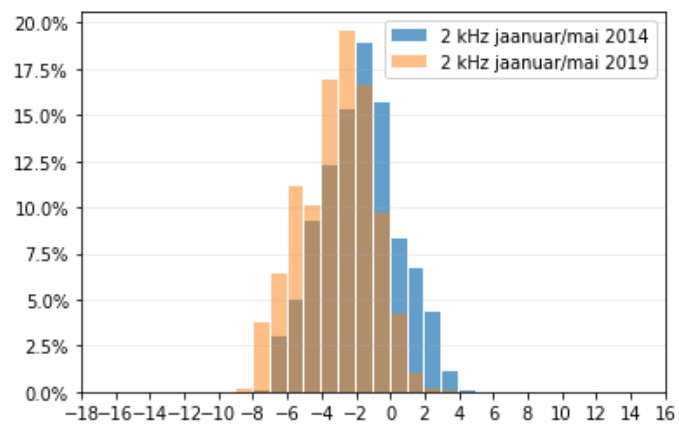
Jaanuar vs. mai muutus detsibellides



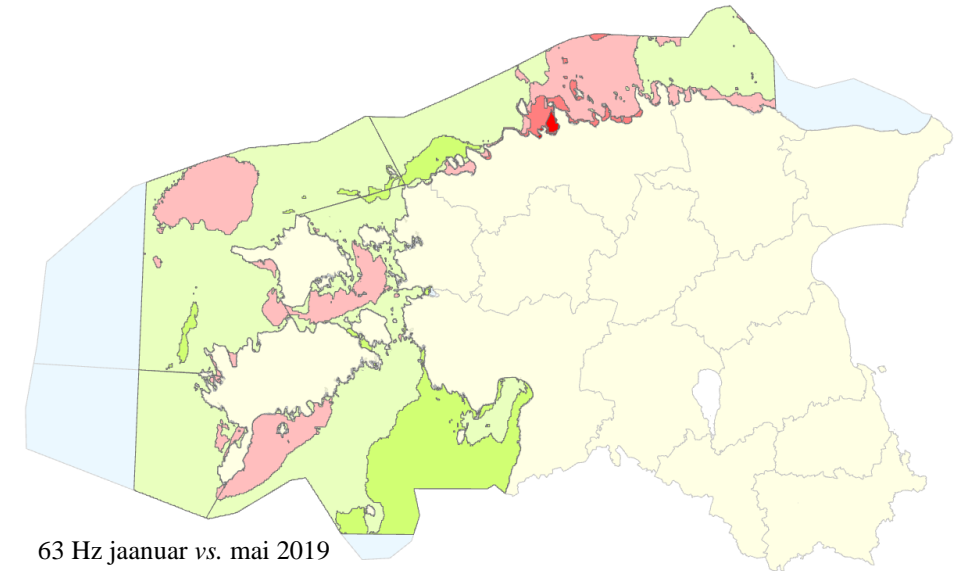
Aasta-siseste sesoonsete muutuste histogrammid. Vertikaalteljel helirõhu tasemete kogu muutuse suhe ja ühtlasi mere pindala muutuse protsent. Horisontaal teljel erinevus detsibellides.



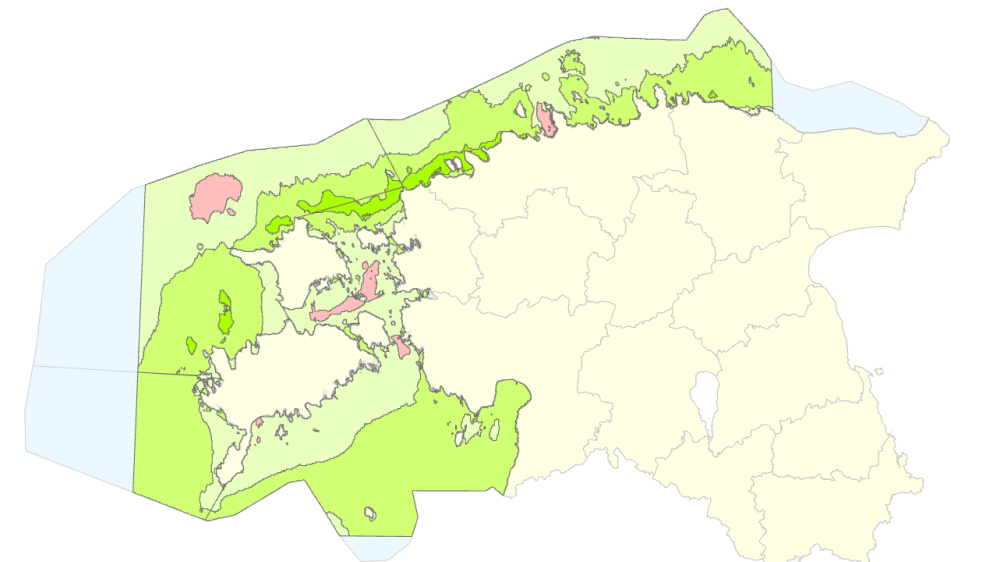
Aasta-siseste sesoonsete muutuste histogrammid. Vertikaalteljel helirõhu tasemete kogu muutuse suhe ja ühtlasi mere pindala muutuse protsent. Horisontaal teljel erinevus detsibellides.



