



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
EESTI MEREAKADEEMIA  
Merenduskeskus

Rasmus Vaher

**Inimtekkelise veealuse müra sesoone analüüs ja prognoos Eesti  
merealas: mereplaneeringud Liivi lahes**

Lõputöö

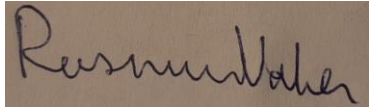
Juhendaja: Dotsent Janek Laanearu

Tallinn 2020

Olen koostanud töö iseseisvalt.

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

Rasmus Vaher



24.05.2020

(allkiri, kuupäev)

Üliõpilase kood: VDVR143334

Üliõpilase e-posti aadress: rasmusvaher666@gmail.com

Juhendaja: Dotsent Janek Laanearu:

Töö vastab lõputööle esitatud nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: Dotsent, Inga Zaitseva-Pärnaste

Lubatud kaitsmisele

.....

(ametikoht, nimi, allkiri, kuupäev)

# Sisukord

Annotatsioon.....	4
Sissejuhatus .....	5
1 Läänemere olukord .....	7
1.1 Merekeskkond.....	9
1.2 Majandustegurid .....	12
1.2.1 Taastuveneriga tootmine.....	13
1.2.2 Meretransport ja taristu.....	15
1.2.3 Transport ja laevandus.....	16
2 Allveekustika .....	17
2.1 Pidevmüra .....	19
2.2 Implussmüra.....	21
2.3 Helirõhu tase .....	23
3 Meremüra Liivi lahes .....	26
3.1 Helitaseme kaardid .....	26
3.2 Laevaliikluse andmed .....	30
3.3 Merearenduspiirkonnad .....	31
3.4 Helitasemete analüüs .....	32
3.5 Helitasemete prognoos.....	56
Kokkuvõte .....	59
Abstract.....	60
Viidatud allikad .....	62

## **Annotatsioon**

Käesoleva lõputöö esimeses peatükis on tutvustatud Läänemere keskkonna ja majanduse tegureid. Keskkonnateguriteks on eutrofeerumine, ohtlikud ained, bioloogiline mitmekesisus ja merendustegevus. Majandusteguriteks on taastuenergia tootmine, meretransport ja sellega seotud taristu ning transport kui laevandus.

Teises allveeakustika peatükis on kirjeldatud pidevmüra ja impulssmüra parameetreid. Selgitatud on heli, helirõhku, protsentiile, oktaave ja detsibelle ning nende kasutamist.

Kolmas, meremüra Liivi lahes peatükk on peamine osa tööst, kus on kirjeldatud Eesti mereala valitud osa 5-te erinevat piirkonda - Eesti mereplaneering aastaks 2030+ ja Baltic Scope piirkondi. Uuritud on nii loodusliku kui ka inimtekkelise veeluse helirõhu taset suve ja talve tingimustes. Töös on esitatud prognoos, kui palju võib meremüraga seotud tingimused muutuda eeldusel, et merearenduse piirkondadesse rajatakse tuulikupargid.

Töö viimane peatükk on kokkuvõte. Olemas on ingliskeelne kokkuvõte.

# Sissejuhatus

## Teema valiku põhjendus, aktuaalsus ja uudsus:

Inimtegevusel on tagajärjed merekeskkonnale, see muudab merekeskkonna seisundit. Näiteks veealune müra suureneb laevaliikluse suurenemisega, mis sõltub maailma majanduse olukorrast. Lõputöös on kasutatud Läänemere helipildi informatsiooni (Baltic Sea Information of the Acoustic Soundscape - BIAS) projekti andmeid. BIAS projekti eesmärk oli kaardistada veealuse helirõhu tasemeid Läänemeres. Helirõhku mõõdeti 37-s merepõhja paigutatud poijaamas ja mõõtmisandmeid kasutati modelleeritud helitaseme kaartide koostamiseks. Helitaseme kaardid on koostatud kolmel 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusel: 63 Hz, 125 Hz ja 2 kHz, ja kolmes kihis: üle veesamba integreeritud kiht, pinnakiht ja põhjakiht. Samuti on koostatud helitaseme kaartidest protsentiilid, helitaseme protsendilise ületamismäära vahemikus 5% - 95%, 2014. aasta iga kuu ja kogu aasta jaoks. Madalad protsentiilid (näiteks 10. protsentiil) on oluliselt seotud inimtekkelise veealuse heliga laevateede läheduses ja kõrgemad protsentiilid (näiteks 90. protsentiil) on seotud peamiselt loodusliku veealuse heliga.

Käesolevas lõputöös on kasutatud 2014. aasta veebruari ja juuni 10. protsentiili ja 90. protsentiili helitaseme kaarte, 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusel 125 Hz.

Inimtegevusega kaasnev laevamüra maailma meredes aastatega kasvab (Asariotis, 2011). Selle põhjustajaks peetakse laevaliikluse suurenemist, kuna laevade arv kasvab (Klauson, 2017). Veealune müra võib olla kahjulik mereelustikule (Southall, 2007), eeskätt liikidele, kes kasutavad heli kommunikatsiooniks jms.

Euroopa parlamendi ja nõukogu merestrateegia direktiivi (2008/56/EÜ) kohaselt peavad Euroopa liikmesriigid tagama, et energia keskkonda juhtimine, sealhulgas veealune müra, on tasemel, mis ei kahjusta merekeskkonda (Euroopa Parlamendi ja nõukogu 17. juuni 2008. aasta direktiiv 2008/56/EÜ).

## **Lõputöö eesmärk**

Lõputöö eesmärk on koostada ArcGIS tarkvara põhine Geoinfosüsteemi (GIS) töövahend BIAS andmete visualiseerimiseks ja analüüsiks.

Lõputöös analüüsitakse helirõhu tasemeid viies Eesti mereplaneerigu alas, millest 2 on Baltic Scope tuulikupargi alad ning 3 on Eesti 2030+ tuulepargi alad. Töös määratakse kuidas inimtekkeline ja looduslik helirõhu tase erinevad, nii suve kui ka talve tingimustes Liivi lahes. See on vajalik laevamüra prognoosi koostamiseks, et määrata liini- ja töölaevade mürapäevade arv Eestile majanduslikult olulistest merearenduspiirkondades.

# 1 Läänemere olukord

Kogu Eesti mereala pindala on kokku 36 261 km<sup>2</sup> (see on ligikaudu 10% Läänemere kogu pindalast), millest majandusvöönd moodustab ligikaudu ühe kolmandiku, pindalaga 11 311 km<sup>2</sup>. Eesti mereala rannajoone pikkus on ligikaudu 4015 km (koos laidude ja saartega). Suurim sügavus on 459 meetrit (Landsorti süvik), keskmine sügavus jääb ligikaudu 52 meetrini.

Läänemere basseinideks loetakse: Botnia lahte, Botnia merd, Soome lahte, Ava-Läänemeri, Liivi laht ja Gdanski laht. Liivi lahe suurus on ligikaudu 18 100 km<sup>2</sup> ning sügavaim koht on 66 meetrit, kuid keskmiselt jääb Liivi lahe sügavus 35 meetrini (EE, 12, 2003.).

Läänemeri on maailmamerest hästi eraldatud, sest sellel on Taani väinade kaudu Põhjamerega vaid üks ühendus. Seetõttu kulub Läänemere veemassi täielikuks vahetamiseks ligikaudu 30 aastat (Stigebrandt, 2001).

Liivi lahes on Eesti rannikumere kõige suuremad veetaseme kõikumised. Tugevad pidevad läänetuuled tõstavad ja idatuuled alandavad mere idaosa veetaset. Liivi lahe hoovused sõltuvad tuule suunast ja kiirusest ja on väga muutlikud. Nende kiirus on suurem väinades – keskmise tuulega väinade keskel 20–25 cm/s, tugevate tormide korral aga üle 100 cm/s. Ühe tugeva läänetormiga võib Liivi lahte tulla 7–10 km<sup>3</sup> vett, mis on umbes 2% lahe mahust (Eesti kalastuse entsüklopeedia, 2018).

Need tingimused annavad Läänemerele iseloomuliku riimveelised tingimused, kus mere pinnavee soolsus muutub järkjärguliselt 15–18 psu (praktilise soolsuse ühik) väinade juures, 7–8 psu Läänemere avaosas ja 0–2 psu kirdeosas.

Liivi lahes on jõevee rohke sissevoolu tõttu lahes vee soolsus 5–6 ‰, mis on väiksem kui avameres. Kevadise suurvee ajal langeb see Pärnu lahe sopis alla 1‰ (harilikult on see 4–5 ‰) (Eesti kalastuse entsüklopeedia, 2018).

Läänemeri on üks maailma suurim riimveelisi veekogusi. Seda asustavad nii mere- kui mageveeliigid, kuid madala soolsuse tõttu on liikide arv teiste meredega võrreldes väike. Selle põhjuseks on ka piiratud veevahetus ookeaniga. Kliimamuutusega seotud veetemperatuuri tõus ja soolsuse langus võib mõjutada liikide arvukust Läänemeres. Lisaks on Läänemere jaoks eriline mure halbade hapnikuoludega piirkondade lai ja kasvav jaotus mere sügavamas osas.

Läänemere tegevuskava keskkonaaeesmärgid on koostatud eutrofeerumise, ohtlike ainete, bioloogilise mitmekesisuse ja merendustegevuse kohta. Järgnevalt esitatakse lühitutvustused eutrofeerumise, ohtlike ainete, bioloogilise mitmekesisuse ja merendustegevuse kohta.

Eutrofeerumine toimub, kui peamiselt inimtegevuse tulemusel tekkinud üleliigsed toitained, enamasti lämmastik või fosfor, satuvad veekogusse. Toitainete kõrge kontsentratsioon tekitab intensiivset vetikate õitsemist, mis takistab heli levikut vees. Eutrofeerumine võib muuta bioloogilist mitmekesisust, näiteks vähendades kalavarusid, ning muutes ka ranniku olukorda.

Kui saasteained on kord juba jõudnud merre, siis on neid sealt kätte saada praktiliselt võimatu. Meres satuvad saasteained aga mereelustikku ja taimestikku, mis segab kalade ja meres elavete imatajate kommunikatsiooni. Kuivõrd saasteained merest kuhugi ei kao, siis aja jooksul nende hulk pidevalt kasvab. Meri on üks suur basseini, kuhu kõik kuhjub ja edasi ei liigu (Reisner, 2019).

Erinevate liikide arv Läänemeres on ookeaniga võrreldes tagasihoidlik. Soolsuse gradiendi ja elupaigatüüpide suure varieeruvuse tõttu sisaldab Läänemeri siiski suuremat bioloogilist mitmekesisust ning taimede ja loomade elurikkust, kui sellistes tingimustes võiks eeldada. Bioloogilise mitmekesisuse hea seisundi saavutamine on HELCOMi prioriteet, mida on kaasa aidanud 1992. aasta Helsingi konventsioon ja Läänemere tegevuskava. Paljud liigid on siiski endiselt ohus. Eeldatakse, et bioloogiline mitmekesisus näitab lähiaastatel paranemise märke, kuna alles hiljuti rakendatud meetmete mõju ilmneb.

Merendustegevuse eesmärgiks on kindlustada keskkonnale soodsad merealased tegevused Läänemeres. Selle alla käib: ohutu mereliiklus – ehk laevade kokkupõrke oht oleks võimalikult madal, minimaalne laevareostus ja saaste, mis võivad mõjutada bioloogilist mitmekesisust ja eutrofeerumist ning minimaliseerida võimalikud ohud avamere platformidelt, nendeks ohtudeks võib olla merereostus, mis mõjutab mereelustikku.



## 1.1 Merekeskkond

HELCOM (Helsingi komisjon, mis tegeleb Läänemere merekeskkonna jälgimisega) korraldab rahvusvahelist koostööd Läänemere keskkonnakaitse konventsiooni alusel Läänemere merekeskkonna kaitseks. Konventsiooni eesmärk on kaitsta Läänemere piirkonna merekeskkonda kõikide reostusallikate eest. Helsingi konventsioon hõlmab Läänemere kaitset kõigi maismaalt, õhust ja merest lähtuvate tegevuste põhjustatud saasteallikate eest. Samuti kohustatakse allakirjutanuid võtma meetmeid elupaikade ja bioloogilise mitmekesisuse säilitamiseks ning mereressursside säästva kasutamise tagamiseks. Konventsioonis olevad riigid on üheksa Läänemerega piirnevat riiki. HELCOM toimib ka ELi merestrateegia raamdirektiivi (MSFD) piirkondliku rakendamise koordineerimisplatvormina.

Selles hinnangus kasutatakse näitajaid, et mõõta Läänemere merekeskkonna seisundit valitud ja representatiivsete elementide põhjal. HELCOMi põhinäitajad hõlmavad nii bioloogilist mitmekesisust kui ka inimeste põhjustatud mõju Läänemere ökosüsteemile. Põhinäitajad valiti vastavalt põhimõtetele, sealhulgas ökoloogiline ja poliitiline olulisus, mõõdetavus seireandmetega ja seotus inimtekkeliste surveguritega (HELCOM 2013c). HELCOMi põhinäitajad hindavad täheldatud olekut piirkondlikult kokkulepitud läviväärtuse suhtes. Seega tulemused näitavad, kas iga põhinäitaja järgi on olukord hea või mitte.

Läänemere tegevuskava keskkonnaeesmärgid hõlmavad eutrofeerumist, ohtlike aineid, bioloogilist mitmekesisust ja merendustegevust. Need valdkonnad on omavahel tihedalt seotud. Eutrofeerumise veekogus põhjustab peamiselt inimtegevuse tulemusel tekkinud üleliigsed toitained, kui enamasti lämmastik või fosfor, satuvad veekogusse. Sellega kaasneb toitainete kõrge kontsentratsioon, mis võib põhjustada intensiivse vetikate õitsemise. Meres satuvad saasteained aga mereelustikku ja taimestikku. Kuna saasteained merest kuhugi ei kao, siis aja jooksul merekeskkond pidevalt saastub ohtlike ainetega. Eutrofeerumisest ja ohtlikest ainete sisaldusest sõltub oluliselt bioloogiline mitmekesisus meres. Merendustegevuse eesmärgiks on kindlustada keskkonnale soodsad merealased tegevused Läänemeres. Selle alla käib: ohutu mereliiklus – ehk laevade kokkupõrke oht oleks võimalikult madal, minimaalne laevareostus ja saaste, mis võivad mõjutada bioloogilist mitmekesisust ja eutrofeerumist ning minimaliseerida võimalikud ohud avamere platvormidelt, nendeks ohtudeks võib olla merereostus, mis mõjutab mereelustikku (HELCOM, 2018).

### Eutrofeerumine

#### Läänemeri eutrofeerumisest puutumata

- Puhas vesi
- Looduslik vetikate tase
- Taimede ja loomade looduslik levik
- Looduslik hapniku tase



### Ohtlikud ained

#### Läänemeri on ohtlike ainete poolt häirimata

- Loodusliku taseme lähedal olevate ohtlike ainete kontsentratsioonid
- Kõik kalad on ohutud, et neid süüa
- Tervislik elusloodus
- Radioaktiivsus enne Chernobyli

### Bioloogiline mitmekesisus

#### Läänemere bioloogilise mitmekesisuse soodne seisund

- Looduslikud mere- ja rannikumaastikud
- Õitsvad ja tasakaalustatud taime- ja loomakooslused
- Liikide eluvõimelised populatsioonid



### Merendustegevus

#### Keskkonnale soodsad merealased tegevused

- Rahvusvaheliste eeskirjade määrus - ebaseaduslikku tühjendust pole
- Ohutu mereliiklus ilma õnnetusteta
- Minimaalne laevareostus
- Minimaalne saaste
- Minimaalsed ohud avamere platvormidelt

Joonis 1. Läänemere tegevuskava keskkonnaeesmärgid (Allikas: HELCOM, 2018.)

Sadu aastaid tagasi oli kalapüük üks peamisi Läänemere äärsete riikide elatusallikaks. Laevandus oli ja on siiani vajalik, et korraldada inimeste ja kaupade vedu. Need tegevused on siiani olulised, kuid mida rohkem kaasaegne tehnoloogia areneb, seda rohkem erinevaid võimalusi tekib merealasil majanduslikel eesmärkidel kasutada.

Veealuse müra põhjuseks on võivad olla mereplaneeringutega kaasnevad tegevused, nagu näiteks maavarade kaevandamine; energia tootmine, nagu näiteks meretuuleparkide kasutamine taastuvenergia tootmiseks; kalandus, mis on näiteks seotud laevade kasutamisega; kalandus, mis on näiteks seotud skuutrite kasutamisega.



Joonis 2. Veealuse müra põhjused Läänemeres ja selle seos erinevate survetüüpidega (Allikas: HELCOM, 2018.)

## 1.2 Majandustegurid

Läänemerd mõjutavad mitmed majandustegurid, milleks on ehitus, meretransport, kalandus, mineraalide kaevandamine ja turism.

Kalapüük on kõige intensiivsem piirkondades, kus sihtliike on kõige rohkem; sügavuse ja merepõhja omadused määravad sobivad liivakaevandamise või tuuleparkide asukohad; ning laevaliinid tuleb kavandada seoses vahemaade ja ohutusega. Teatud tegevuste, näiteks vesiviljeluse, jaotamine on aga regulatsioonide ja kultuuriliste erinevuste tulemus. Mereala ruumilisel planeerimisel on esile kerkinud roll nende erinevate aspektide kasutamisel inimtegevuse juhtimiseks merel, samuti keskkonnale kahjulike mõjude leevendamiseks.

Läänemere ja selle rannikualade tegevused toovad majandusele tööhõivet ja majandusliku heaolu ning mõjutavad otseselt ka inimeste heaolu; pakkudes näiteks vabaaja veetmise võimalust.

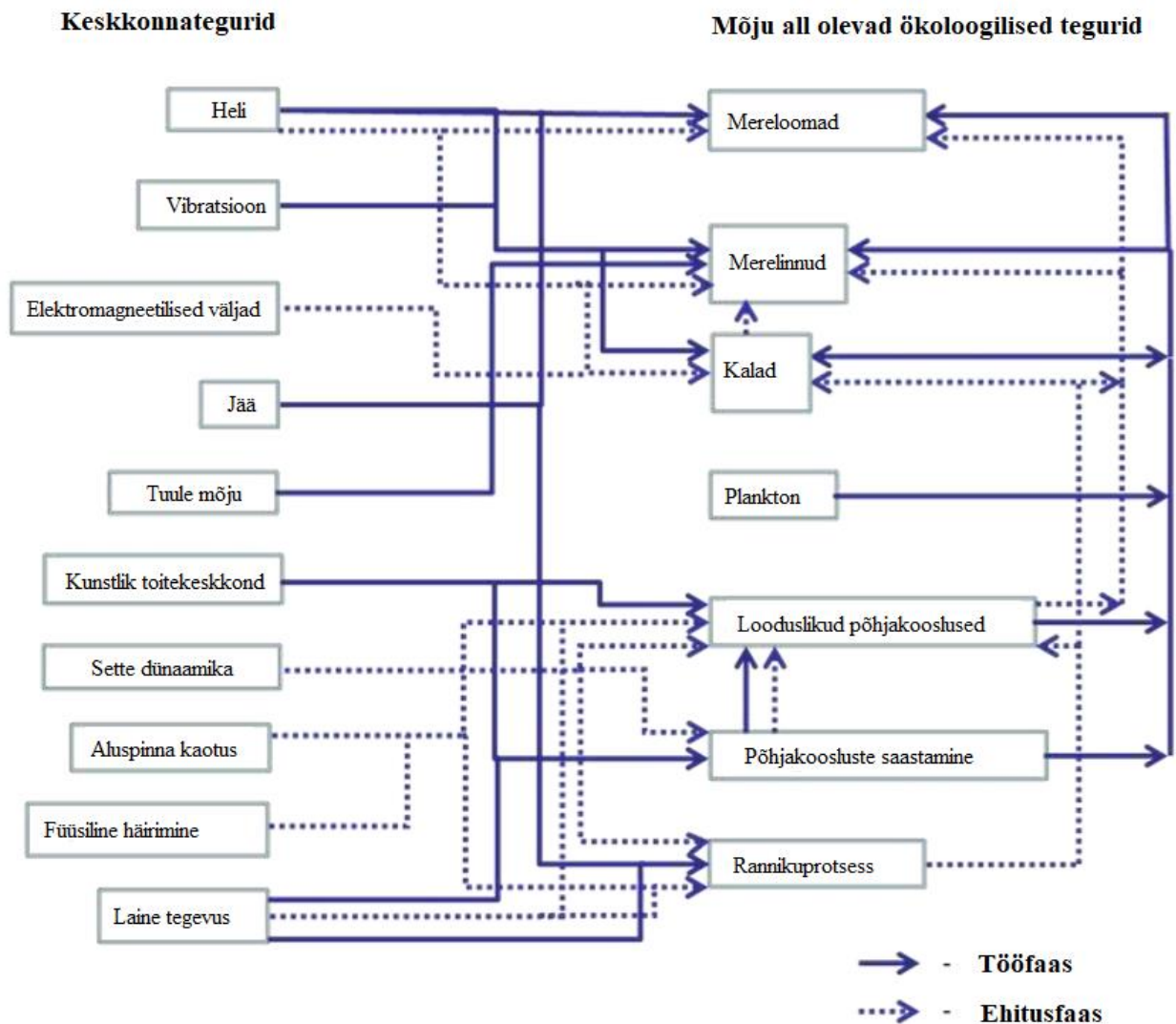
Esimene terviklik hinnang sisaldas Läänemere seisundi parandamise kulude ja tulude analüüsi tulemusi (HELCOM 2010a). See parendab meie arusaamist merekeskkonnast kui majanduslikust ressursist. Ühest küljest võetakse piirkondlikes majanduslikes ja sotsiaalsetes analüüsides arvesse merekeskkonna halvenemise korral saamata jäänud majandusliku kasu, kuid teisest küljest iseloomustavad need ka merekeskkonna kasutamisest tulenevat majandusliku kasu.

Mere- ja rannikualade vabaaja tegevus sõltub Läänemere keskkonnaseisundist. Nii on võimalik hinnata puhkemajanduse majanduslikku väärtust kui ka merekeskkonna halvenemisest tingitud puhkeväärtuste kadusid. Tulemused on saadaval hiljutises ulatuslikus uuringus Läänemere vaba aja veetmise kohta, mis hõlmab paljusid mereäärseid riike (Czajkowski jt, 2015.). Praeguste Läänemere puhkekülastuste väärtus tähistab tegevuse majanduslikku kasu. Need majanduslikud hinnangud põhinevad peamiselt reisikuludel ja tehtavate puhkekülastuste arvil. (HELCOM, 2018.)

### 1.2.1 Taastuveneriga tootmine

Avamere tuuleenergia on taastuvenergia tootmise alamsektor, milles toimub energia kogumine merealalt. See tähendab merealades asuvate tuuleparkide arendamist ja rajamist ning tuuleenergia muundamist elektrienergiaks, st kaabeldamist (EC 2013a). Meretuuleenergia tootmine on suhteliselt uus tööstusharu, millel nähakse märkimisväärset kasvupotentsiaali. Olemasolevate avamere tuulepargi arv ja võimsus näitavad hetkeolukorda, samas kui heakskiidetud või ehitamisel olevad avamere tuuleparkid illustreerivad edasist arengut. Lisaks neile on Läänemere jaoks kavandatud kümneid tuulepargi alasid.

