



TALLINNA
TEHNIKAÜLIKOOL

EL merestrateegia raamdirektiivi (2008/56/EÜ) kohane merekeskkonna seisundihinnang teemal pidev veealune müra (D11)

Koostajad: Aleksander Klauson ja Janek Laanearu



Tallinn 2018



KESKKONNAINVESTEERINGUTE KESKUS

Annotatsioon

Käesolev töö on uringuteenuse leping läbi riigihangete süsteemi, LEP17033. Lepingu täitmine on koostöös ehituse ja arhitektuuri instituudiga, sõlmitud on vastav kokkulepe. Meresüsteemide instituudi ning ehituse ja arhitektuuri instituudi esindajad Urmas Lips (merefüüsika osakond) ja Janek Laanearu (konstruktsiooni- ja vedelikumehaanika uurimisrühm) valmistasid ühiselt ette projekti „Merekeskkonna seisundihinnangu, teemal veealune müra (MSRD tunnus 11), koostamine ja Läänemere holistilise hinnangu koostamise teemavaldkondliku sidususe tagamine osaledes projektis HOLAS II“ pakkumuse, mille alusel EKUK (OÜ Eesti Keskkonnauuringute Keskus) sõlmis 13.03.2017 TTÜ-ga hankelepingu 2-1/5/2017.

Aruande autorid on TTÜ ehituse ja arhitektuuri instituudi dotsent Janek Laanearu (anek.laanearu@ttu.ee) ja professor Aleksander Klauson (aleksander.klauson@ttu.ee).

Töö finantseerija on Keskkonnainvesteeringute Keskus.

Sisukord

Annotatsioon	2
1. Sissejuhatus	4
1.1. Töö eesmärk	4
1.2. Oodatavad tulemused	4
2. Allvee akustika põhimõisted.....	4
2.1. Allikate tüübid	4
2.2. Allveemüra intensiivsus.....	4
2.3. Helirõhu taseme (SPL) määramine	5
2.4. Kolmandikoktaavid	5
2.5. Müra mõjudest mereloomadele	5
3. Mõõtmis- ja modelleerimistööd.....	8
3.1. BIAS projekt	8
3.2. Mõõtmistööd Soome lahes	9
3.3. GIS-planeerimisvahend.....	11
4. Looduslikud- ja inimtekkelised helirõhu tasemed.....	12
4.1. HELCOM'i meetodikastandardid	12
4.2. MSRD pideva veealuse heli indikaatorsagedus	14
4.3. Surveteguri (BSPI) ja mõjuteguri (BSII) määramise põhimõtted	15
4.4. Looduslikud helirõhu tasemed Läänemeres.....	15
4.5. Inimtekkelised helirõhu tasemed Läänemeres	17
5. Läänemere BSPI määramise näide	18
6. Merekeskkonna seisundihinnang.....	20
6.1. Soome laht (GoF).....	21
6.2. Avameri (BP).....	22
6.3. Liivi laht (GoR).....	23
7. Kokkuvõte ja soovitused.....	24
Kasutatud kirjandus.....	25

1. Sissejuhatus

1.1. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on EL merestrateegia raamdirektiivi (2008/56/EÜ, edaspidi MSRD) kohase Eesti mereala seisundi hinnangu koostamine veealune müra (MSRD tunnus 11) valdkonnas ja selle sidususe tagamine Läänemere holistilise hinnanguga.

1.2. Oodatavad tulemused

- Lähtudes HELCOM'i metoodikastandardist Läänemere holistilise merekeskkonna seisundihinnangu koostamiseks, soovitada lahendus pideva veealuse müra surveteguri ("Baltic Sea Pressure Index", BSPI) ja mõjuteguri ("Baltic Sea Impact Index", BSII) määramiseks;

Surveteguri määramiseks on vaja lahendada järgnevad ülesanded:

- Loodusliku SPL määramise metoodika kirjeldus ja soovitused Eesti merealade jaoks;
- BSPI määramise metoodika kirjeldus Eesti merealade jaoks;
- BSII määramise metoodika kirjeldus Eesti merealade jaoks;
- Eesti mereala merekeskkonna esialgne seisundihinnang veealuse pideva heli (MSRD tunnus 11.2) osas.