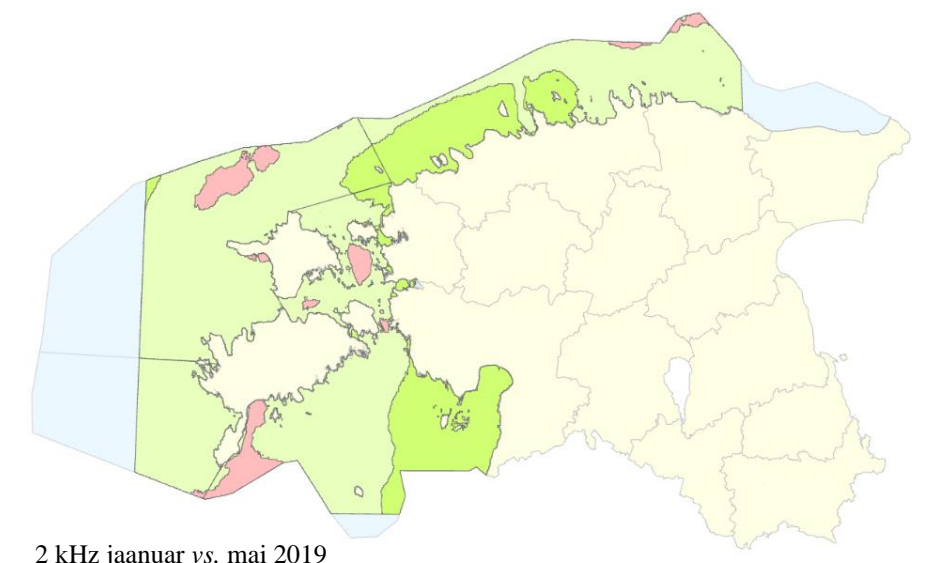
Aasta-siseste sesoonsete muutuste histogrammid. Vertikaalteljel helirõhu tasemete kogu muutuse suhe ja ühtlasi mere pindala muutuse protsent. Horisontaal teljel erinevus detsibellides.