Maailmas on olemas erinevat tüüpi tuuleparke: maismaapinnale- ja merekeskkonda rajatud. Tänapäevaste tuulikute keskmine eluiga maismaal on üle 20 aasta, meres 25-30 aastat (Hau, 2005). Oma eluea lõpetanud tuuliku taasuunendamise kulud ei ole aga märkimisväärselt suured, võttes arvesse toodetud energia kogust ning on üldkokkuvõttes kordades väiksemad võrreldes näiteks tuumajaamale sama aja jooksul tehtavate hoolduskuludega ja ohtlike jäätmete käitlusega. Meretuulikutega kaasnev veealune müra võib avaldada mereelustikule mõju terve eksploatatsiooniperioodi jooksul, mitte ainult ehitustegevuse järgus. Tuulepark koos selle komponentidega (vundamendid, kaitselemendid, vaiad) muudab teatud määral mitmesuguseid hüdroloogilisi parameetreid, mis võivad otseselt mõjutada meres elavate loomade elupaiga terviklikust: põhja tüüpi ja setteid, kohalikku voolurežiimi, jääolusi, vee hägusust ja kvaliteeti (Balti Keskkonnafoorum 2009). See tähendab merepõhja olulist muutmist. Elupaiga muudatused võivad häirida kalade, lindude ja imetajate populatsioonis muutunud elukeskkonna või söötmisskohtade kadumise tõttu. Seetõttu on maailmas hakatud rohkem kasutama teisaldatavaid tuulikuid, mida võib vajadusel laevadega transportida.

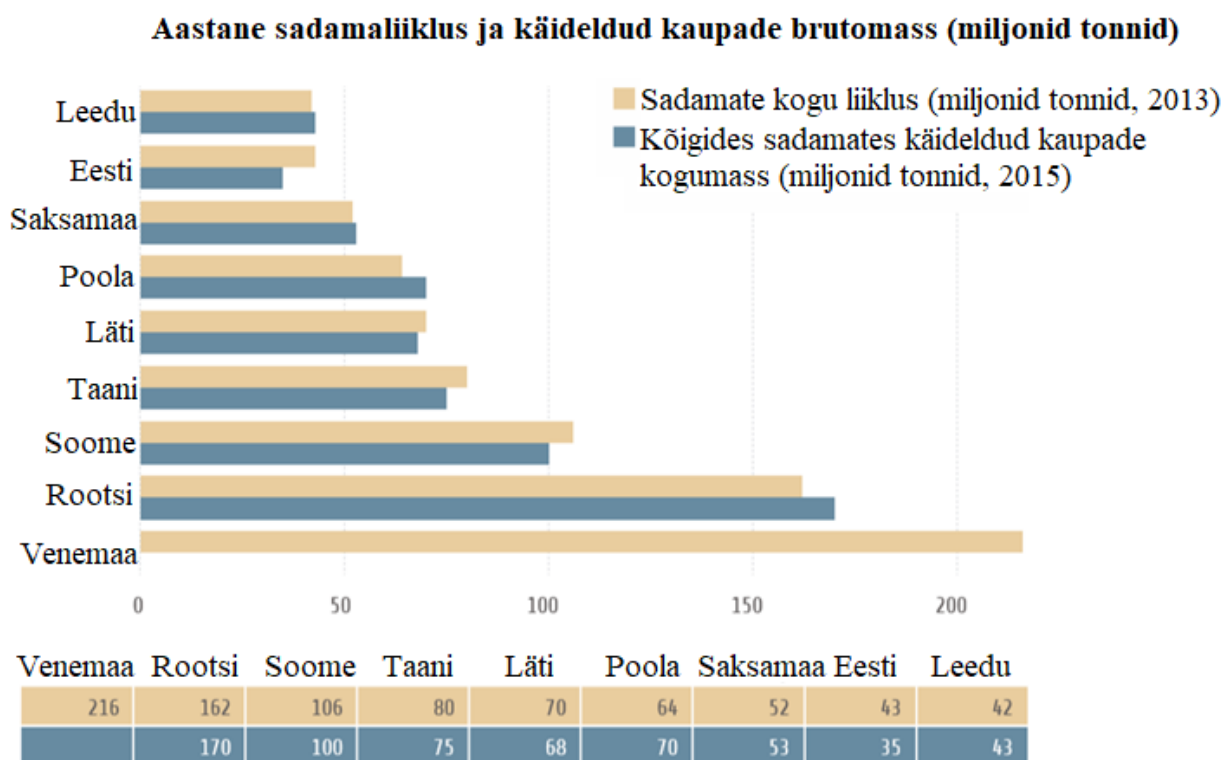


Joonis 3. Joonis illustreerib meretuulepargi käitamise ja ehitamisega seotud erinevate stressitegurite võimalikku mõju mereökosüsteemi erinevatele komponentidele (Redrawn Hiscockist, 2002.)

Joonise 3. vasakpoolses tulbas on välja toodud järgmised keskkonnategurid: heli, vibratsioon, elektromagneetilised väljad, jää, tuule mõju, kunstlik toitekeskkond, sette dünaamika, aluspinna kaotus füüsiline häirimine ja laine tegevus, mis võivad meremüra suurendada nii töö- kui ehitusetapis. Joonise 3. parempoolses tulbas, on mõju all olevad ökoloogilised tegurid: mereloomad, merelinnud, kalad, planktonid, looduslikud põhjakooslused, põhjakoosluste saastamine ja rannikuprotsess. Jooniselt 3. on selge, et mida suurem on keskkonnateguritega kaasnev surve, näiteks vali veelune heli merearenduse piirkonnas, seda rohkem häiritakse mereloomi.

## 1.2.2 Meretransport ja sellega seotud taristu

Meretranspordi võib jagada sadama taristuks ja laevanduseks, mis hõlmab nii reisijate- kui ka kaubavedu. Need kaks sektorit on omavahel tihedalt seotud, kuna laevanduses kasutatakse sadamate taristut. Transpordi taristu hõlmab sadamaid, aga ka sadamatega seotud tegevusi, näiteks süvendamist, lasti käitlemist ja muid ehitustegevusi. Meretranspordi taristu hõlmab samuti laevaehitust ja remonditööstust. Sadamate kogu liiklus ja sadamates käideldud kaupade kogumass näitab, kui palju kaupa veetakse laevade kaudu Läänemere rannikuriikide sadamatesse. Mida rohkem merekaupa veetakse, seda rohkem laevu on vaja. Kaubamassi suurenemisega kasvab ka laevade arv/suurus, mis tekitab suuremat laevamüra, mis võib kosta kaugemale merekeskkonnas, ka keskkonnatundlikele merealadele, nagu näiteks mereloomade elupaikadele.



Joonis 4. Aastane sadamate kogu liiklus ja kõigis sadamates käideldud kaupade brutomass (miljonid tonnid). Allikad: „Sadamate kogu liikluse” jaoks: Wahlström jt. (2014), „Kõigis sadamates käideldud kaupade brutomass”: Eurostat (2017b), välja arvatud Taani 2014. aasta andmed hõlmavad ainult HELCOMi piirkonda ja Saksamaa (Saksamaa föderaalne statistikaamet 2017a). Saksamaa arvnäitajad sisaldavad teavet Põhjamere kohta, kus domineerib Hamburgi sadam. Tühjad andmelahtrid näitavad puuduvat teavet.

### 1.2.3 Transport – laevandus

Vastavalt laevade automaatse tuvastamise süsteemi (AIS) HELCOMi andmetele toimub ligikaudu 25% Läänemere laevandusest mõnede Läänemere rannikuriigi lipu all. Siiski tuleb märkida, et Saksamaa ja Taani laevade statistilised numbrid on seotud mitte ainult Läänemerega, vaid kogu laevaliiklusega maailmamerele. Eurostati andmetel pole Venemaa kohta andmeid saadaval. Samuti ei avalikusta mitmed riigid statistilisi andmeid. See võib olla põhjusel kui andmed võimaldavad statistilisi üksusi tuvastada (EL 2009.); näiteks kui liikmeid on andmete anonüümsuse tagamiseks liiga vähe. Sel juhul on mõned riigid muutnud andmed konfidentsiaalseks, st siseriiklikuks kasutamiseks.

Läänemere riikide kaubavedude lisandväärtus on 5,1 miljardit eurot ja reisijatevedu 2,5 miljardit eurot. Mere- ja rannikuvedude veetranspordi lisandväärtuse osas on kõige suurem lisandväärtus Saksamaal - 4,1 miljardit eurot, kuid see hõlmab kogu merelaevandust ja pole Läänemere jaoks mõeldud. Suuruselt järgmine on Soome - 426 miljonit eurot. Lätis ja Leedus on madalaimad veetranspordi lisandväärtused. Mere- ja rannikuveetranspordi lisandväärtuse osas on numbrid ühtlasemalt jaotunud - suurima lisandväärtusega on Rootsi, järgnevad Soome ja Taani. Läänemere kaubaveoga seotud sektoris töötab ligikaudu 22 300 inimest. Näiteks 2011. aastal oli Läänemere hinnanguliselt 42 miljonit rahvusvahelist parvlaevareisijat. (HELCOM, 2015.)



## 2 Allveekustika

Heli on veealuses keskkonnas pidevalt olemas, seda tekitavad looduslikult tuul, lained, jää ja äikesetormid kuid ka mingil määral loomad. Inimtegevus põhjustab täiendavaid helisid, mille võib olla kahjulik mõju mereloomadele. Need on tavaliselt seotud merearenduspiirkondadega - näiteks veealuste ehitustöödega. HELCOM on välja töötanud veealuse heli seire programmid ja leppinud kokku, et veealune heli ei tohiks kahjustada Läänemere mereelustikku teatud määral.

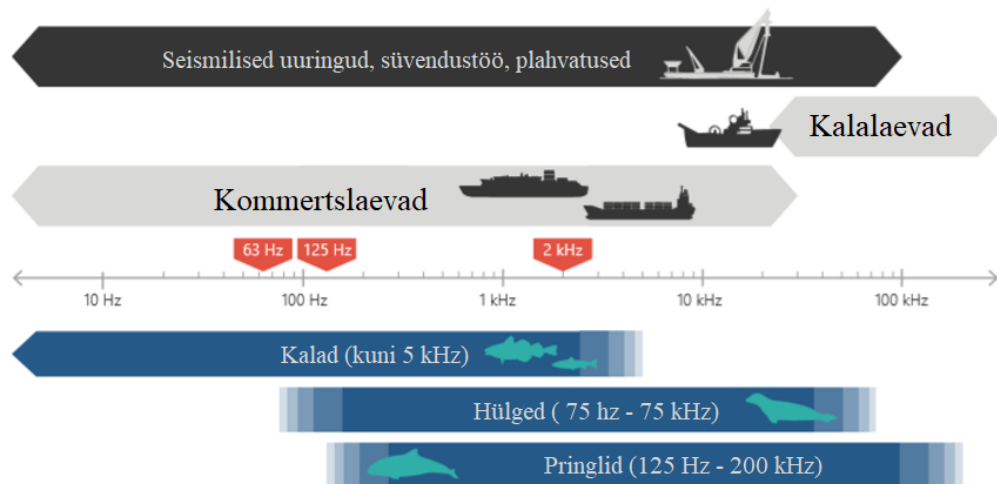
Seni võis kogu kogemuse võtta nt. Põhjamerre paigaldatud tuuleparkidest ja nende ekspertide teadmiste põhjal ekstrapoleeritud Läänemere tingimustele. Paljudel juhtudel võib tegelik mõju prognoositust mõnevõrra erineda, kuna puuduvad põhiteadmised asjakohaste protsesside kirjeldamiseks.

Kõiki tuuleparke teenindatakse iga tegevusaasta jooksul umbes kaks korda. Seetõttu võivad teenindusliikluse häiringud (müra, emissioon ja visuaalsed efektid) olla väga märkimisväärsed, võttes arvesse avamere tuuleparkide kasvavat arvu (Exo jt 2003., Thomsen jt 2006.).

Helilained levivad vees pikkade vahemaade taha ja nende mõju võib ilmneda allikatest kaugel ja üle riigipiiride. Eristatakse kaht heli kategooriat: pidevheli ja impulsheli. Pidevheli võib pika aja jooksul muutuv, aga see on koguaeg olemas. Pidevat heli võivad tekitada mitmesugused inimtegevused, näiteks laevaliiklus. Inimtekkeline veealune pidevheli võib häirida, ka maskeerida mereloomade kommunikatsiooni jms.

Implussheli iseloomustab lühike kestus ja kiire helirõhu muutus. Veealuste plahvatuse või sonarite signaalidega seotud heli on impulsheli esinduslikud näited. Vali impulsheli võib loomi eemale tõrjuda, ehmatades nad eemale olulistest söömis-, poegimis- ja muudest sotsiaalsetest tegevustest. Selle vältimiseks tuleb rakendada leevendusmeetmeid, mis vähendavad inimtekkelise veealuse heli mõju mereloomadele.

Kuna mereloomade kuulmisaparatuur on erinevalt tundlik akustilistele sagedustele, siis tajuvad loomad inimtekkelist müra erinevalt. Näiteks kuulevad kalad madalaid sagedusi paremini kui mereimetajad. Pringlid (väikesed hammasvaalalised) kuulevad kõrgemaid sagedusi paremini kui hülged. Laevandest tekkiv müra esineb sagedustel, mis kattuvad paljude liikide, sealhulgas kalade ja mereimetajate kuulmissagedustega. Mere hea keskkonnaseisund eeldab, et nii inimtekkelise pidev- kui ka impulshelirõhu tase ja levik ei tohiks kahjustada mereelustiku määrala, mis muudaks bioloogilist mitmekesisust nii liigisiselt kui ka liikide vahel. Seni ajani ei ole selliseid tasemeid täpsemalt Läänemere helitundlike loomaliikide jaoks veel mitmetel teaduslikel põhjustel määratletud.



Joonis 5. Inimtekkelise ja mereloomade sagedusvahemikud. Nii impulssmüra (must riba) kui ka pidevmüra (hallid ribad) sagedusvahemikus. Inimtekkelist müra tajuvad nii kalad, hülged kui ka pringlid. Punased nooled joonisel osutavad 1/3 oktaav sagedusribade kesksagedustele, mida jälgitakse BIAS-is. Scholik-Schlomer (2015) ja BIAS (2017).

Veealune helitase Läänemeres on suhteliselt kõrge, mille peamine põhjus on laevaliiklus. See on selge, sest suure pidevahelitasemega piirkonnad langevad peamiselt kokku suure laevaliikluse piirkondadega, nagu seda on laevateed. Läänemere piirkonnas on ligikaudu 400 meresadamat, millest 90 on rahvusvahelise tähtsusega. Läänemerd läbib aastas ligikaudu 66 000 laeva, Soome lahte aga ligikaudu 37 000 laeva (HELCOM, 2005). Vähemal määral on Läänemere inimtekkeline veealune heli seotud impulsshelidega. Aastatel 2011-2016 registreeriti kuni 1700 impulsshelisündmust (HELCOM, 2017). Enamik neist tuleneb plahvatustest. Pole hästi teada, kuidas veealune inimtekkeline impulsheli mõjutab mereliike.

## 2.1 Pidevmüra

Pidevat müra võivad tekitada mitmed inimtegevused. Peamiselt on veealune inimtekkeline müra Läänemeres seotud laevaliiklusega. Kohaliku tähtsusega veealuse heli keskkonda võivad mõjutada ka tuulepargid, mere aluspõhja süvendamine jms.



Joonis 6. Pildil on konterinerlaev, mis tekitab pidevat müra. (Allikas: [https://oevz.com/wp-content/uploads/2019/03/km\\_maersk-line-3\\_12.02.2018.jpg](https://oevz.com/wp-content/uploads/2019/03/km_maersk-line-3_12.02.2018.jpg))

Pidevmüra võivad tekitada ka erinevad looduslikud protsessid. Peamine looduslik veealuse pidevmüra tekitajaks on lained. Seetõttu tõuseb helirõhu tase meres tormide ajal.



Joonis 7. Pildil on lainetus, see tekitab looduslikku pidevat müra. (Allikas: [https://hdwallpaperim.com/wp-content/uploads/2017/08/25/466543-nature-landscape-clouds-lighthouse-storm-waves-sea-Ushant\\_Island-horizon.jpg](https://hdwallpaperim.com/wp-content/uploads/2017/08/25/466543-nature-landscape-clouds-lighthouse-storm-waves-sea-Ushant_Island-horizon.jpg))

Pidevat heli Läänemeres jälgiti 2014. aastal automatiseeritud hüdrofoniloojaid kasutavas terviklikus uuringus BIAS projekti abil, mille eesmärgiks oli pideva allveemüra (sealhulgas inimtekkelise müra) mõõtmise ja modelleerimise ning vastavate mürakaartide koostamine. Projekti käigus kogutud esmaste andmete põhjal on arvutatud statistilised karakteristikud, mida kasutatakse edaspidi kui Läänemere müratasemete baasjoont.

Mürakaardid annavad parema võimaluse hinnata laevaliikluse keskkonnamõjusid ja seeläbi võimaldavad vajadusel vähendada negatiivset mõju merekeskkonnale. Andmeid kasutati modelleeritud helitaseme kaartide koostamiseks. (HELCOM, 2018.)

Käesolevas töös on kasutatud BIAS 90. protsentiili helitaseme kaarte ja 10. protsentiili helitaseme kaarte. 90. protsentiili helitase näitab peamiselt looduslikku müra meres, mille üheks põhjustajaks on merepinna lained. 10. protsentiili helitase näitab veealust müra, mis võib olla põhjustatud inimtegevustega, näiteks laevateede lähedal on selleks laevamüra.

## 2.2 Implussmüra

Inimtegevusega kaasnev müra võib olla lühiajaline (nt impulssmüra, mis tuleneb plahvatustest, seismilistest uuringutest ja tuuleparkide konstruktsioonide paigaldamisest). Looduses võib esineda samuti implussmüra, selle üheks näiteks on välg merealal.



Joonis 8. Rahvusvahelise õppuse BALTOPS (Baltic Operations) raames õhatud süvaveepommi plahvatused. (Allikas:

[https://g1.nh.ee/images/pix/1000x654/0ALJCYNpPng/file31623653\\_83f9579c.jpg](https://g1.nh.ee/images/pix/1000x654/0ALJCYNpPng/file31623653_83f9579c.jpg))



Joonis 9. Loodusliku impulssmüra allikas, selleks on välg. (Allikas:

<https://images.immediate.co.uk/production/volatile/sites/4/2018/08/GettyImages-539641290-99733f4.jpg>)

Valju impulssmüraga seotud tegevuste, näiteks hüdroakustiliste mõõtmiste, veealuste plahvatuste ja vaiadega rammimine esinemist saab (alates 2015. aastast) registreerida piirkondlikus registris, mille on loonud HELCOM ja OSPAR ning mida haldab ICES (2018). Riigid on kokkuleppinud nende tegevuste registreerimises ja kuue riigi aruanded heli tekitava tegevuse kohta on seni olnud aastatel 2012–2016. Tulevikus annab register kvantitatiivse ülevaate tegevustest, mis aitab registreerida impulssmüra ja selle levikut Läänemeres. Registrist saadav teave toetab ka liikide võimaliku mõju hindamist ja otsuseid leevendusstrateegiate kohta, mida tuleb kohaldada impulssmüra tekitavate tegevuste läbiviimisel.

Impulssmüra iseloomustab lühike kestus ja kiire impulsi tõusuaeg. Impulssmüra võib põhjustada nii ajutist kui ka püsivat kuulmiskahjustust, või isegi hukku.

Riik	Plahvatused
Eesti	90 (2012)
	3 (2013)
	23 (2014)
	67 (2015)
	8 (2016)

Tabel 1. HELCOM-i riikide impulsiivsete sündmuste register Läänemerele. Väärtused näitavad aruandes esitatud iga-aastaste sündmuste arvu aastateks 2012-2016. Aruandlus piirdub sündmustega, mis vastavad eelnevalt määratletud survekategoriate kriteeriumidele ja praegu on see väljatöötamisel. Numbrid näitavad impulsiivsete sündmuste esinemist. (HELCOM, 2018.)

Puuduvad andmed, mis näitaksid, kuidas müratase on Läänemeres aja jooksul muutunud. Vaadates tulevikku, suureneb tõenäoliselt vähemalt osa inimtegevusest, mis võib tekitada veealust heli, näiteks avamere ehitustööd, energiapaigaldised ja laevandus, samuti süvendamine ja paadiga sõitmine. See sõltub oluliselt merendustegevuse tehnilisest arengust, on tõenäoline, et aja jooksul muutuvad nii helitase kui ka selle allikad. Selle kohta, kuidas mereloomad võivad inimeste põhjustatud veealusele mürale reageerida või neid mõjutada, on endiselt vähe teadmisi. Suure riskiga piirkondade, liikide ja aastaegade osas on ennetavate leevendusmeetmete võtmisel ja usaldusväärsete vähendamislahenduste rakendamisel ette nähtud oluline roll mõjude vähendamisel ja vähendamisel, samuti mereala ruumilisel planeerimisel. (HELCOM, 2018.)

## 2.3 Helirõhu tase

Heli koosneb reeglina erinevatest sagedustest. Helirõhutasemete jaotust mingis sagedusribas näitab helispekter või helivõimsuste spektraaltihedus. Helispekter näitab helirõhutasemete sõltuvust sagedusest väikse sageduse sammuga, 1 Hz. Kvalitatiivse hinnangu andmiseks sobib tihti suurem sageduse samm. Seetõttu jagatakse kogu helispekter suuremateks osadeks ehk sagedusribadeks. Akustikas on laialt levinud 1/3 oktaavriba laiuste sagedusribade kasutamine.

MSRD pakub pideva inimtekkiliste müratasemete indikaatorsagedusvahemikeks 1/3 oktaavriba kesksagedusi 63 Hz ja 125 Hz. Kuna mereimetajad on tundlikumad kõrgemate sageduste suhtes, siis BIAS projektis otsustati veealuse müra mõõtmistulemusi analüüsida täiendavalt ka 1/3 oktaavriba kesksagedusel 2 kHz.

Heli on elastses keskkonnas leviv laine. Heli leviku kiirus vees on ligikaudu 1,481 m/s, mis on ligikaudu 4 korda kiirem kui õhus, kus heli kiirus on ligikaudu 343 m/s. Helirõhu tase on leviva helirõhu efektiivväärtuse ja helirõhu lähteväärtuse suhte kahekümnekordne kümnendlogaritm:

$$L = 10 * \text{Log} \left( \frac{p}{p_0} \right)^2 ,$$

milles  $p_0 = 1$  mikroPa = 1  $\mu$ Pa helirõhu lähteväärtus vees. (Näiteks helirõhu lähteväärtus õhus on 20  $\mu$ Pa, helirõhu lähteväärtus õhus). Helirõhu mõõdetud keskväärtus on  $p$  (mõõtühikuga Pa) (Reinpuu, 2002).

Antud töös on kasutatud BIAS andmeid. Läänemere helipildi informatsiooni (Baltic Sea Information of the Acoustic Soundscape, akronüümiga BIAS) projekti eesmärk oli kaardistada veealuse helirõhu tasemeid Läänemeres. Helirõhku mõõdeti 37-s merepõhja poiijaamas ja mõõtmisandmeid kasutati modelleeritud helirõhu kaartide täpsustamiseks. Helitaseme kaardid on koostatud kolmel 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusel: 63 Hz, 125 Hz ja 2 kHz, ja kolmes kihis: veesamba integreeritud kiht, pinnakiht ja põhjakiht. Samuti on koostatud helirõhu kaartidest protsentiilid helitaseme ületamise määraga vahemikus 5% - 95% 2014. aasta iga kuu jaoks ja kogu aastale.

Käesolevas töös on kasutatud 10. protsentiilil ja 90. protsentiilil helitaseme kaarte, mis esindavad vastavalt hästi inimtekkelise ja loodusliku helirõhu taset teatud eeldustel. Ühe kalendrikuu 10. protsentiili helitaseme kaart näitab, et 10% sellest kuust (ligikaudu 3 päeva) on helitase kõrgem rasterkaardil näidatud väärtusest dB. Ühe kalendrikuu 90. protsentiili helitaseme kaart näitab, et 90% sellest kuust (ligikaudu 27 päeva) on helitase kõrgem rasterkaardil näidatud

väärtusest dB. Lähteülesande lahendamiseks on valitud 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedus 125 Hz, 2014. aasta veebruar ja juuni. Veebruar esindab aasta talvekuud ja juuni esindab aasta suvekuud.

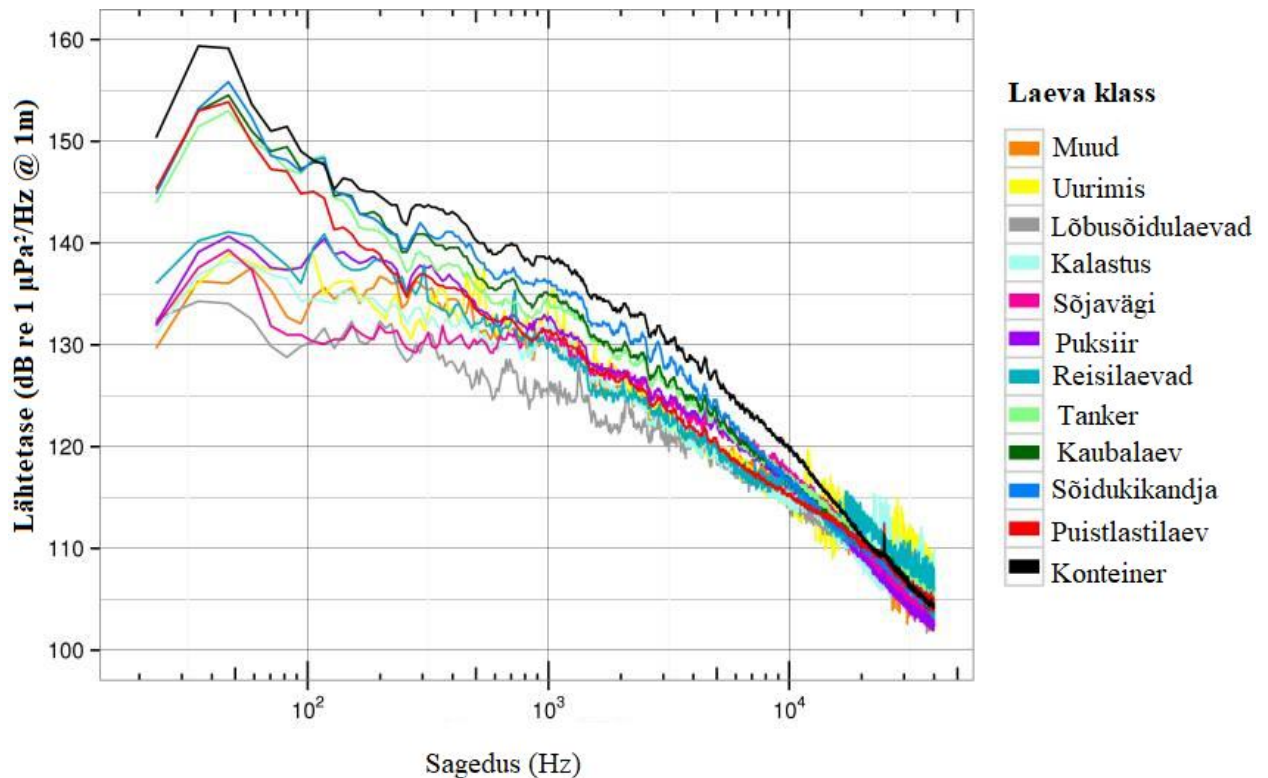
Heli intensiivsust (helirõhu lühiajaline keskvaartust) hinnatakse logaritmilise skaala järgi, detsibellides (dB), s.o. 1/10 bellides. Selline logaritmiline skaala, mille põhiliseks mõõtühikuks on bell, väljendab kahe intensiivsuse jagatist. Üheks on mõõdetava heli intensiivsus ning teiseks on võrdlusheli intensiivsus, on kokkuleppeliselt võetud puhta tooni kuuldelaive intensiivsus sagedusel 1000 Hz (Tael, 1961).

Helirõhu tase (dB) defineeritakse järgmise valemiga:

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

milles lähtetasemeks on valitud helirõhk 1 mikropaskalit ( $\mu\text{Pa}$ ). SPL on ruutkeskmise helirõhu tase (root-mean square SPL) mingis sagedusribas ja ajaaknas T. Standardi järgi (ISO/CD 18405): rms SPL näitab keskmist rõhku ajaperioodi T jooksul. (Käesolevas töös on see 1 kuu.)

*Näiteülesanne: Kuidas liita helitasemeid?*



Joonis 10. Erinevat tüüpi laevaklasside veealune müra (Allikas: PeerJ, 2016.)



Joonisel 10 on näidatud erinevate laevaklasside veealuse müra hinnangulised spektrid. Laeva allikamüra tase ( $SL_s$ ) (inglisekeeles *source level*) määratakse, kui laiaribaline müra 1 meetri kaugusel laevast. Laeva laiaribaline allikamüra tase määratakse valemiga:

$$SL_s = RL_{Mp} + TL_{Mp},$$

milles  $RL_{Mp}$  on laevamüra tase mõõtmispunktis ( $Mp$ ) (inglisekeeles *received level*) ja  $TL_{Mp}$  on mürataseme kadu mõõtmispunktini (inglisekeeles *transmission loss*) (Megan F. McKenna, 2011). Käesolevas töös kasutatakse laeva kaugmüra taset, mis on võetud võrdseks laevamüra tasemega mõõtmispunktis  $RL_{Mp}$ .

Sügavas meres määratakse veealune mürataseme kadu valemiga:

$$TL_{Mp} = 20 \log_{10}\left(\frac{r}{1 \text{ m}}\right),$$

milles  $r$  on keralaine raadius (Martin Gassmann, 2017).

Madalas meres määratakse veealune mürataseme kadu valemiga:

$$TL_{Mp} = 10 \log_{10}\left(\frac{r}{1 \text{ m}}\right),$$

milles  $r$  on silinderlaine raadius (Martin Gassmann, 2017).

Näiteks laiaribaline reisilaeva müra allikatase arvutatakse ligikaudse valemiga:

$$BSL = 10 \cdot \log_{10}\left(10^{\frac{132}{10}} + 10^{\frac{126}{10}} + 10^{\frac{109}{10}}\right) = 133 \text{ dB}.$$

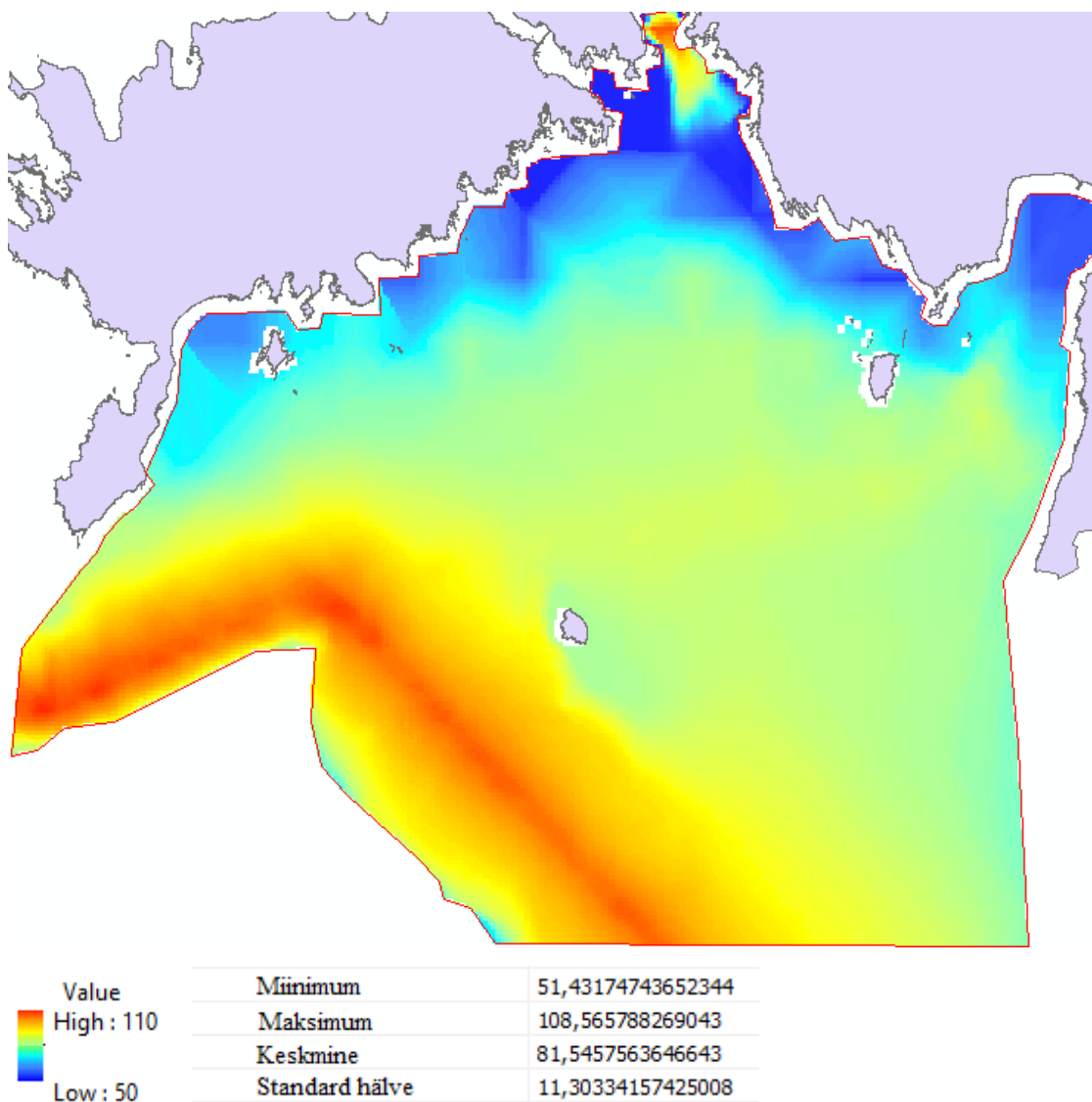
Reisilaeva laiaribaline allikamüra tase (inglisekeeles *broadband source level*) vastab hästi madalsagedusliku laevamüra tasemele. Seetõttu kasutatakse käesolevas töös 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusega 125 Hz helirõhu tasemeid laiaribalise allikamüra taseme hinnanguteks. Tuleb arvesse võtta, et laevamüra lähiväli kujuneb vibratsioonidest, mis on laeva ahtris, sõukruvis jms. Laevast kaugemal on tegemist kaugmüraga, mida saab hästi iseloomustada helirõhu tasemega.

### 3 Meremüra Liivi lahes

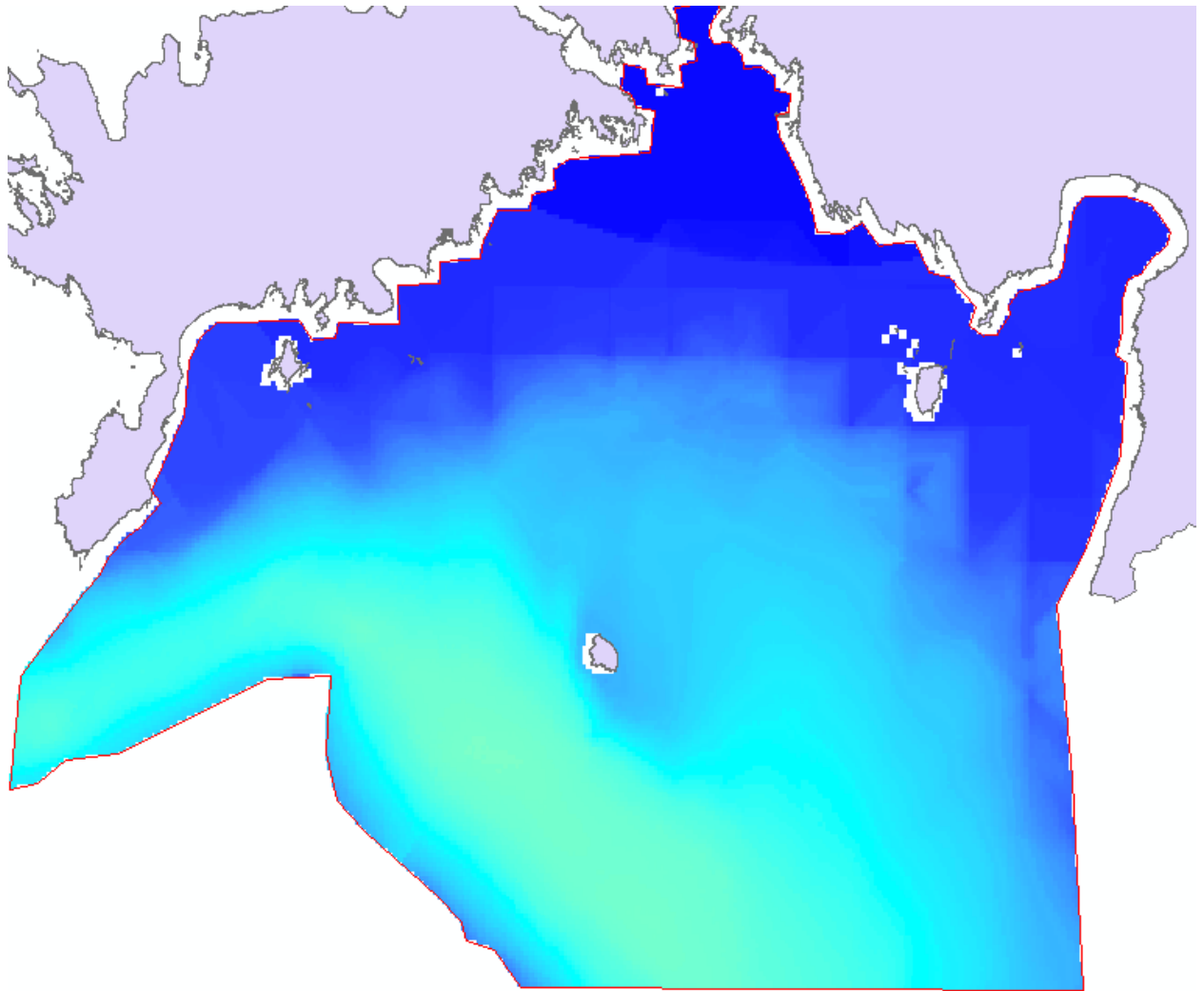
#### 3.1 Helitaseme kaardid

BIAS projekti helitaseme kaardid on koostatud kolmel 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusel: 63 Hz, 125 Hz ja 2 kHz, ja kolmes kihis: üle veesamba integreeritud kiht, pinnakiht ja põhjakiht. Samuti on koostatud helitaseme kaartidest protsentiilid, helitaseme protsendilise ületamismäära vahemikus 5% - 95% , 2014. aasta iga kuu ja kogu aasta jaoks.

Antud töös on kasutatud helirõhu kaarte 10. protsentiilil ja 90. protsentiilil, 1/3 oktaav sagedusribal kesksagedusel 125 Hz lähtudes 2014. aasta veebruari ja juuni kuu andmetest.

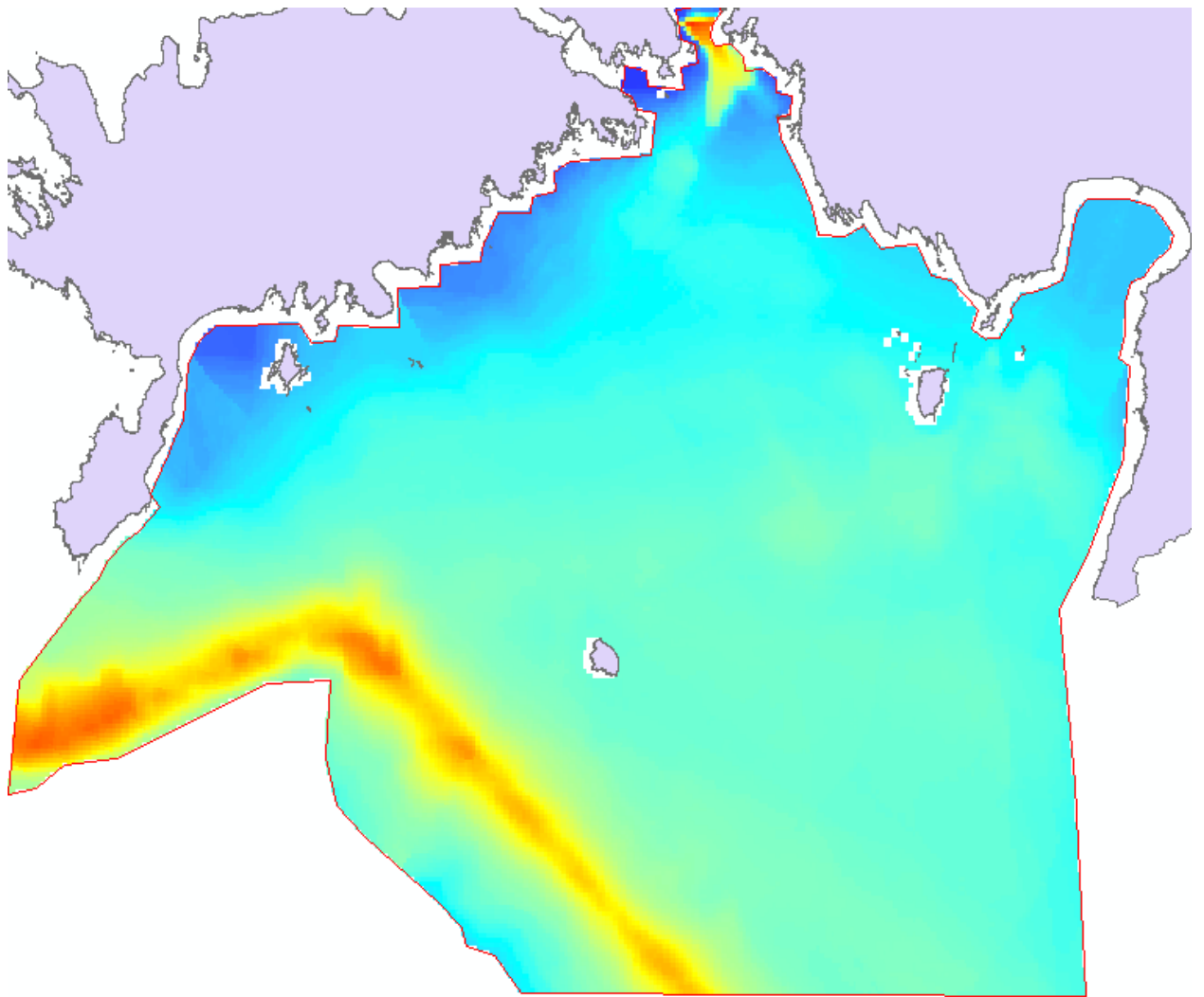


Joonis 11. Helitaseme 10. protsentiil 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusega 125 Hz, Liivi laht Veebruar 2014. Helitaseme statistilised suurused: miimum, maksimum, keskmine ja standard hälve.



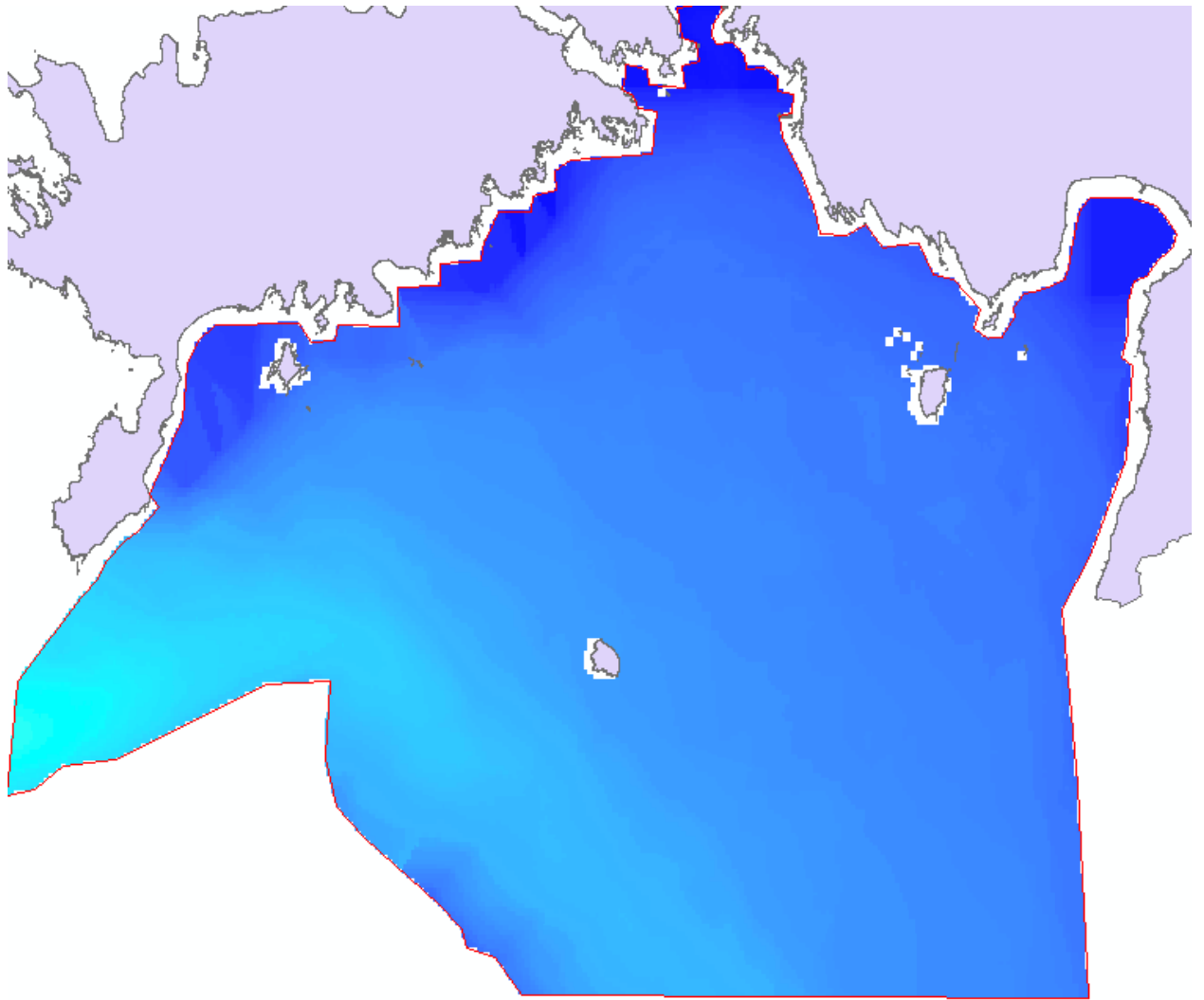
Value	Miinumum	49,83174514770508
High : 110	Maksimum	74,79719543457031
	Keskmine	63,08754168369028
Low : 50	Standard hälve	7,893304370276994

Joonis 12. Helitaseme 90. protsentiil 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusega 125 Hz, Liivi laht Veebruar 2014. Helitaseme statistilised suurused: miinumum, maksimum, keskmine ja standard hälve.