63 Hz jaanuar vs. mai 2019

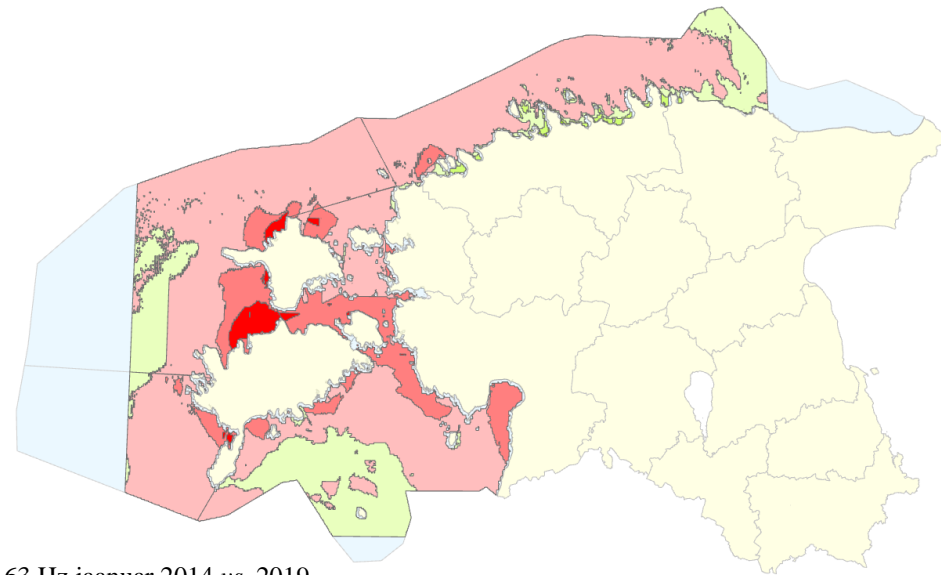


125 Hz jaanuar vs. mai 2019



2 kHz jaanuar vs. mai 2019

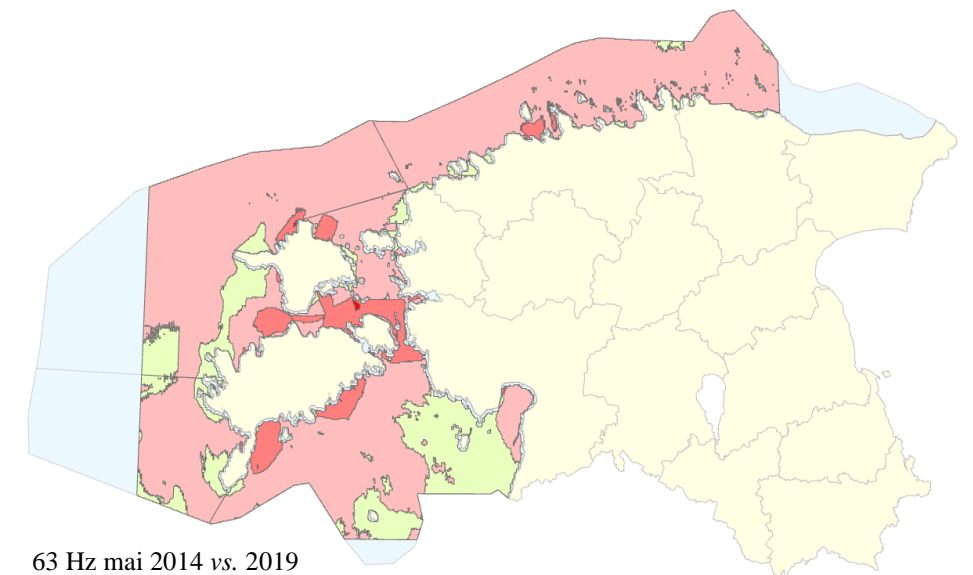
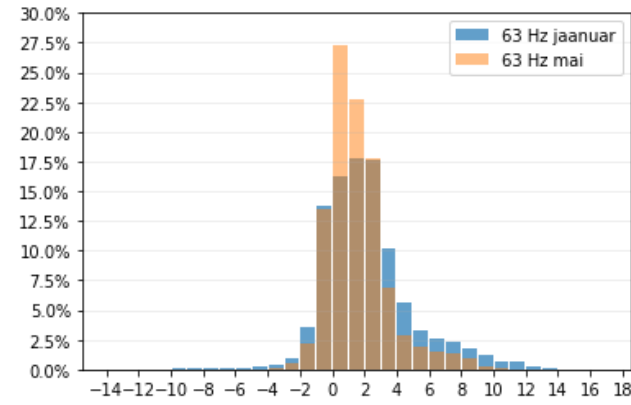
Lisa 4 Mereala 2014. ja 2019. a vastavate kuude vaheliste muutuste kokkuvõte