Value	Miinumum	53,49939727783203
High : 110	Maksimum	108,0319976806641
Low : 50	Keskmine	74,26321886667523
	Standard hälve	6,908644744930725

Joonis 13. Helitaseme 10. protsentiil 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusega 125 Hz, Liivi laht Juuni 2014. Helitaseme statistilised suurused: miinumum, maksimum, keskmine ja standard hälve.

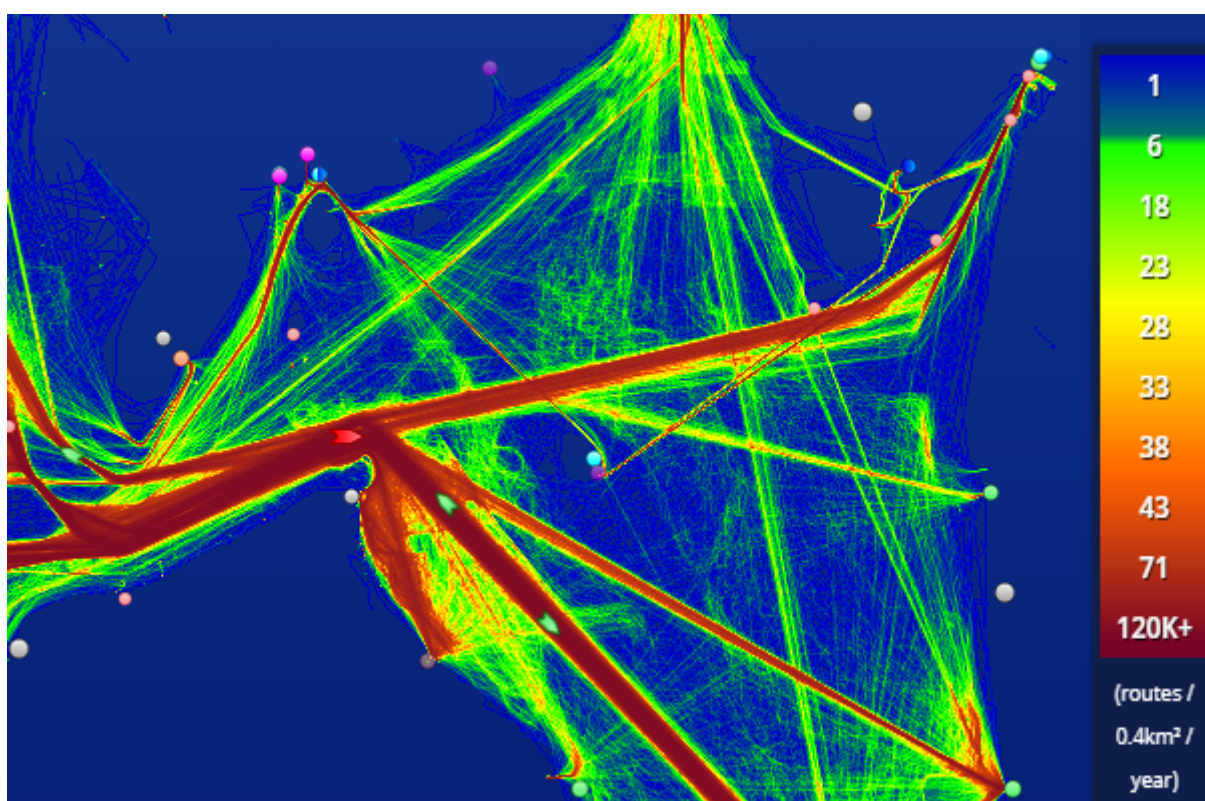


Value	Miinumum	50,23701095581055
High : 110	Maksimum	70,55750274658203
	Keskmine	60,77156317022311
Low : 50	Standard hälve	3,415282523738186

Joonis 14. Helitaseme 90. protsentiil 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusega 125 Hz, Liivi laht Juuni 2014. Helitaseme statistilised suurused: miinumum, maksimum, keskmine ja standard hälve.

## 3.2 Laevaliikluse andmed

MarineTraffic on kõigile kättesaadav veebileht, mis pakub reaalajas teavet laevade liikumise ja laevade hetkelise asukoha kohta. Laevade kohta käiva teabe andmebaas sisaldab näiteks üksikasju nende ehitamise kohta ja laeva mõõtmete kohta. Andmeid kogutakse enam kui 18 000 AIS-ga varustatud laevast, mis on pärit enam kui 140 riigist. Peamisteks laevadeks on reisilaevad. AIS pakub teavet, unikaalse identifitseerimise, asukoha, käigu ja kiiruse kohta. See kantakse Marinetrafficu põhiservertesse sealt veebisaiti reaalajas info kuvamiseks. Veebirakendus kasutab aluskaardina Google Mapsi. (MarineTraffic Tracks Marine Vessels with Google Maps)

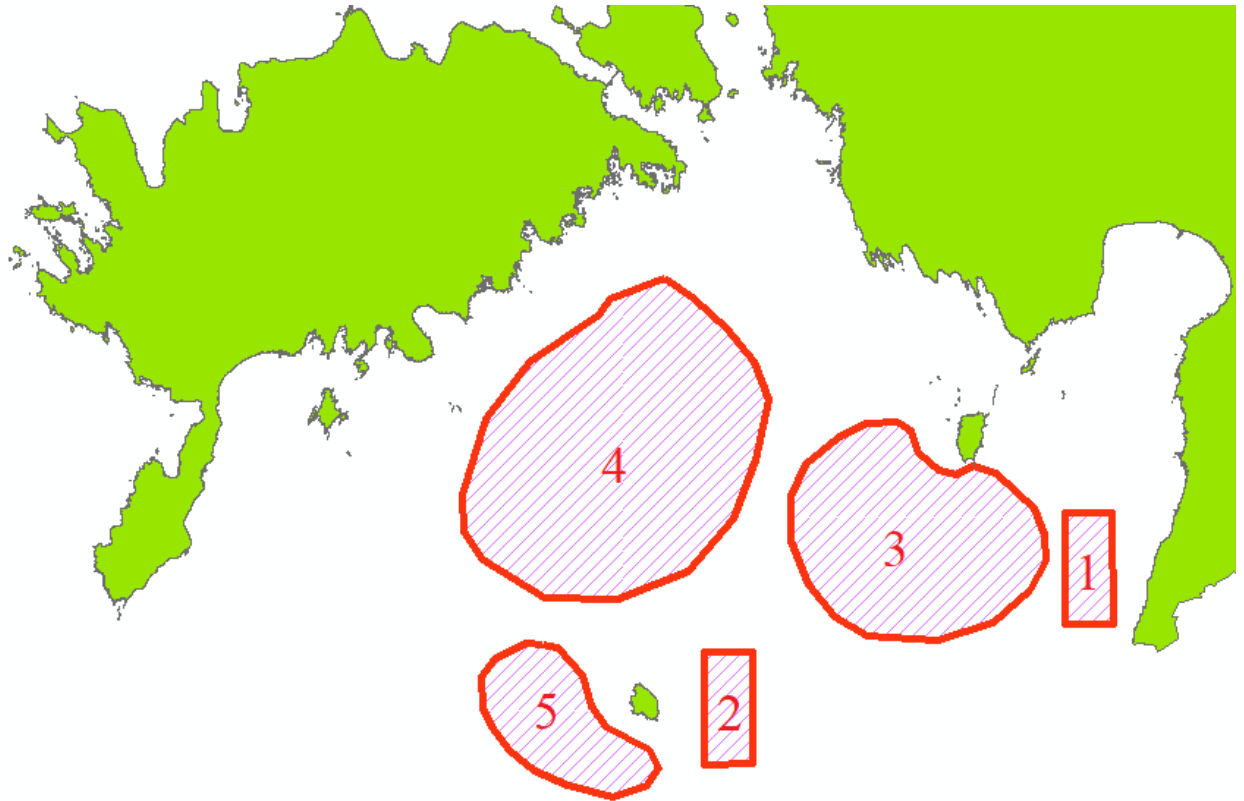


Joonis 15. Laevateed ja aastane laeva koguarv Liivi lahes, (Allikas: Marine Traffic, 2017)

Tuuleparkide rajamisel lisandub merele ka laevade arv antud piirkondades. Käesolevas lõputöös on välja toodud tuuleparkide rajamisega kasvab laevade arv piirkondades 8 võrra. Nende laevade hulgas on: kaablipaigaldus alus, mille juures on vähemalt 2 puksiir laeva, 1 meeskonna vahetus laev, 1 hüdrograafia mõõdistuslaev, 1 meregeoloogia laev, 1 tuulepargi alajaama laev, et tagada ohutus selles piirkonnas, 1-2 tuulepargi platoon ja tuulikute kohaletoomis laeva. Ehk vähemalt 8 laeva lisanduks juurde, mis on tuuleparkide rajamisega seotud laevade arv, mille töötundide arv 1 kuu jooksul on 10 päeva.

### 3.3 Merearenduspiirkonnad

Lõputöös on uuritud helitaseme muudatusi viies mereala planeeringu piirkonnas Liivi lahes, mis koosnevad 3st Eesti merealplaneeringu alast aastaks 2030+ ning 2st Baltic Scope alast.



Joonis 16. Kaardil on planeeritavad tuuleparkide asukohtade alad Liivi lahes 1-5 :

1: Baltic Scope ala 1

2: Baltic Scope ala 2

3: Eesti Merealplaneering aastaks 2030+ ala 1

4: Eesti Merealplaneering aastaks 2030+ ala 2

5: Eesti Merealplaneering aastaks 2030+ ala 3

### **3.4 Helitasemete analüüs**

#### **Pan Baltic Scope**

Rahvusvaheline projekt „Pan Baltic Scope“ edendas riikidevahelist koostööd mereala ruumilisel planeerimisel. Eesmärk oli toetada mereala planeerimist selliselt, et käsitlused omavahel võrreldavad oleksid. Piltlikult öeldes, et laevatee, mis kulgeb Eesti merealalt Läti poole, piiril ära ei kaoks. Samuti aitas projekt kaasa olemasolevate praktikate vahetamisel – nt kuidas hinnata keskkonna- ja majandustegureid.

Mereala planeerimine pole pelgalt siseriiklik küsimus, kuna Läänemere ühes osas toimuvad arengud mõjutavad lõpuks ka selle teisi piirkondi. Sarnaselt Eestiga peavad ka teised Läänemere riigid oma merealad ära planeerima. Projekti tulemusena arendati edasi mereala majandusliku kasu ja kumulatiivsete mõjude hindamise mudelit, töötati välja põhimõtted rohelse infrastruktuuri käsitlemisel Läänemerel, leiti paremad võimalused inimtegevuse kumulatiivsete mõjude hindamiseks ja käsitleti mere ning ranniku funktsionaalseid seoseid. Lisaks võimaldas projekt mereala planeerivatel riikidel omavahel kokku saada ja piiriülesed küsimused detailselt läbi arutada.

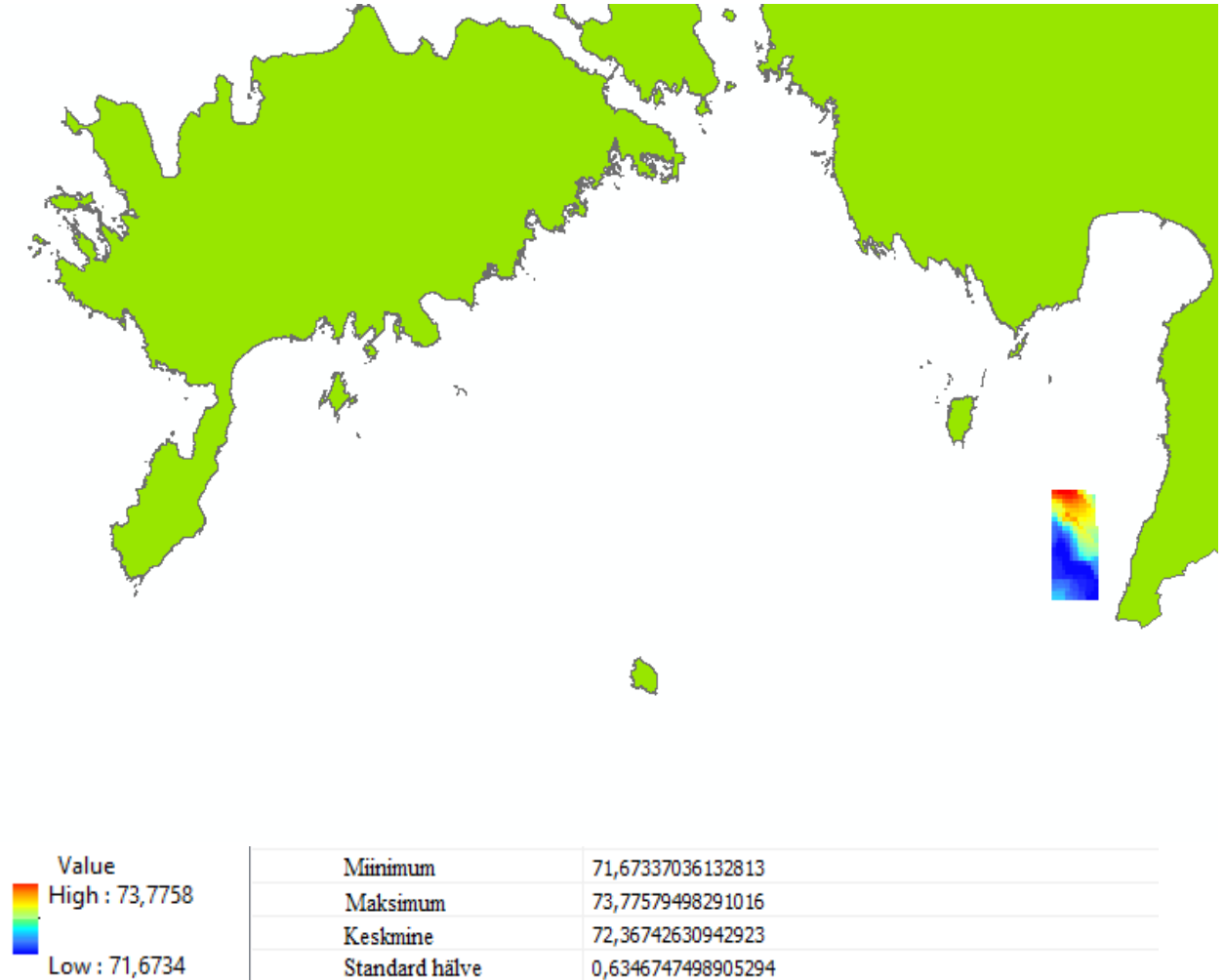
2014. aasta juulis vastu võetud Euroopa Liidu direktiiv näeb ette, et 2021. aastaks peab kõigil liikmesriikidel olema oma mereala planeering, mis piltlikult öeldes määratleb ära, kuidas kalurid, suvitajad, tuuleparkide arendajad, kaubalaevad jt saaksid üksteist ning keskkonda arvestades merealal tegutseda.

EL direktiivi täitmiseks algatas Eesti Vabariigi Valitsus 25.05.2017 üleriigilise planeeringu teemaplaneeringu kogu Eesti mereala, st sisemere, territoriaalmere ja majandusvööndi planeerimiseks ja planeeringu mõjude hindamiseks (Rahandusministeerium, 2017).



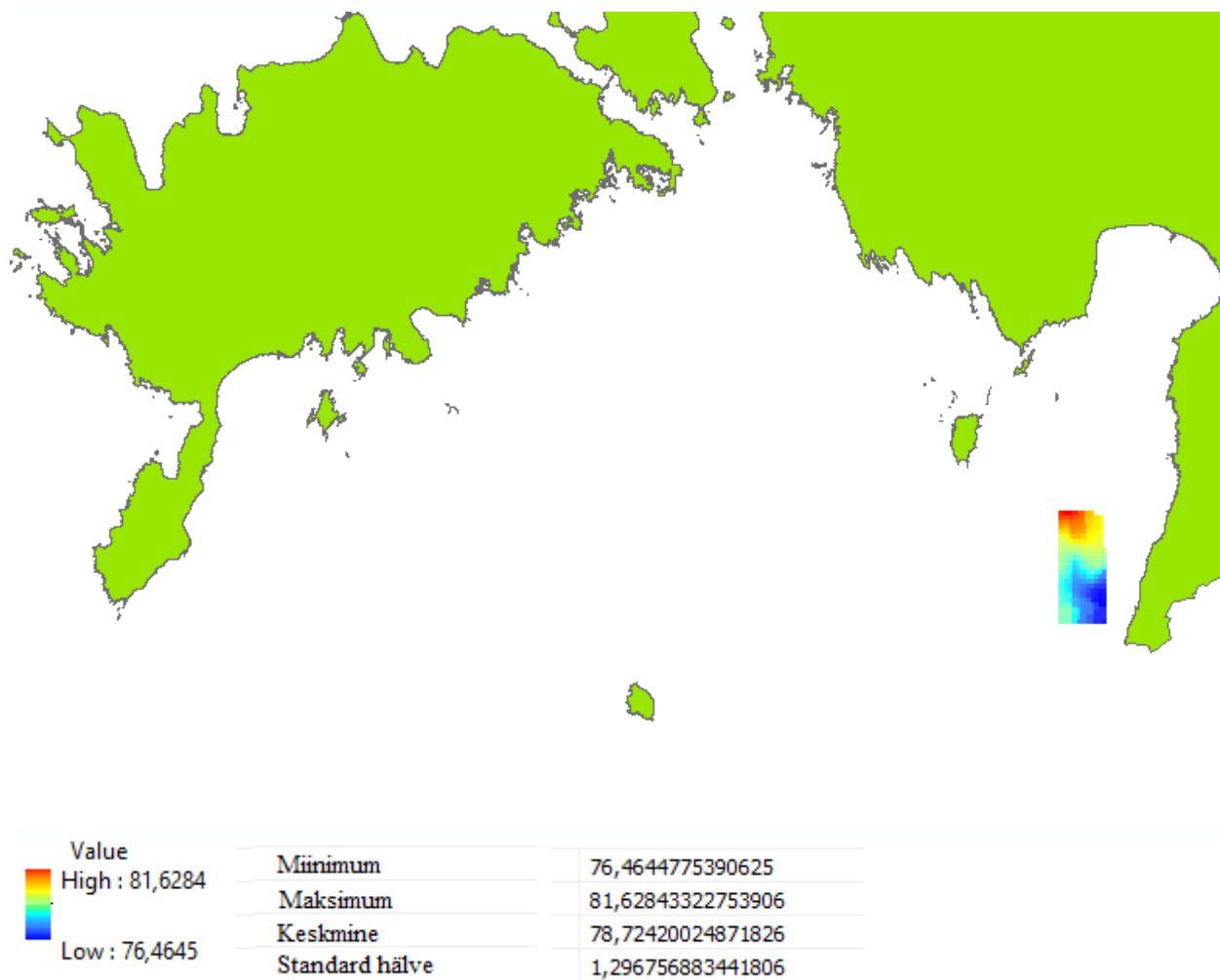
## Baltic Scope 1 ala

Baltic Scope 1 ala suurus on 101.2 km<sup>2</sup> / 18 100 km<sup>2</sup>.



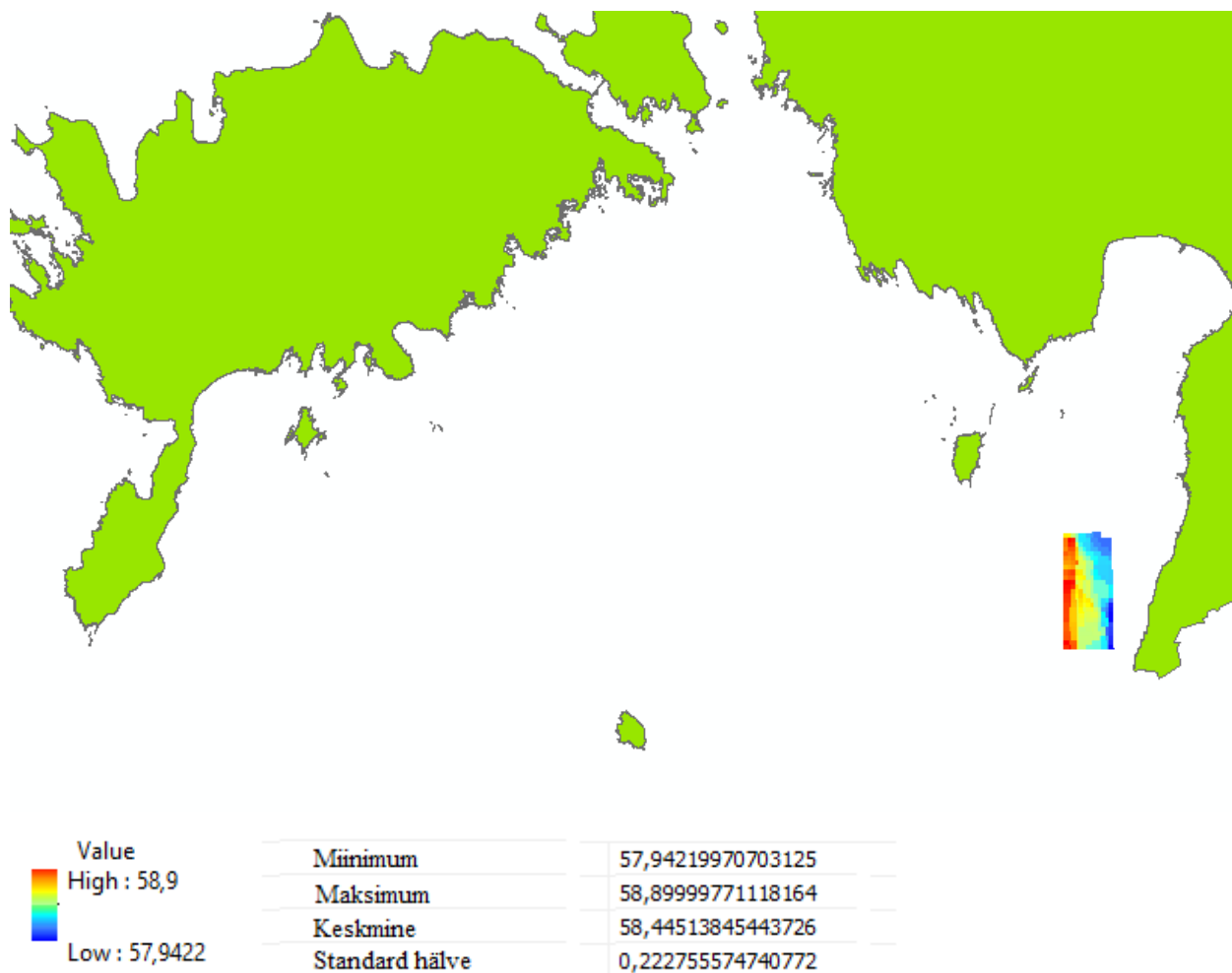
Joonis 17: Helitaseme 10. protsentiil 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusega 125 Hz, Baltic Scope ala 1, Juuni 2014. Helitaseme statistilised suurused: miinumum, maksimum, keskmine ja standard hälve.

Baltic Scope 1 ala suurus on 101.2 km<sup>2</sup> / 18 100 km<sup>2</sup>.



Joonis 18. Helitaseme 10. protsentil 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusega 125 Hz, Baltic Scope ala 1, Veebruar 2014. Helitaseme statistilised suurused: miinumum, maksimum, keskmine ja standard hälve.

Baltic Scope 1 ala suurus on 101.2 km<sup>2</sup> / 18 100 km<sup>2</sup>.



Joonis 19. Helitaseme 90. protsentiil 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusega 125 Hz, Baltic Scope ala 1, Juuni 2014. Helitaseme statistilised suurused: miinumum, maksimum, keskmine ja standard hälve.

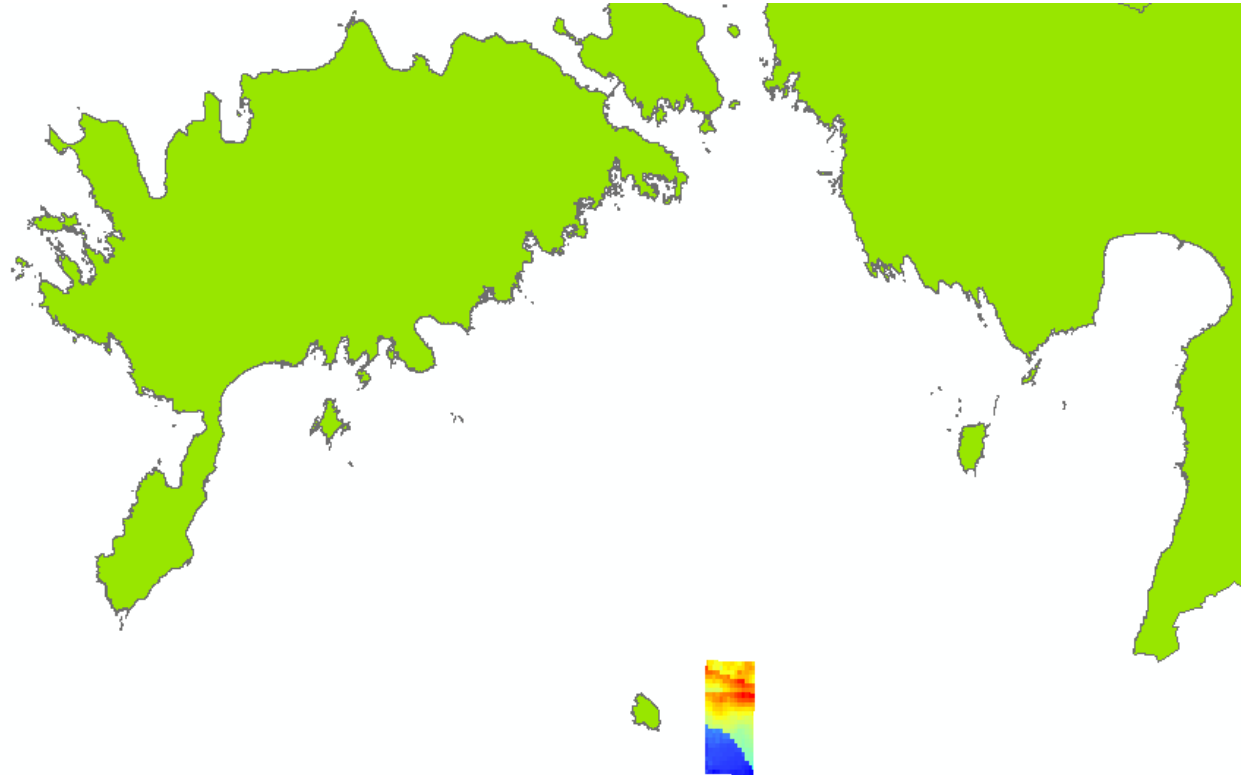
Baltic Scope 1 ala suurus on 101.2 km<sup>2</sup> / 18 100 km<sup>2</sup>.



Joonis 20. Helitaseme 90. protsentiil 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusega 125 Hz, Baltic Scope ala 1, Veebruar 2014. Helitaseme statistilised suurused: miinumum, maksimum, keskmine ja standard hälve.

## Baltic Scope 2 ala

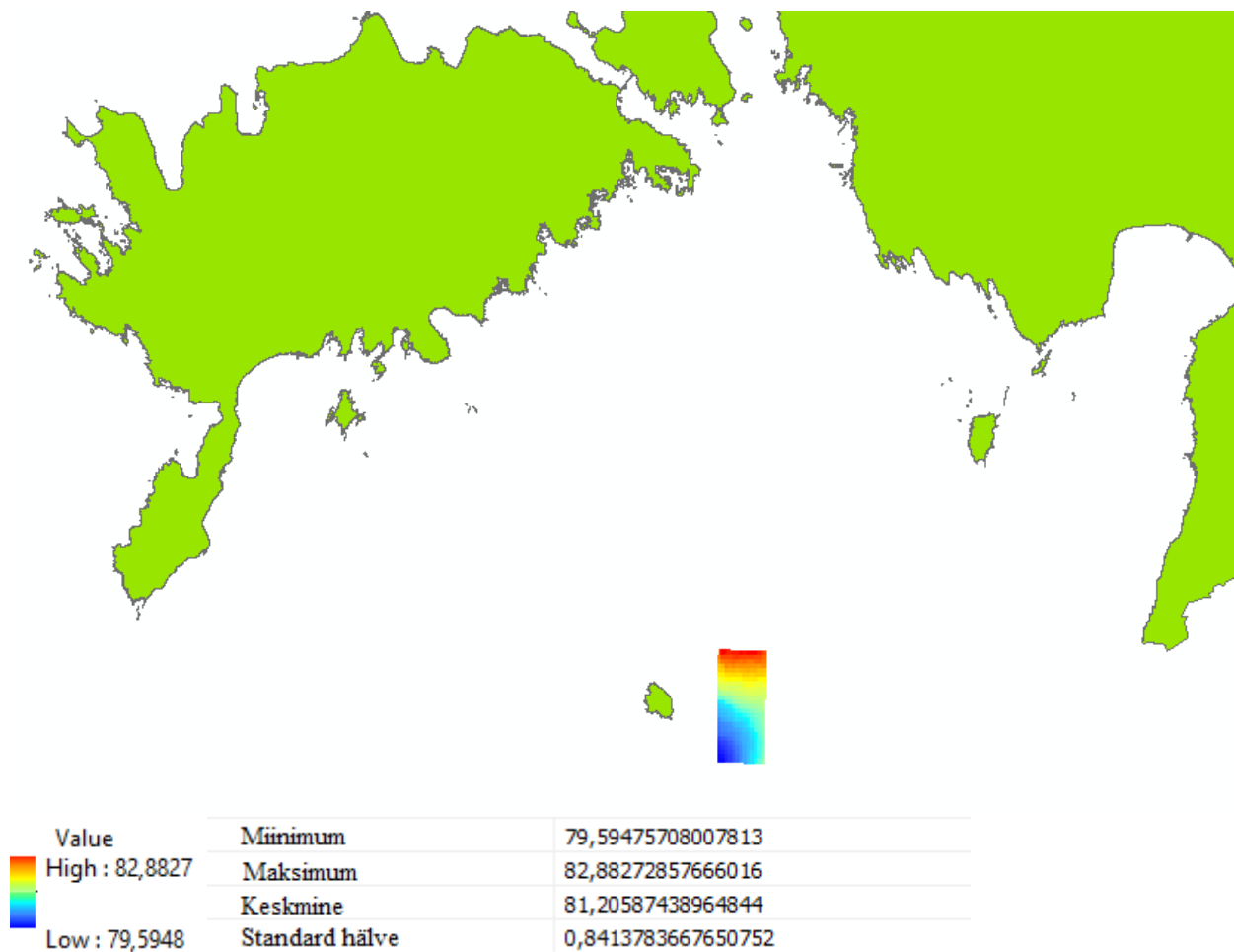
Baltic Scope 2 ala suurus on 102.8 km<sup>2</sup> / 18 100 km<sup>2</sup>.



Value	Miinumum	73,66717529296875
High : 74,5437	Maksimum	74,54371643066406
Low : 73,6672	Keskmine	74,12782078552246
	Standard hälve	0,24891606749178

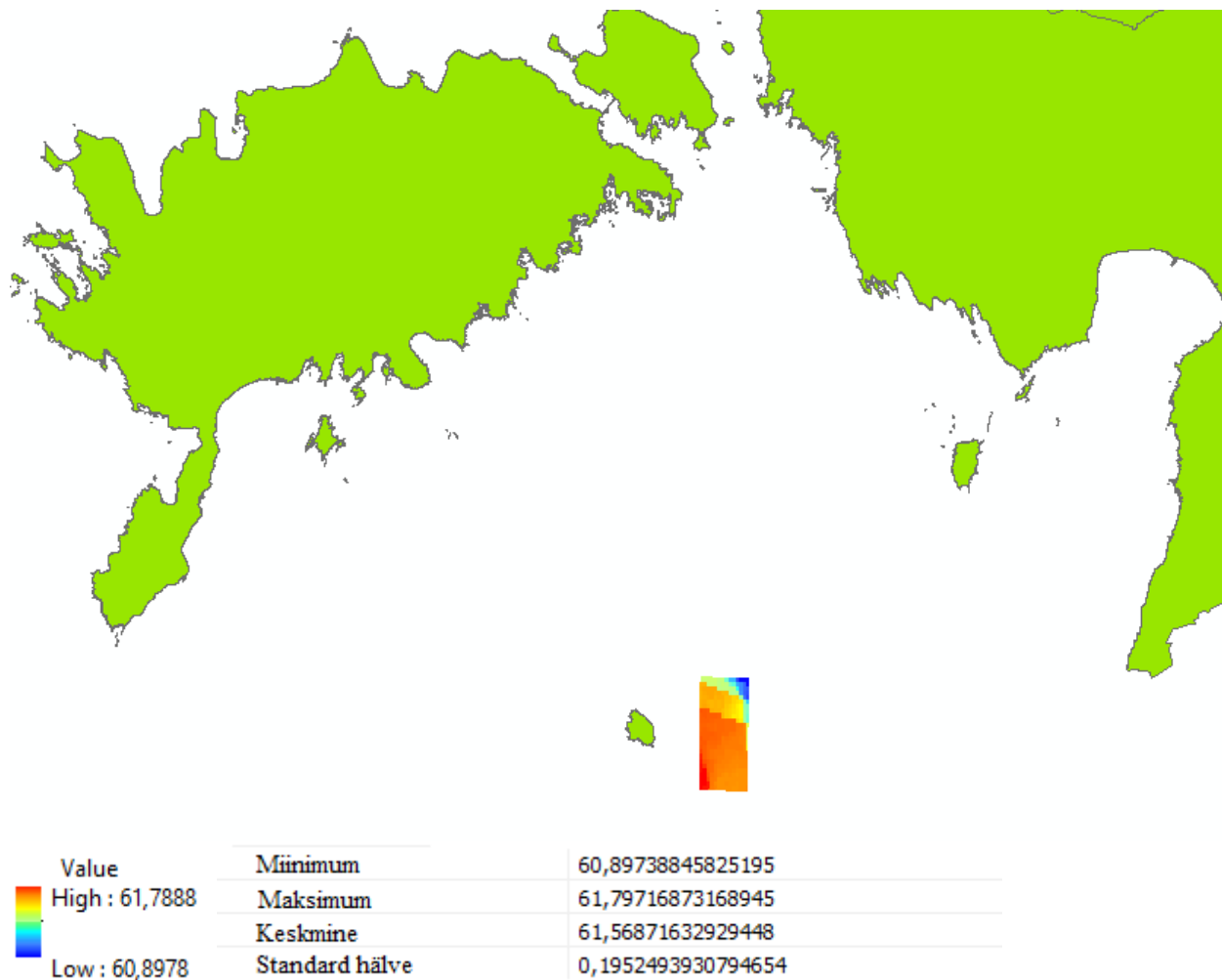
Joonis 21. Helitaseme 10. protsentiil 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusega 125 Hz, Baltic Scope ala 2, Juuni 2014. Helitaseme statistilised suurused: miinumum, maksimum, keskmine ja standard hälve.

Baltic Scope 2 ala suurus on 102.8 km<sup>2</sup> / 18 100 km<sup>2</sup>.



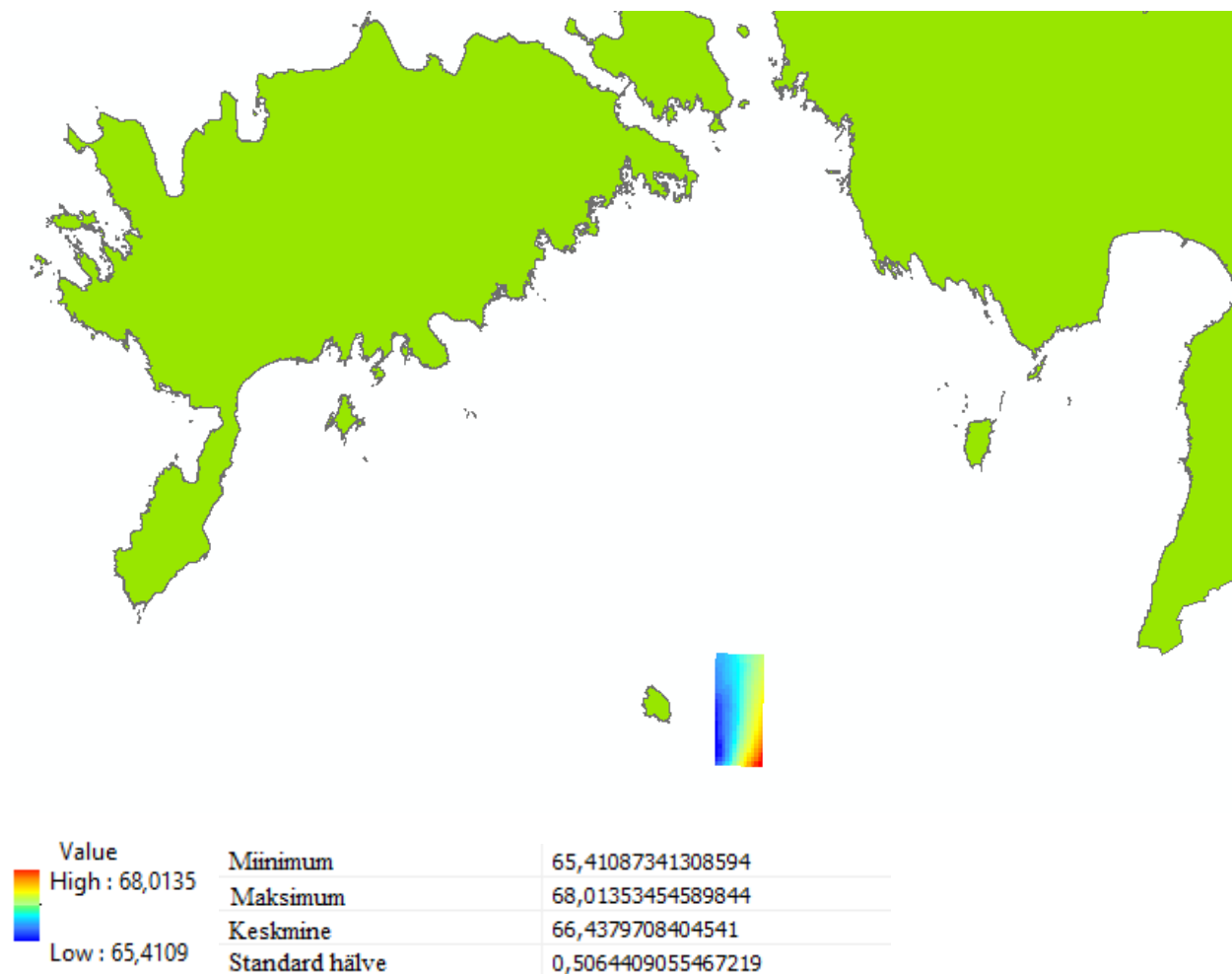
Joonis 22. Helitaseme 10. protsentiil 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusega 125 Hz, Baltic Scope ala 2, Veebruar 2014. Helitaseme statistilised suurused: miinumum, maksimum, keskmine ja standard hälve.

Baltic Scope 2 ala suurus on 102.8 km<sup>2</sup> / 18 100 km<sup>2</sup>.



Joonis 23. Helitaseme 90. protsentiil 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusega 125 Hz, Baltic Scope ala 2, Juuni 2014. Helitaseme statistilised suurused: miinumum, maksimum, keskmine ja standard hälve.

Baltic Scope 2 ala suurus on 102.8 km<sup>2</sup> / 18 100 km<sup>2</sup>.



Joonis 24. Helitaseme 90. protsentiil 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusega 125 Hz, Baltic Scope ala 2, Veebruar 2014. Helitaseme statistilised suurused: miimum, maksimum, keskmine ja standard hälve.



## Kokkuvõte Pan Baltic alade kohta

Pan Baltic Scope:	
Ala 1	Ala 2
10. protsentiil (Inimtekkeline müra)	10. protsentiil (Inimtekkeline müra)
71,6 - 73,7 (dB) Suvel	73,6 - 74,5 (dB) Suvel
76,6 - 81,6 (dB) Talvel	79,6 - 82,9 (dB) Talvel
90. protsentiil (Looduslik müra)	90. protsentiil (Looduslik müra)
57,9 - 58,9 (dB) Suvel	60,9 - 61,8 (dB) Suvel
52,3 - 56,7 (dB) Talvel	65,4 - 68,1 (dB) Talvel

Tabel 2. Inimtekkelise ja loodusliku helitaseme miinimum ja maksimum vastavalt Baltic Scope ala 1 ja 2, suvel ja talvel.

**Baltic Scope alal 1:** Inimtekkeline helitase on suvel alates 71,6 dB kuni 73,7 dB. Talve perioodil kasvab müratase keskelt läbi 6,45 dB võrra ehk 76,6 dB kuni 81,6 dB.

Looduslik müra on suvel alates 57,9 dB kuni 58,9 dB. Talve perioodil langeb müratase keskelt läbi 3,9 dB võrra ehk 52,3 dB kuni 56,7 dB.

**Baltic Scope alal 2:** Inimtekkeline helitase on suvel alates 73,6 dB kuni 74,5 dB. Talve perioodil kasvab müratase keskelt läbi 7,2 dB võrra ehk 79,6 dB kuni 82,9 dB.

Looduslik müra on suvel alates 60,9 dB kuni 61,8 dB. Talve perioodil tõuseb müratase keskelt läbi 5,4 dB võrra ehk 65,4 dB kuni 68,1 dB.

## Eesti 2030+ tuulikupargid

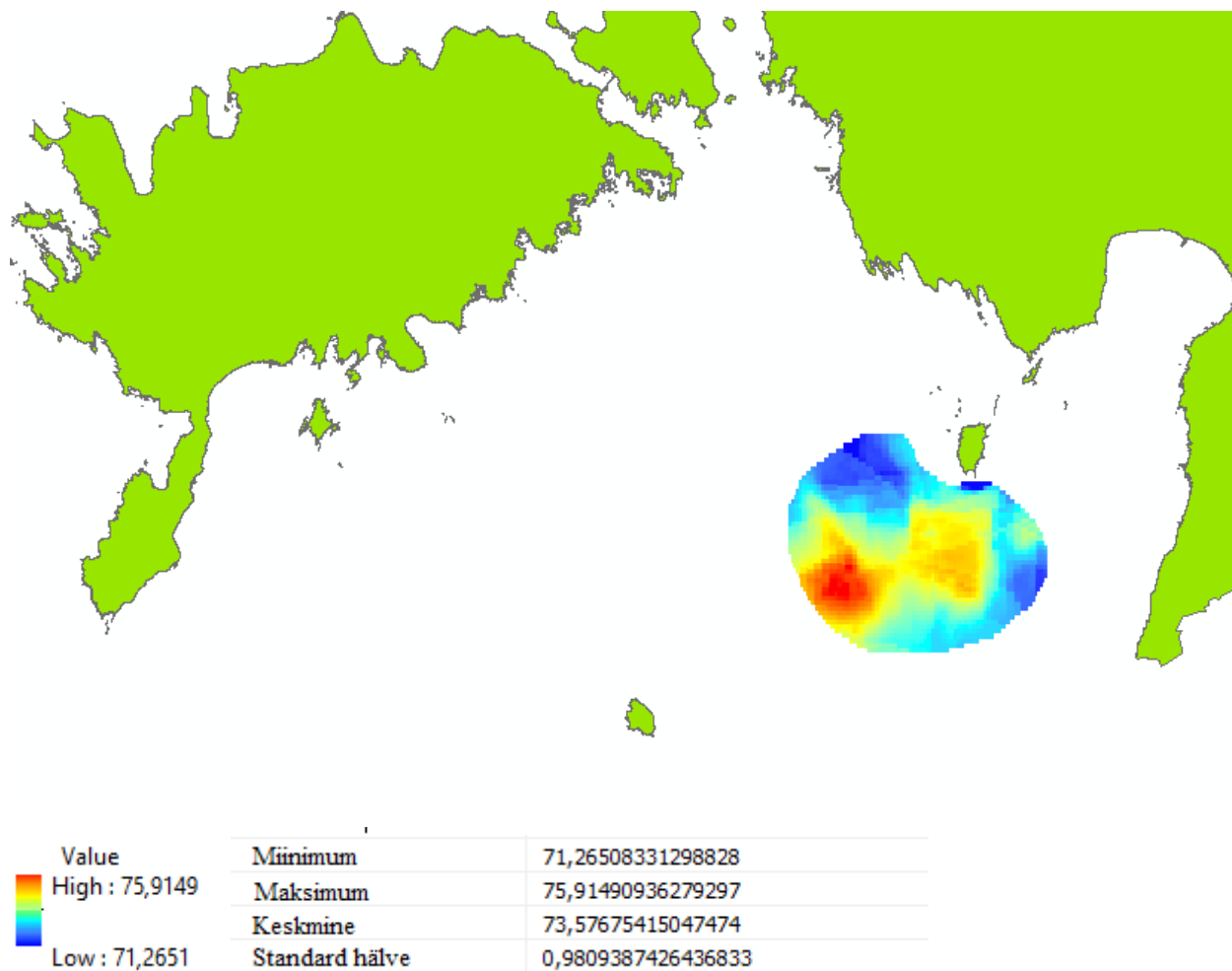
Kui vaadelda Läänemere piirkonda, siis pikas plaanis puudub Eestil odava energia tootmise eelis. Lisaks tuleb arvestada, et elektrienergia tootmine on suhteliselt väikese lisandväärtusega, kuid suure keskkonnamõjuga tegevusega. Seetõttu on energiatootmise eesmärk saada energiat eelkõige Eesti enda tarbeks, mitte ekspordiks.