63 Hz jaanuar 2014 vs. 2019

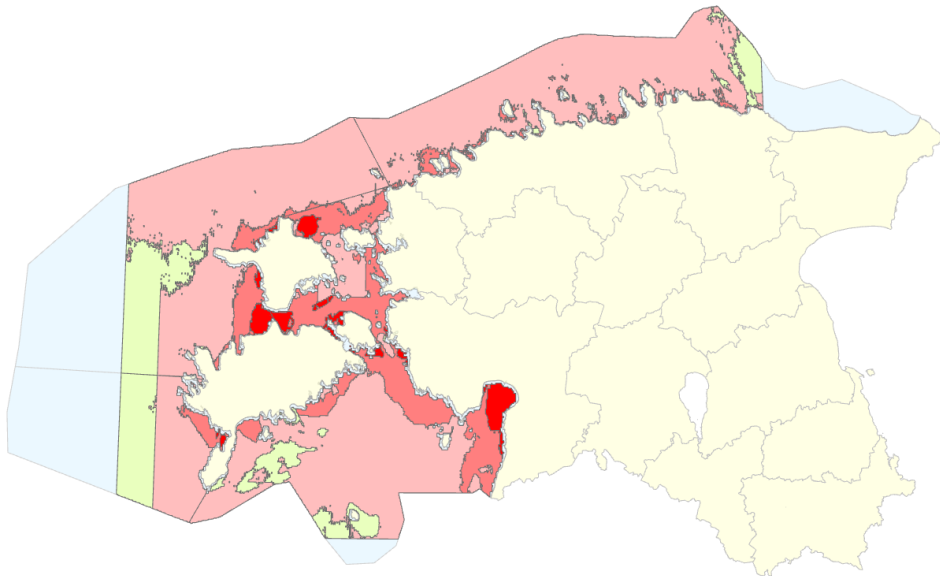
2014 vs. 2019 muutus detsibellides

-20 < ... ≤ -15	0 < ... ≤ 5	Eesti maismaa kontuur
-15 < ... ≤ -10	5 < ... ≤ 10	Majandusvööndi ulatus
-10 < ... ≤ -5	10 < ... ≤ 15	
-5 < ... ≤ 0	15 < ... ≤ 20	

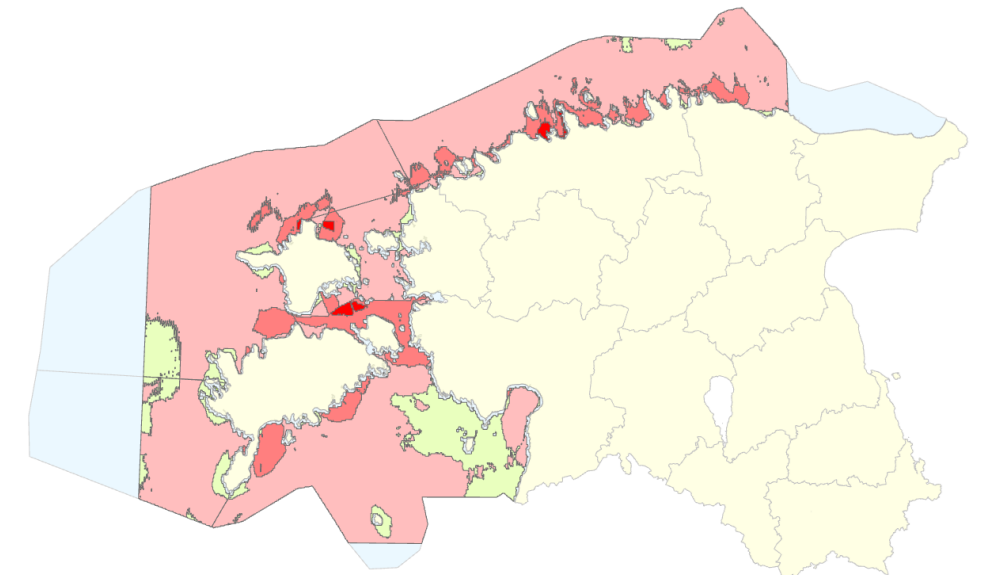
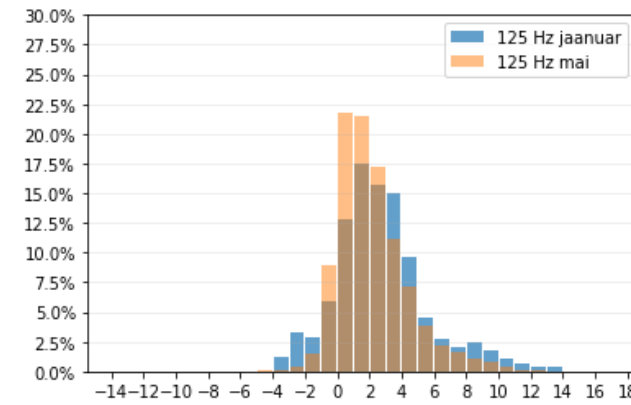


63 Hz mai 2014 vs. 2019

2014. ja 2019. a vastavate kuude muutuste histogrammid. Vertikaalteljel helirõhu tasemete kogu muutuse suhe ja ühtlasi mere pindala muutuse protsent. Horisontaal teljel erinevus detsibellides.