Elektritootmine Eestis on seni põhinenud peamiselt põlevkivienergeetikal, mis ei ole pika aja jooksul konkurentsivõimeline (nt keskkonnatasude kasvu tõttu). Energiajulgeoleku ja keskkonnaga seotud kaalutlustel ei ole otstarbekas ühe fossiilse energiaallika sedavõrd suur osakaal riigi energiabilansis, sest see on seotud varustuskindluse, energiaturu ja keskkonnakaitseriskidega. Seepärast on vaja suurendada teiste energiaallikate osakaalu ja arendada taristut, et kaubelda energiavaldkonnas ulatuslikumalt teiste Euroopa Liidu liikmesriikidega. Pikema aja jooksul vajab Eesti omatarbimise katteks uusi erilaadilisi energiatootmisüksusi, mille kavandamine ja rajamine peab toimuma ratsionaalselt ja kehtlikult.

Olulisemaid valdkondi, kus uut kohalikul taastuval ressursil põhinevat energiatootmisvõimsust saab suurendada, on tuuleenergeetika ja bioenergia. Tuuleenergeetikale on iseloomulik tootmismahu lühi- ja hooajaline muutlikkus, mis ei kattu alati tarbimise muutlikkusega, kuid Eesti hea tuulepotentsiaali tõttu jätkub lähitulevikus suure tõenäosusega selles vallas jõuline arendustöö, mis võib kaasata eeldatavasti ka merealadel.

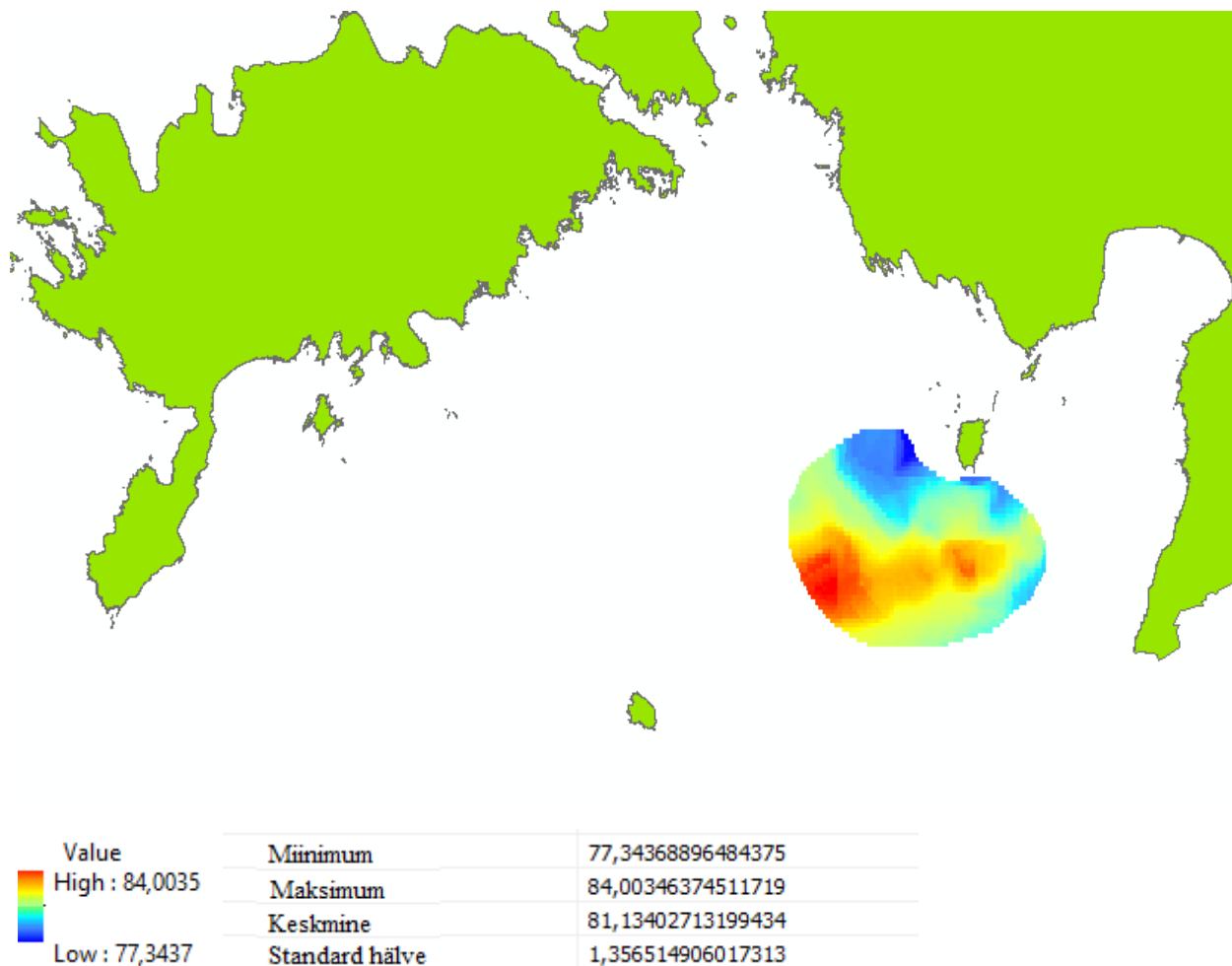
Meretuulikuparkide rajamiseks sobib Eesti läänepoolne rannikumeri. Sobivate alade leidmiseks tehtud uuringute tulemustele tuginedes ning iga konkreetse piirkonna eripära arvestades saab meretuulikuparke kavandada maakonnaplaneeringute kaudu, tagades parkide piisava kauguse väikesaartest, säilitades muinsus- ja looduskaitse väärtused, liikide rändekoridorid ja elupaigad. (Üleriigiline planeering Eesti 2030+, 2012.)

Eesti 2030+ tuulepargi ala 1 suurus on 720 km<sup>2</sup> / 18 100 km<sup>2</sup>.



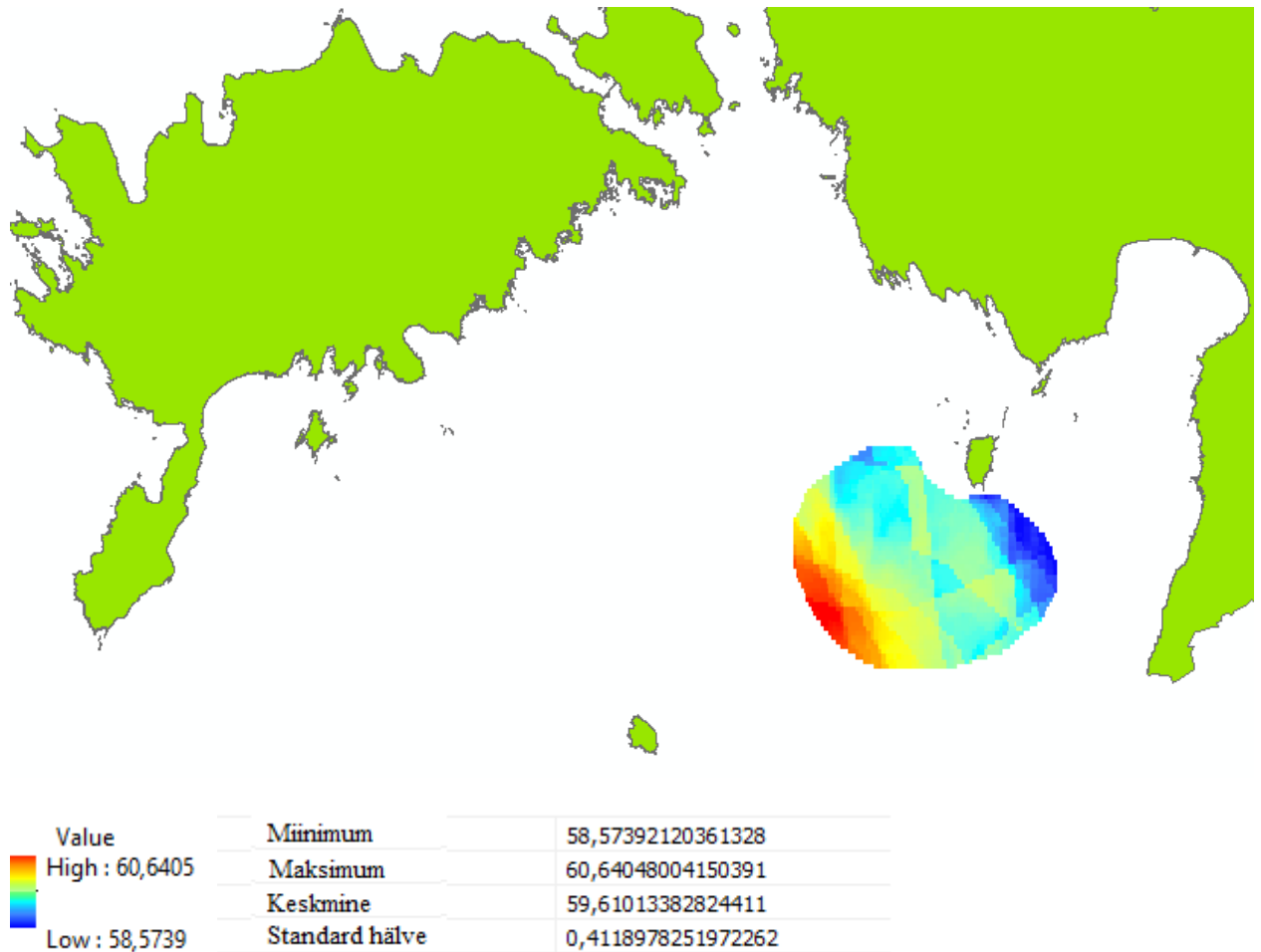
Joonis 25. Helitaseme 10. protsentiil 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusega 125 Hz, Eesti 2030+ tuulepargi ala 1, Juuni 2014. Helitaseme statistilised suurused: miinumum, maksimum, keskmine ja standard hälve.

Eesti 2030+ tuulepargi ala 1 suurus on 720 km<sup>2</sup> / 18 100 km<sup>2</sup>.



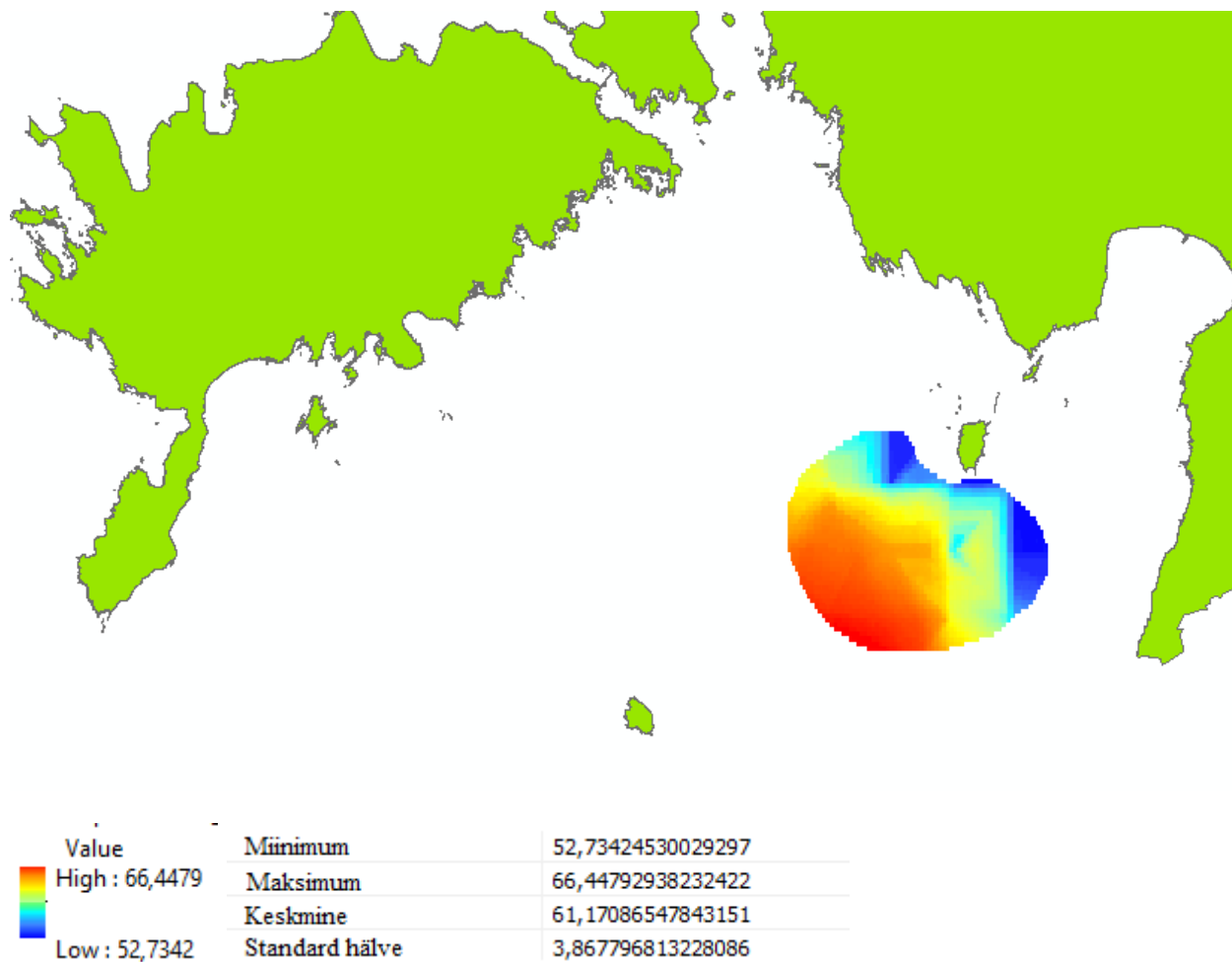
Joonis 26. Helitaseme 10. protsentiil 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusega 125 Hz, Eesti 2030+ tuulepargi ala 1, Veebruar 2014. Helitaseme statistilised suurused: miinumum, maksimum, keskmine ja standard hälve.

Eesti 2030+ tuulepargi ala 1 suurus on 720 km<sup>2</sup> / 18 100 km<sup>2</sup>.



Joonis 27. Helitaseme 90. protsentiil 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusega 125 Hz, Eesti 2030+ tuulepargi ala 1, Juuni 2014. Helitaseme statistilised suurused: miinumum, maksimum, keskmine ja standard hälve.

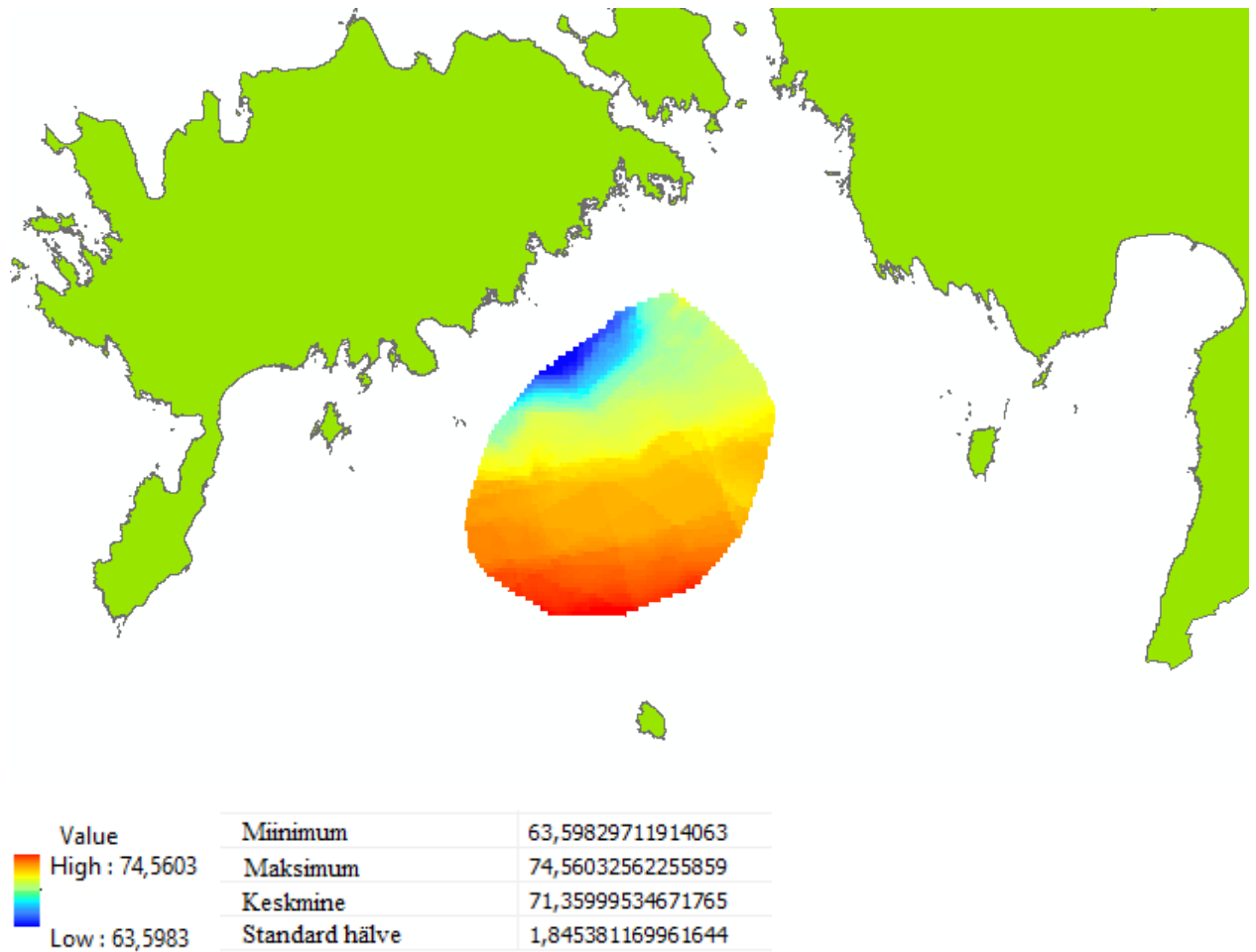
Eesti 2030+ tuulepargi ala 1 suurus on 720 km<sup>2</sup> / 18 100 km<sup>2</sup>.



Joonis 28. Helitaseme 90. protsentiil 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusega 125 Hz, Eesti 2030+ tuulepargi ala 1, Veebruar 2014. Helitaseme statistilised suurused: miinumum, maksimum, keskmine ja standard hälve.

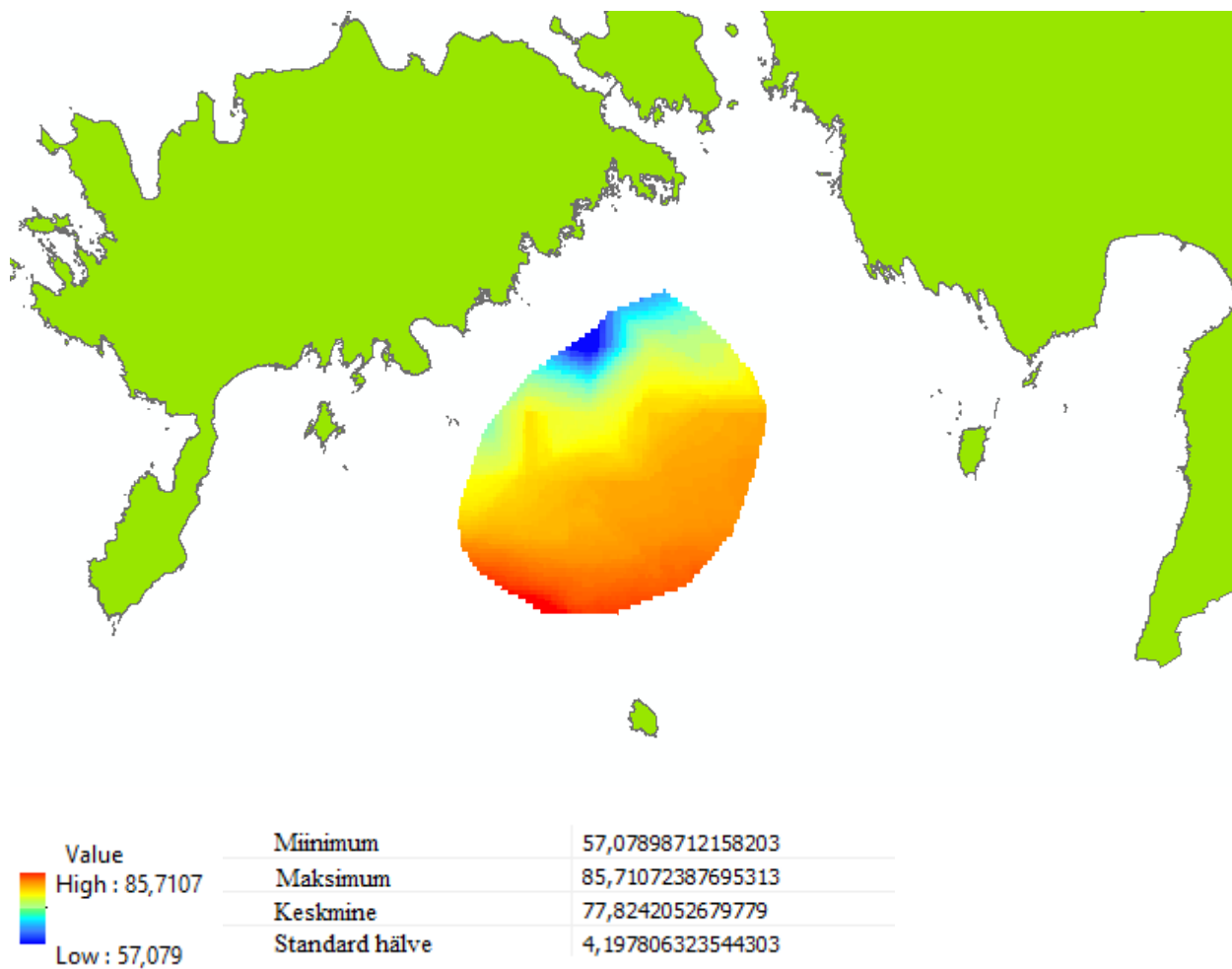
## Eesti 2030+ tuulikupargi ala 2

Eesti 2030+ tuulikupargi ala 2 suurus on 1204.5 km<sup>2</sup> / 18 100 km<sup>2</sup>.



Joonis 29. Helitaseme 10. protsentiil 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusega 125 Hz, Eesti 2030+ tuulepargi ala 2, Juuni 2014. Helitaseme statistilised suurused: miinumum, maksimum, keskmine ja standard hälve.

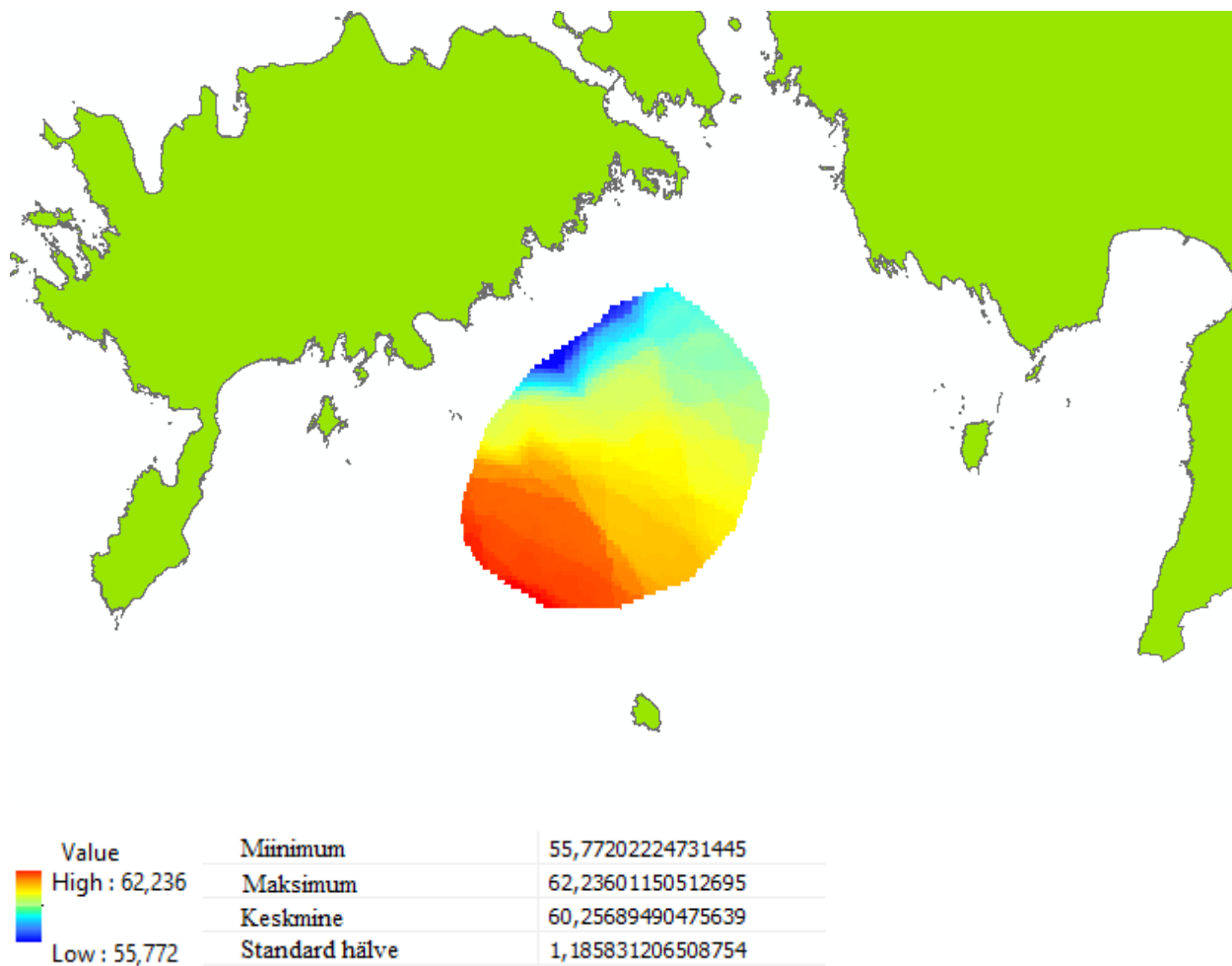
Eesti 2030+ tuulikutpargi ala 2 suurus on 1204.5 km<sup>2</sup> / 18 100 km<sup>2</sup>.



Joonis 30. Helitaseme 10. protsentiil 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusega 125 Hz, Eesti 2030+ tuulepargi ala 2, Veebruar 2014. Helitaseme statistilised suurused: miinumum, maksimum, keskmine ja standard hälve.

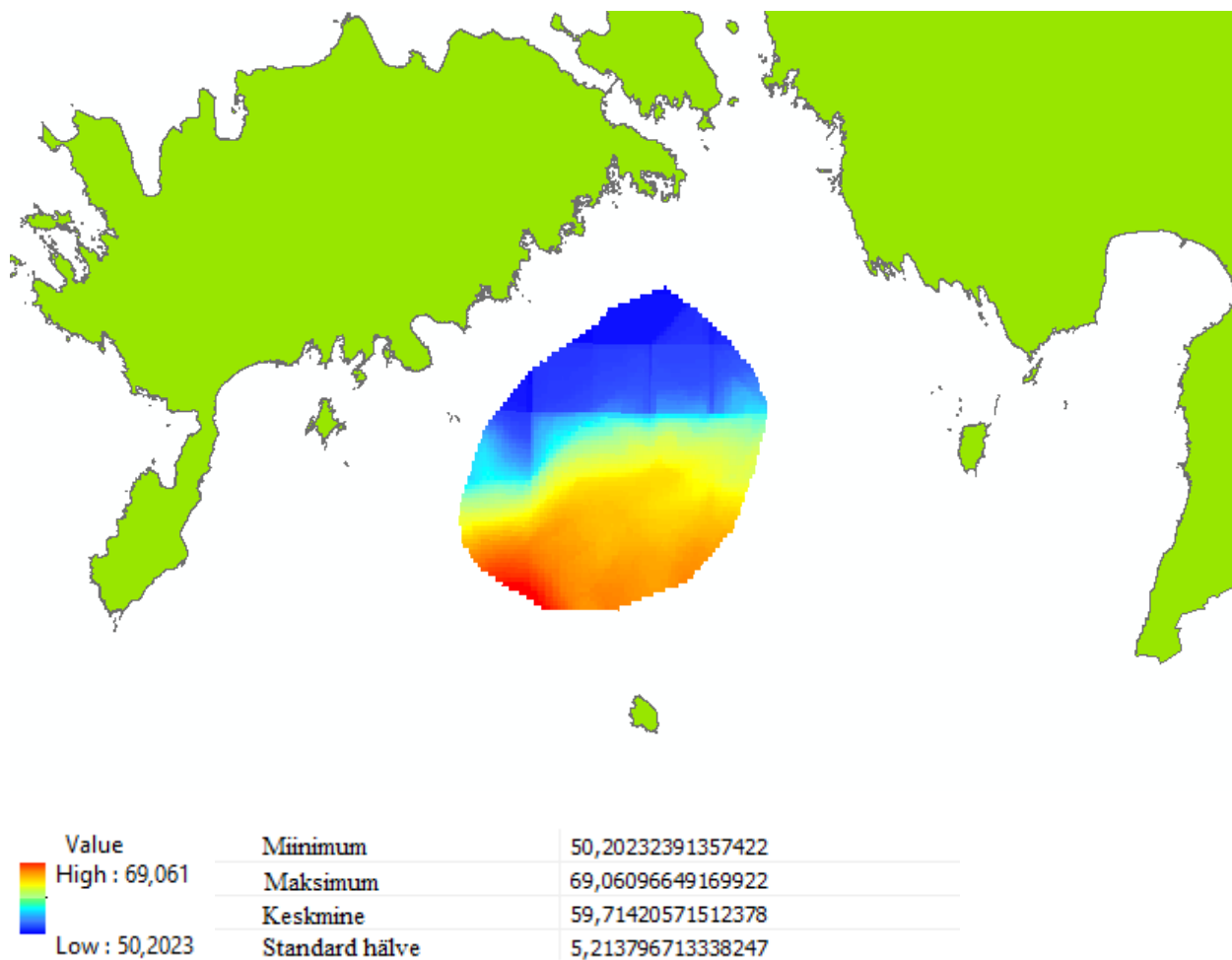


Eesti 2030+ tuulikupargi ala 2 suurus on 1204.5 km<sup>2</sup> / 18 100 km<sup>2</sup>.



Joonis 31. Helitaseme 90. protsentiil 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusega 125 Hz, Eesti 2030+ tuulepargi ala 2, Juuni 2014. Helitaseme statistilised suurused: miimum, maksimum, keskmine ja standard hälve.

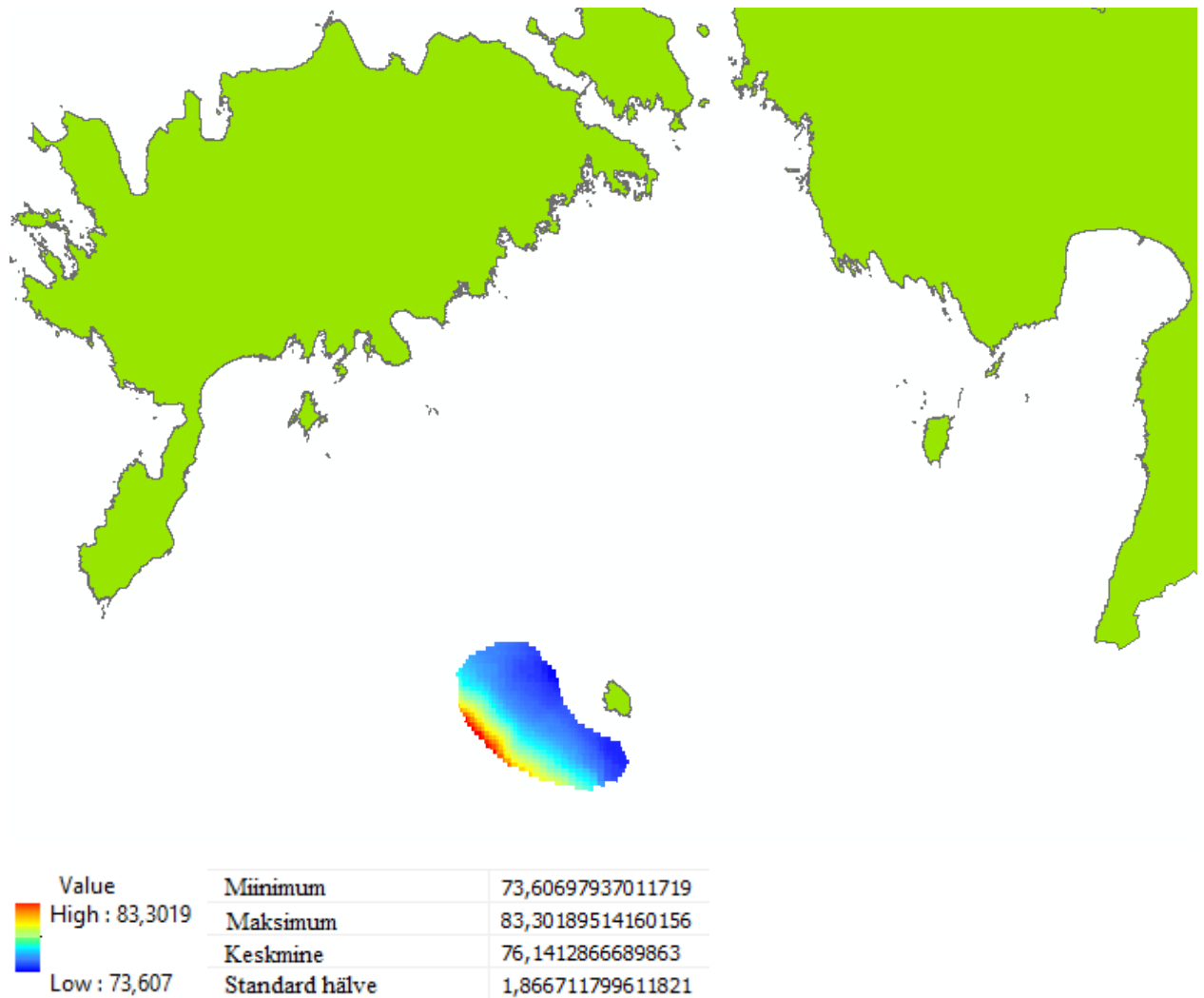
Eesti 2030+ tuulikupargi ala 2 suurus on 1204.5 km<sup>2</sup> / 18 100 km<sup>2</sup>.



Joonis 32. Helitaseme 90. protsentiil 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusega 125 Hz, Eesti 2030+ tuulepargi ala 2, Veebruar 2014. Helitaseme statistilised suurused: miimum, maksimum, keskmine ja standard hälve.

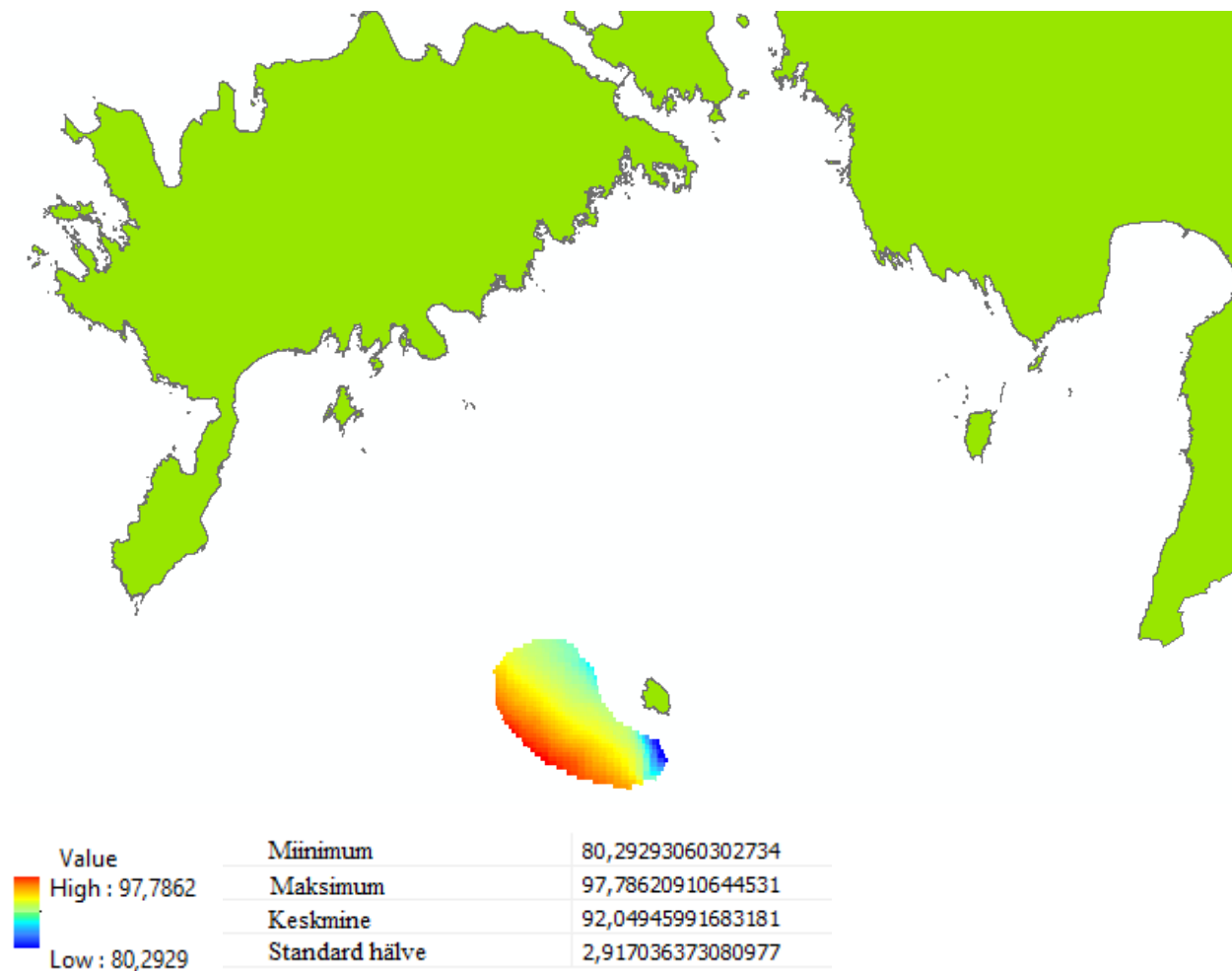
### Eesti 2030+ tuulikupargi ala 3

Eesti 2030+ tuulikupargi ala 3 suurus on 261 km<sup>2</sup> / 18 100 km<sup>2</sup>.



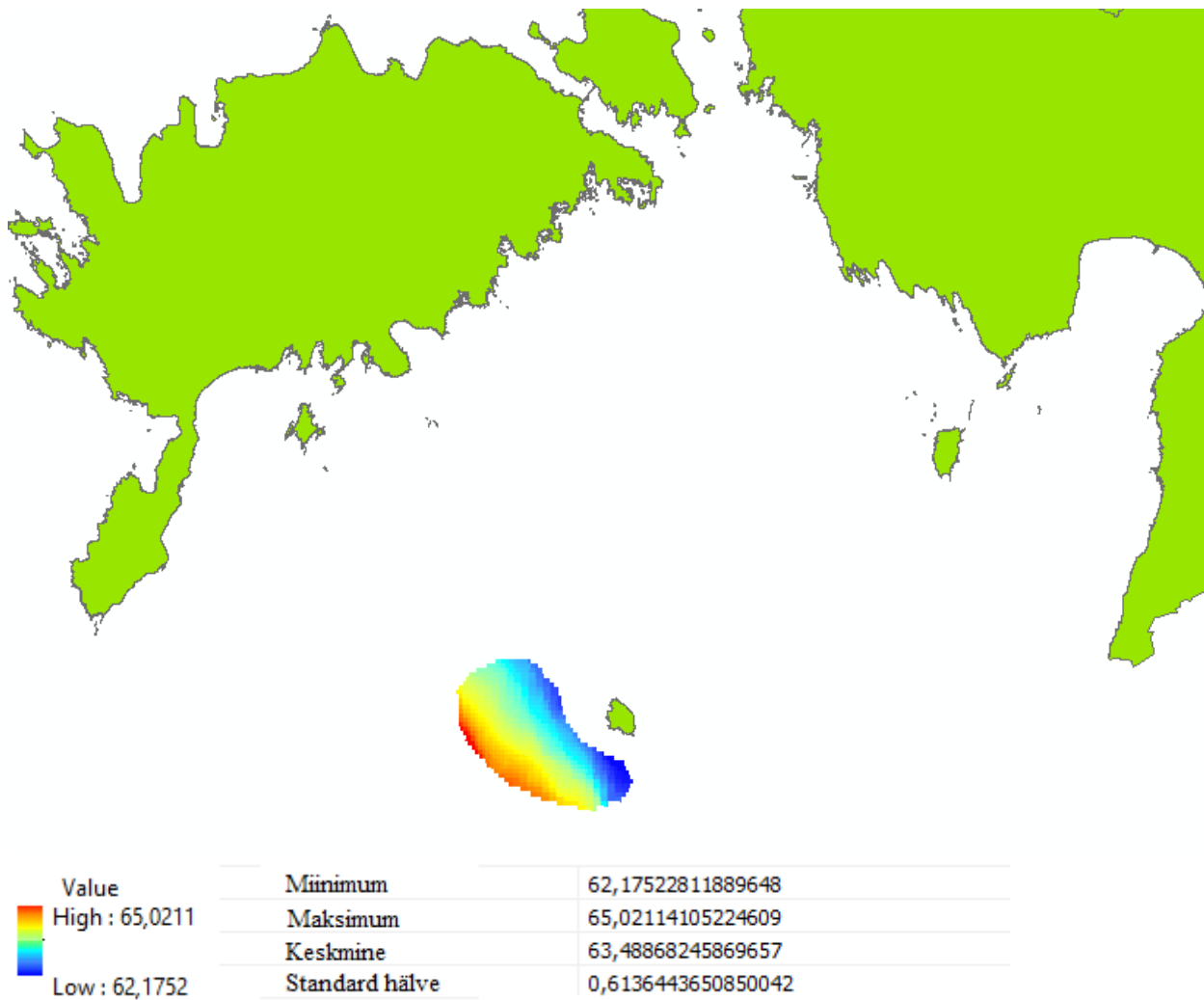
Joonis 33. Helitaseme 10. protsentiil 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusega 125 Hz, Eesti 2030+ tuulepargi ala 3, Juuni 2014. Helitaseme statistilised suurused: miimum, maksimum, keskmine ja standard hälve.

Eesti 2030+ tuulikupargi ala 3 suurus on 261 km<sup>2</sup> / 18 100 km<sup>2</sup>.



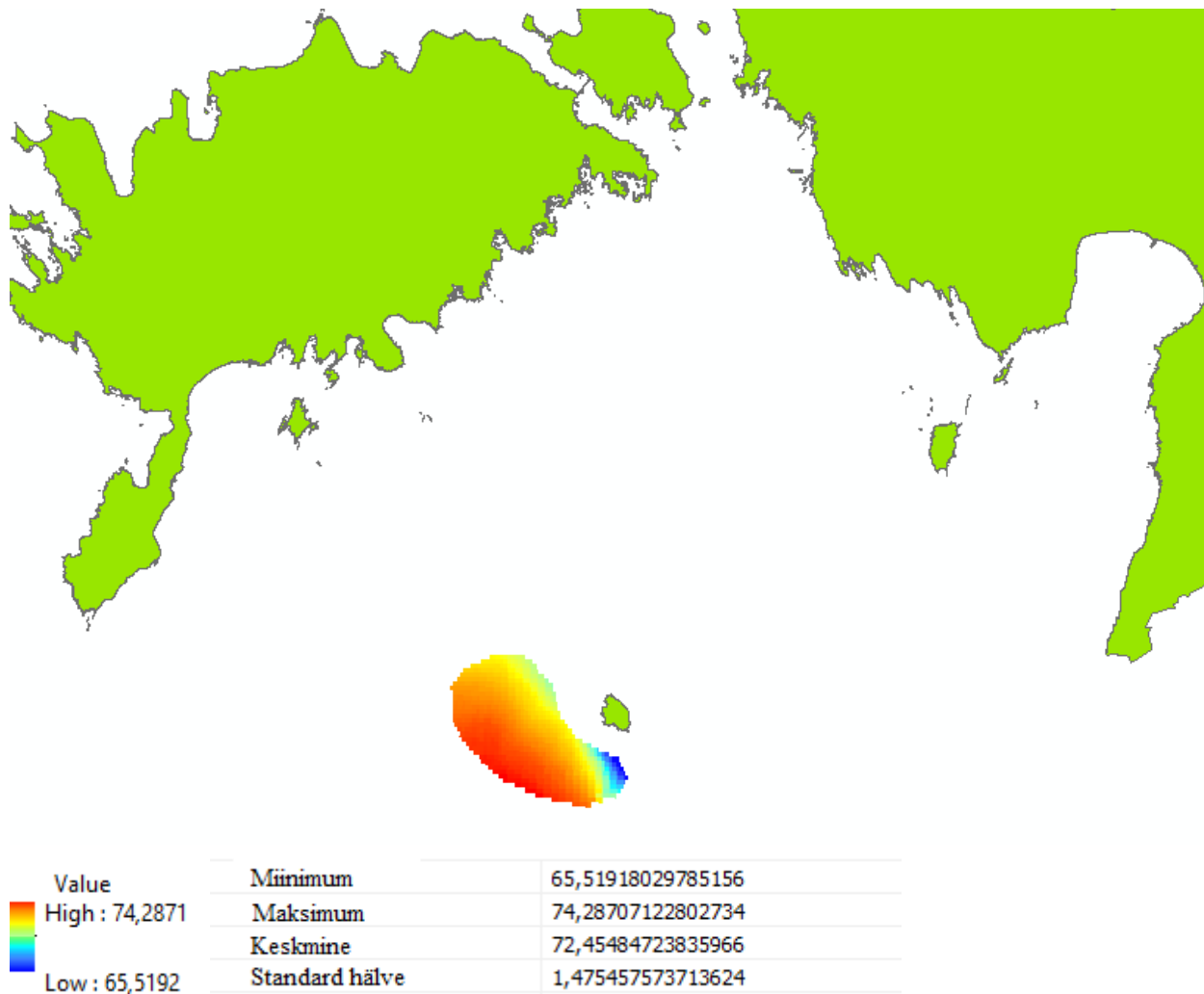
Joonis 34. Helitaseme 10. protsentiil 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusega 125 Hz, Eesti 2030+ tuulepargi ala 3, Veebruar 2014. Helitaseme statistilised suurused: miinumum, maksimum, keskmine ja standard hälve.