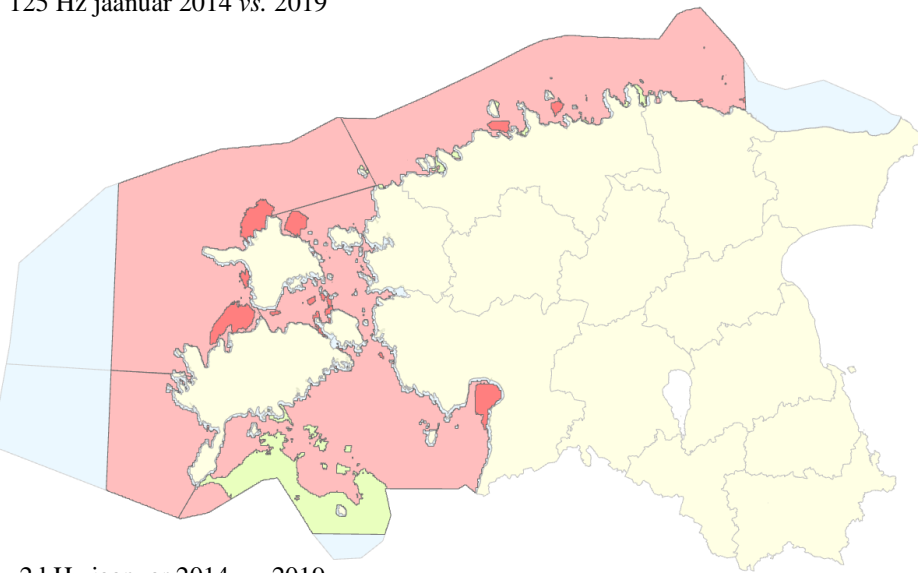


125 Hz jaanuar 2014 vs. 2019

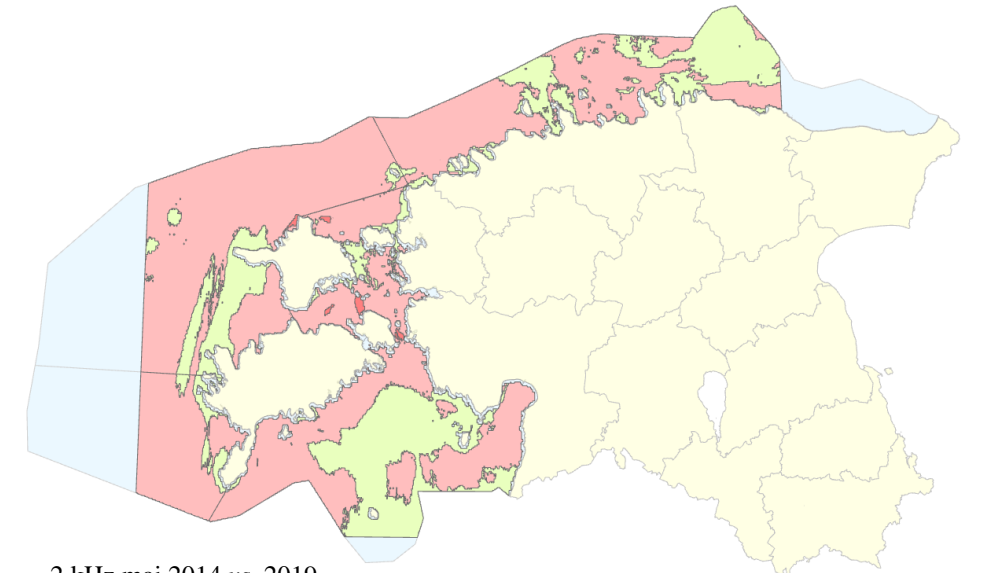
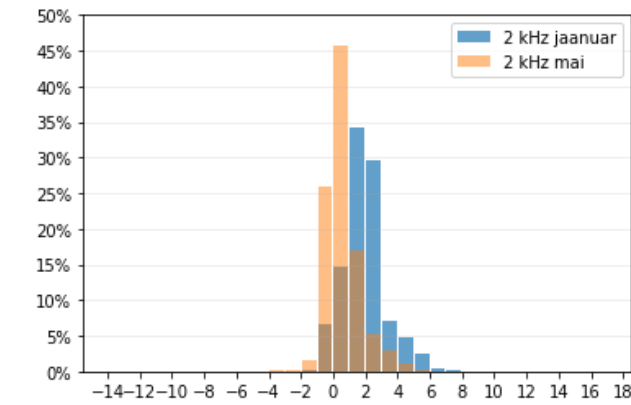


125 Hz mai 2014 vs. 2019

2014. ja 2019. a vastavate kuude muutuste histogrammid. Vertikaalteljel helirõhu tasemete kogu muutuse suhe ja ühtlasi mere pindala muutuse protsent. Horisontaal teljel erinevus detsibellides.



2 kHz jaanuar 2014 vs. 2019



2 kHz mai 2014 vs. 2019

2014. ja 2019. a vastavate kuude muutuste histogrammid. Vertikaalteljel helirõhu tasemete kogu muutuse suhe ja ühtlasi mere pindala muutuse protsent. Horisontaal teljel erinevus detsibellides.