Eesti 2030+ tuulikupargi ala 3 suurus on 261 km<sup>2</sup> / 18 100 km<sup>2</sup>.



Joonis 35. Helitaseme 90. protsentiil 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusega 125 Hz, Eesti 2030+ tuulepargi ala 3, Juuni 2014. Helitaseme statistilised suurused: miinumum, maksimum, keskmine ja standard hälve.

Eesti 2030+ tuulikupargi ala 3 suurus on 261 km<sup>2</sup> / 18 100 km<sup>2</sup>.



Joonis 36. Helitaseme 90. protsentiil 1/3 oktaav sagedusriba kesksagedusega 125 Hz, Eesti 2030+ tuulepargi ala 3, Veebruar 2014. Helitaseme statistilised suurused: miinumum, maksimum, keskmine ja standard hälve.

## Kokkuvõte Eesti 2030+ tuulikuparkide kohta:

Eesti 2030+ tuulikupargi:		
Ala 1	Ala 2	Ala 3
10. protsentiil (Inimtekkeline müra)	10. protsentiil (Inimtekkeline müra)	10. protsentiil (Inimtekkeline müra)
71,3 - 75,9 (dB) Suvel	63,6 - 74,5 (dB) Suvel	73,1 - 83,3 (dB) Suvel
77,4 - 84,0 (dB) Talvel	57,1 - 85,7 (dB) Talvel	80,3 - 97,8 (dB) Talvel
90. protsentiil (Looduslik müra)	90. protsentiil (Looduslik müra)	90. protsentiil (Looduslik müra)
57,6 - 60,1 (dB) Suvel	55,7 - 62,2 (dB) Suvel	62,2 - 65,0 (dB) Suvel
52,7 - 66,5 (dB) Talvel	50,2 - 69,1 (dB) Talvel	65,5 - 74,3 (dB) Talvel

Tabel 3. Inimtekkelise ja loodusliku helitaseme miinimum ja maksimum vastavalt Eesti 2030+ tuulikupargi alad 1-3, suvel ja talvel.

**Eesti 2030+ alal 1:** Inimtekkeline müra on suvel alates 71,3 dB kuni 75,9 dB. Talve perioodil kasvab müratase keskelt läbi 7,1 dB võrra ehk 77,4 dB kuni 84,0 dB.

Looduslik müra selle piirkonnas suvel alates 57,6 dB kuni 60,1 dB. Talve perioodil kasvab müratase keskelt läbi 0,75 dB võrra ehk 52,7 dB kuni 66,5 dB.

**Eesti 2030+ alal 2:** Inimtekkeline müra on suvel alates 63,6 dB kuni 74,5 dB. Talve perioodil kasvab müratase keskelt läbi 2,35 dB võrra ehk 57,1 dB kuni 85,7 dB.

Looduslik müra selles piirkonnas on suvel alates 55,7 dB kuni 62,2 dB. Talve perioodil kasvab müratase keskelt läbi 0,7 dB võrra ehk 50,2 dB kuni 69,1 dB.

**Eesti 2030+ alal 3:** Inimtekkeline müra suvel alates 73,1 dB kuni 83,3 dB. Talve perioodil kasvab müratase keskelt läbi 10,85 dB võrra ehk 80,3 dB kuni 97,8 dB.

Looduslik müra on suvel alates 62,2 dB kuni 65,0 dB. Talve perioodil kasvab müratase keskelt läbi 6,3 dB võrra ehk 65,5 dB kuni 74,3 dB.

### 3.5 Helitasemete prognoos

Käesolevas töös on koostatud empiirilise prognoos eeldusel, et tuulepargi rajamisel merearendus piirkondades kasutatakse 8 laeva tuulepargi ehitamisel.

Üldandmed:

Riia sadama laevateel liigub aastas 3489 alust (Freeport of Riga, 2019). Ühe kuu hinnanguline arv on 290 alust. Iga laeva laiaribaline allikamüra tase on võetud hinnanguliselt 133 dB.

Pärnu sadama laevateel liigub aastas 941 alust (Pärnu sadam, 2019). Ühe kuu hinnanguline arv on 78 alust. Iga laeva laiaribaline allikamüra tase on võetud hinnanguliselt 133 dB.

Madala protsentiiliga helitaseme kaart laevatee lähedal vastab hästi laevamürale. Ühe kalendrikuu 10. protsentiili helitaseme kaart näitab, et 10% sellest kuust (ligikaudu 3 päeva) on helitase kõrgem rasterkaardil näidatud väärtusest dB.

Liivi lahes liiguvad laevad kiirusega ligikaudu 13 sõlme =  $13 \cdot 0,514 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 6,682 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . See tähendab, et 1 tunni jooksul läbivad laevad vahemaa  $13 \cdot 1852 \text{ m} = 24,076 \text{ km}$ . (3 päeva = 4320 minutit)

Arvutusnäide:

Eesti mereala planeeringu 2030+ alas 1 on 10. protsentiili ja 90. protsentiili keskmiste helitasemete erinevus 14 dB. Järelikult 4320 minutit (3 päeva) on ala 1 piirkonnas helitase 14 dB kõrgem võrreldes loodusliku helitasemega. 1 laev tekitab veealust inimtekkelist müra ajavahemikus, kui see viibib merearenduspiirkonnas. Väljaspool merearenduspiirkonda sõitev laev tekitab veealust kaugmüra, mis kostab ligikaudu 10 minutit.

Tingimusel, et laevamüra kostab ajavahemikus, kui laev liigub kiirusega 13 sõlme merearenduspiirkonnas, võib ajavahemiku arvutada valemist:  $\sqrt{720 \text{ km}^2} \cdot 1000 : 6,682 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 4015,26 \text{ s} = 67 \text{ minutit}$ .

Merearenduspiirkond asub Pärnu laevatee lähedal, ehk seda piirkonda mõjutab 78 alust ühe kuu jooksul. Arvutus:  $78 \cdot 67 \text{ minutit} = 5220 \text{ minutit}$ . Järelikult võib eeldada, et 3,625 päeva põhjustavad helitaseme muutust laevad, mis liiguvad lavateedel ehk liinilaevad.

Kui tuulepargi ehitustegevuseks ja teenindamiseks kasutatakse 8 laeva, mis töötaksid 1 kuu jooksul 10 päeva kokku (isikliku tööpraktika informatsioon Hollandist), siis laevade töötunnid kokku on 10 päeva = 14 400 minutit.



Arvutusnäitest järeldub, et Eesti mereplaneeringu 2030+ alas 1 on helitase looduslikust helitasemest kõrgem 13,625 päeva. Suvel ligikaudu 14 dB ja talvel 19,9 dB. Eeldatavasti on talvel keskmine müra kõrgem põhjusel, et merearenduspiirkonnas esinevad tormid.

**Ala 1: Baltic Scope 1 ala suurus on 101.2 km<sup>2</sup> / 18 100 km<sup>2</sup>**

Merearenduspiirkonna mõõde: 10,06 km

Ühe laeva kostmise ajavahemik : 25 minutit

Laevaliikluse müra aeg: 1,359 päeva

Merearenduspiirkonna laevamüra aeg kokku: 11,4 päeva

**Ala 2: Baltic Scope 2 ala suurus on 102.8 km<sup>2</sup> / 18 100 km<sup>2</sup>**

Merearenduspiirkonna mõõde: 10,14 km

Ühe laeva kostmise ajavahemik : 25 minutit

Laevaliikluse müra aeg: 1,369 päeva

Merearenduspiirkonna laevamüra aeg kokku: 11,4 päeva

**Ala 3: Eesti 2030+ tuulepargi ala 1 suurus on 720 km<sup>2</sup> / 18 100 km<sup>2</sup>**

Merearenduspiirkonna mõõde: 26,83 km

Ühe laeva kostmise ajavahemik : 67 minutit

Laevaliikluse müra aeg: 13,4 päeva

Merearenduspiirkonna laevamüra aeg kokku: 23,4 päeva

**Ala 4: Eesti 2030+ tuulikupargi ala 2 suurus on 1204.5 km<sup>2</sup> / 18 100 km<sup>2</sup>**

Merearenduspiirkonna mõõde: 34,71 km

Ühe laeva kostmise ajavahemik : 87 minutit

Laevaliikluse müra aeg: 4,67 päeva

Merearenduspiirkonna laevamüra aeg kokku: 14,7 päeva

**Ala 5: Eesti 2030+ tuulikupargi ala 3 suurus on 261 km<sup>2</sup> / 18 100 km<sup>2</sup>**

Merearenduspiirkonna mõõde: 16,16 km

Ühe laeva kostmise ajavahemik : 40 minutit

Laevaliikluse müra aeg: 8,1 päeva

Merearenduspiirkonna laevamüra aeg kokku: 18,1 päeva

## Kokkuvõte

Antud lõputöös on kasutatud ArcGIS töövahendit ja BIAS andmeid (helitaseme kaarte). GIS töövahendit on kasutatud helitaseme kaartide visualiseerimiseks ja statistiliseks analüüsiks. Töös on kasutatud 2014. aasta veebruari ja juuni kuude 10. protsentiili ja 90. protsentiili helitaseme kaarte, 1/3 oktaav sagedusribal kesksagedusel 125 Hz. Madalad protsentiilid (näiteks 10. protsentiil) on oluliselt seotud inimtekkelise veealuse heliga laevateede läheduses ja kõrgemad protsentiilid (näiteks 90. protsentiil) on seotud peamiselt loodusliku veealuse heliga.

GIS töövahendit on kasutatud Liivi lahe ja selles asuvate merearenduse piirkondade helirõhu tasemete minimaalsete, keskmiste, maksimaalsete ja standardhälbe arvutamiseks. Tuuleparkide rajamisel on eeldatud, et liinilavadele lisanduvad merel töölaevad valitud merearenduse piirkondades. Töölaevade hulgas on kaablipaigaldus alus, mille juures on vähemalt kaks puksiir laeva, üks meeskonna vahetus laev, üks hüdrograafia mõõdistuslaev, üks meregeoloogia laev, üks tuulepargi alajaama laev, et tagada ohutus selles piirkonnas, üks kuni kaks tuulepargi plantoon ja tuulikute kohaletoomis laeva. Arvutuslikult lisandub kaheksa laeva tuulepargi rajamisel. Vastavalt sellele on koostatud empiiriline metoodika liinilaevade (laevateedel olevate laevade) ja töölaevade ühe kuu mürapäevade arvutamiseks merearenduse piirkondades, nii suve kui ka talve tingimustes. Suured helitaseme väärtused talvel võrreldes suvega on eeldatavasti seotud tormide esinemisega Liivi lahes.

Lõputöös on näidatud, et Baltic Scope alas 1 ja 2 on vastavalt laevamüra helitase looduslikust helitasemest kõrgem suvel 14 dB ja 12,5 dB, ning talvel 25,5 dB ja 14,8 dB. Liini- ja töölaevade mürapäevade arv kokku on 11,4 päeva Baltic Scope alades.

Eesti mereplaneeringu 2030+ tuulepargis alas 1 on suvel laevamüra helitase looduslikust helitasemest kõrgem 14 dB ja talvel 19,9 dB. Liini- ja töölaevade mürapäevade arv kokku on 23,4 päeva.

Eesti mereplaneeringu 2030+ tuulepargis alas 2 on suvel laevamüra helitase looduslikust helitasemest kõrgem 11,1 dB ja talvel 18,1 dB. Liini- ja töölaevade mürapäevade arv kokku on 14,7 päeva.

Eesti mereplaneeringu 2030+ tuulepargis alas 3 on suvel laevamüra helitase looduslikust helitasemest kõrgem 12,6 dB ja talvel 19,5 dB. Liini- ja töölaevade mürapäevade arv kokku on 18,1 päeva.

## Abstract

Analysis and prediction of seasonal anthropogenic sound pressure levels in Estonian marine area: marine spatial planning in the Gulf of Riga.

The ArcGIS working tool and BIAS data (sound pressure level – SPL maps) are used in present study. GIS tool was used for visualization and statistical analysis of the SPL data. Year 2014 SPL maps at 1/3rd octave frequency band with centre frequency 125 Hz was chosen for 10th and 90th percentile maps of February and June, representing ship and natural noise of winter and summer conditions respectively. Low percentile (represented by 10th percentile) is associated with ship underwater sound near fairway, and high percentile (represented by 90th percentile) is associated with natural underwater sound in the sea.

GIS tools have been used to calculate the minimum, average, maximum and standard deviation levels of sound pressure levels in the Gulf of Riga and the marine spatial areas. When building wind farms, the number of work vessels alone will be increased within the limits of maritime development. Work vessels include one cable-laying base consisting of two wind farms, one crew change vessel, one hydrographic survey vessel, one geology research vessel, one wind farm substation vessel, and, a single wind farm plate and the vessel accompanying the wind turbines. It can be calculated that eight more ships will be added when the wind farm is built. After compiling an empirical methodology for the calculation of long-range noise and one-month noise days of ships and work vessels from the region, so that both arbitrary and winter situations. The SPL in winter time is increased as compared to summer time, apparently due to wind storms in the Gulf of Riga.

In summary, it can be found that in the Baltic Scope areas 1 and 2, SPL are 14 dB and 12,5 dB, respectively, higher than the average sound level in summer, and 25,5 dB and 14,8 dB, respectively, higher than the average sound level in winter. A number of noise days for long-distance vessels and work vessels is 11.4 days.

SPL in the Estonian Marine Plan 2030+ wind farm 1 is 14 dB higher than the average sound level in summer and 19.9 dB higher than the average sound level in winter. Number of noise days for long-distance ships and work vessels is 23.4 days.

SPL in the Estonian Marine Plan 2030+ wind farm 2 is 11,1 dB higher than the average sound level in summer and 18,1 dB higher than the average sound level in winter. Number of noise days for long-distance ships and work vessels is 14,7 days.

SPL in the Estonian Marine Plan 2030+ wind farm 3 is 12.6 dB higher than the average sound level in summer and 19,5 dB higher than the average sound level in winter. Number of noise days for long-distance ships and work vessels is 18,1 days.

## Viidatud allikad

1. Ahtiainen, Heini. "Sufficiency of Measures." HELCOM, 2020, [HELCOM.fi/baltic-sea-action-plan/som/](https://www.helcom.fi/baltic-sea-action-plan/som/).
2. Betke K., Folegot T., Matuschek R., Pajala J., Persson L., Tegowski J., Tougaard, J., Wahlberg M. (2015). BIAS Standards for Signal Processing. Aims, Processes and Recommendations. Amended version. 2015. Editors: Verfuß U.K., Sigray P.
3. Botelho, Anabela, et al. "Effect of Wind Farm Noise on Local Residents' Decision to Adopt Mitigation Measures." *International Journal of Environmental Research and Public Health*, MDPI, 11 July 2017, [www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5551191/](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5551191/).
4. de Jong, C.A.F, et al. "Standard for Measurement and Monitoring of Underwater Noise, Part II: Procedures for Measuring Underwater Noise in Connection with Offshore Wind Farm Licensing." *Standard for Measurement and Monitoring of Underwater Noise, Part II: Procedures for Measuring Underwater Noise in Connection with Offshore Wind Farm Licensing*, 2011, [tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/TNO-Report-2011.pdf?fbclid=IwAR12KzaDxNovaNGIyKVHpfMg4lg7Ci-Bshuv96y6ZYI6VVycBUE48I\\_Nthw](https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/TNO-Report-2011.pdf?fbclid=IwAR12KzaDxNovaNGIyKVHpfMg4lg7Ci-Bshuv96y6ZYI6VVycBUE48I_Nthw).
5. Hau, Erich and H. Von Renouard. *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics*, 2<sup>nd</sup> Ed. Springer, October 1, 2005
6. Klauson, Aleksander, et al. "Veeluse Akustilise Müra Seire Soome Lahes ." *Veeluse Akustilise Müra Seire Soome Lahes*, Keskkonnaministeerium, 2017, [https://www.kik.ee/sites/default/files/uuringud/veeluse\\_akustilise\\_mura\\_seire\\_soome\\_lahes\\_f.pdf](https://www.kik.ee/sites/default/files/uuringud/veeluse_akustilise_mura_seire_soome_lahes_f.pdf).
7. Leito, Aivar. "Väinamere Hoiuala Mereosa, Kadakalau Viigerhülge, Pujuderahu Hallhülge Ja Selgrahu Hallhülge Püsielupaikade (Osa Väinamere Linnu- Ja Loodusalast) Kaitsekorralduskava 2013-2022." *Väinamere Hoiuala Mereosa, Kadakalau Viigerhülge, Pujuderahu Hallhülge Ja Selgrahu Hallhülge Püsielupaikade (Osa Väinamere Linnu- Ja Loodusalast) Kaitsekorralduskava 2013-2022*, Keskkonnaamet, 2010, [www.keskkonnaamet.ee/sites/default/files/kaitse\\_planeerimine/vainamere\\_ha\\_mereosa\\_hylgepepid\\_kkk\\_2013\\_2022.pdf](https://www.keskkonnaamet.ee/sites/default/files/kaitse_planeerimine/vainamere_ha_mereosa_hylgepepid_kkk_2013_2022.pdf).
8. Rass, Regina. "Riiklik Energia- Ja Kliimakava Ning Riiklikud Taastuenergia Eesmärgid." *Riiklik Energia- Ja Kliimakava Ning Riiklikud Taastuenergia Eesmärgid*, 2019, [planeerimine.ee/static/sites/2/mkm-regina-rass.pdf](https://planeerimine.ee/static/sites/2/mkm-regina-rass.pdf).

9. Stankiewicz, Monika. "Baltic Sea — Second HELCOM Holistic Assessment 2011-2016." Baltic Sea — Second HELCOM Holistic Assessment 2011-2016, Baltic Marine Environment Protection Commission, 2018, HELCOM.fi/media/publications/BSEP155.pdf.
10. Veirs, Scott, et al. "Ship Noise Extends to Frequencies Used for Echolocation by Endangered Killer Whales." PeerJ, PeerJ Inc., 2 Feb. 2016, www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4800784/.
11. 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 "Läänemaa tuulikutarkade mõjud lähialade elanikele." läänemaa tuulikutarkade mõjud lähialade elanikele, 2010, maakonnaplaneering.ee/documents/2845826/18637010/6\_Laanemaa\_tuulikutarkade\_mojud\_lahialade\_elanikele.pdf/090f053a-de9a-4bdd-91d7-7fb6e71a7c03.
12. "Maaameti geoportaal", <https://geoportaal.maaamet.ee/est/Kaardirakendused-p2.html>
13. "Merestrategie." Keskkonnaministeerium, 2020, [www.envir.ee/et/eesmargid-tegevused/merekeskkonna-kaitse/merestrategie](http://www.envir.ee/et/eesmargid-tegevused/merekeskkonna-kaitse/merestrategie).
14. "Nord stream 2 espoo report non-technical summary." nord stream 2 espoo report non-technical summary, Nord Stream 2 AG, Apr. 2017, [www.envir.ee/sites/default/files/ns2\\_kokkuvote\\_en.pdf](http://www.envir.ee/sites/default/files/ns2_kokkuvote_en.pdf).
15. "MarineTraffic Tracks Marine Vessels with Google Maps Official Google Cloud Blog, 20 Jan. 2015, [cloud.googleblog.com/2015/01/MarineTraffic-tracks-marine-vessels-with-Google-Maps.html](http://cloud.googleblog.com/2015/01/MarineTraffic-tracks-marine-vessels-with-Google-Maps.html).
16. „ArcGIS jaoks vastavad mereala planeeringu erinevad kihid“ [http://maps.hendrikson.ee/arcgis/rest/services/Mereala\\_planeering?fbclid=IwAR2sw9D1CHHIKKT1A7Bd9Woeid-dTcPBdjWewu9J17g0JqwwPo3FR4F\\_16\\_U](http://maps.hendrikson.ee/arcgis/rest/services/Mereala_planeering?fbclid=IwAR2sw9D1CHHIKKT1A7Bd9Woeid-dTcPBdjWewu9J17g0JqwwPo3FR4F_16_U)
17. „Bathümeetria kaart“ <http://data.bshc.pro/?fbclid=IwAR1jOpfFP5bNARhe5oIeHsXhwQu1caWcPfcG7ApKJoD7I5YMOm-BHjrrzBQ#2/59.2/20.5>
18. „Bias Standards for Noise Measurements Background Information and Guidelines“ [https://biasproject.files.wordpress.com/2016/04/bias\\_standards\\_v5\\_final.pdf](https://biasproject.files.wordpress.com/2016/04/bias_standards_v5_final.pdf)
19. „Eesti mereala keskkonnaseisund 2018“ [https://www.envir.ee/sites/default/files/2018.08.22\\_koondaruanne.pdf](https://www.envir.ee/sites/default/files/2018.08.22_koondaruanne.pdf)

20. „Eesti mereala planeering“  
[https://www.rahendusministeerium.ee/sites/default/files/Ruumiline\\_planeerimine/2020-02-14\\_msp\\_mh\\_aruanne\\_portaali.pdf](https://www.rahendusministeerium.ee/sites/default/files/Ruumiline_planeerimine/2020-02-14_msp_mh_aruanne_portaali.pdf)
21. „Ehituskonstruktori kasiraamat Tallinn 2002 II osa“ Robert Reinpuu „Ehitusfüüsika, Tallinna Tehnikakõrgkool
22. „Fundamentals of Acoustics“  
[https://www.who.int/occupational\\_health/publications/noise1.pdf](https://www.who.int/occupational_health/publications/noise1.pdf)
23. „Liivi laht“ [http://entsyklopeedia.ee/artikkel/liivi\\_laht2](http://entsyklopeedia.ee/artikkel/liivi_laht2)
24. „Liivi laht“ <https://www.kalapeedia.ee/5272.html>
25. „Läänemere eutrofeerumisega võitlemine: tuleb võtta rohkem ja mõjusamaid meetmeid“  
[https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR16\\_03/SR\\_BALTIC\\_ET.pdf](https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR16_03/SR_BALTIC_ET.pdf)
26. „Merekeskkonna seisundihinnangu ajakohastamine“  
[https://www.envir.ee/sites/default/files/merekeskkonna\\_seisundihinnangu\\_ajakohastamine\\_vahearuanne.pdf](https://www.envir.ee/sites/default/files/merekeskkonna_seisundihinnangu_ajakohastamine_vahearuanne.pdf)
27. „Ohtlikud ained on Euroopa meredes laialdaselt levinud“  
<https://www.envir.ee/et/uudised/ohtlikud-ained-euroopa-meredes-laialdaselt-levinud>
28. „Pärnu sadama andmed“ <http://www.parnusadam.eu/info>
29. „Report on shipping accidents in the Baltic Sea area for the year“ HELCOM, 2015.
30. „Riia sadama andmed“ <https://rop.lv/en/about-port/facts-a-figures.html>
31. „Underwater radiated noise from modern commercial ships“  
<http://www.cetus.ucsd.edu/docs/publications/McKennaJASA2012.pdf>
32. „Veealuse müra mõju hindamine kalastikule“  
[https://www.envir.ee/sites/default/files/vahearuanne\\_mura\\_moju\\_kalastikule\\_1\\_etapp\\_ttu\\_2018.pdf](https://www.envir.ee/sites/default/files/vahearuanne_mura_moju_kalastikule_1_etapp_ttu_2018.pdf)
33. „Ülemaailmne tuulepargi planeeringute kaart“ <https://www.4coffshore.com/offshorewind/>