2. Allvee akustika põhimõisted

2.1. Allikate tüübid

Allveemüra allikad jagatakse kaheks tüübiks – pideva laiaribalise müra allikad ja impulssmüra allikad:

- Pidev laiaribaline müra on omane liikuvatele allikatele, nagu liikuvad kruisi, cargo või muud laevad, või näiteks pinnasepumpsüvendaja, millega toimub merepõhja süvendamine.
- Impulssmüra genereeritakse peamiselt sonaritega, vaiade rammimisega või lõhkamistega, mis on vajalikud veealustes süvendus- ja kaadamistöodes.

2.2. Allveemüra intensiivsus

Helirõhu tase (Sound Pressure Level - SPL)

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \left(\frac{\int_0^T p_{rms}^2 dt}{p_{ref}^2} \right),$$

Ruutkeskmise helirõhu tase SPL (root-mean square - rms) on ruutkeskmise helirõhu tase antud sagedusribas ja ajaaknas T (ISO/CD 18405): rms SPL näitab keskmist helirõhku ajaperioodi T jooksul. Helirõhu tase SPL esitatakse detsibellides dB. Valemis on kasutusel võrdlusrõhk: $p_{ref} = 1 \mu\text{Pa}$.

2.3. Helirõhu taseme (SPL) määramine

Helitaseme edastamise kadu (Transmission Loss – TL, dB re $1 \mu\text{Pa}$) on helitase muutmise määr allika ja vastuvõtja vahel. Helilained levivad vees väga kiiresti ning jõuavad alates mõnest kilomeetrist kuni sadade kilomeetrite kaugustele. Mida madalam on sagedus ja sügavam vesi, seda kaugemale helilained levivad. Helitaseme jaotus veesambas sõltub peamiselt looduslike ja inimtekkeliste helide allikatest, batümeetriast, stratifikatsioonist, mere aluspõhja geoloogiast ja setetest. Tervikliku helivälja pildi võib saada vaid kasutades numbrilist modelleerimist, mis võtab arvesse kõiki vajalike vee ja piirde parameetreid ja ka mõõtmistulemusi. Kui vastuvõetud helitase (Received Level - RL, dB re $1 \mu\text{Pa}$) on teada, siis helitaseme edastamise kadu (TL, dB re $1 \mu\text{Pa}$) võib määrata kui

$$TL = SL - RL$$

milles SL on allika helitase (Source Level - SL, dB re $1 \mu\text{Pa}$ at 1 m), mis näitab kui suur on helitase ühe meetri kaugusel mõttelisest punktallikast. Laiaribalise müra jaoks on helitaseme edastamise kadu (TL), allika helitase (SL) ja vastuvõetud helitase (RL) määratud kui helirõhu tase (SPL).

2.4. Kolmandikoktaavid

Heli koosneb paljudest sageduskomponentidest. Helivõimsuse jaotust mingis sagedusribas näitab helispekter või helivõimsuste spektraaltihedus. Helispekter näitab helitasemete sõltuvust sagedusest ühikulise sageduse sammuga. Kvalitatiivse hinnangu andmiseks sobib tihti suurem sageduse samm. Seetõttu jagatakse helispekter suuremateks osadeks ehk sagedusribadeks. Akustikas on laialt levinud 1/3 oktaavi laiuste sagedusribade (tersband) kasutamine.

EL Merestrategie Raamdirektiiv (MSRD) pakub pideva inimtekkiliste helitasemete indikaatorsagedusvahemikeks kolmandik ($\frac{1}{3}$) oktaave kesksagedustel 63 Hz ja 125 Hz. Kuna mereimetajad on tundlikumad kõrgemate sageduste suhtes, siis BIAS projektis otsustati allveemüra mõõtmistulemusi analüüsida täiendavalt ka kolmandikoktaavi kesksagedusel 2 kHz.

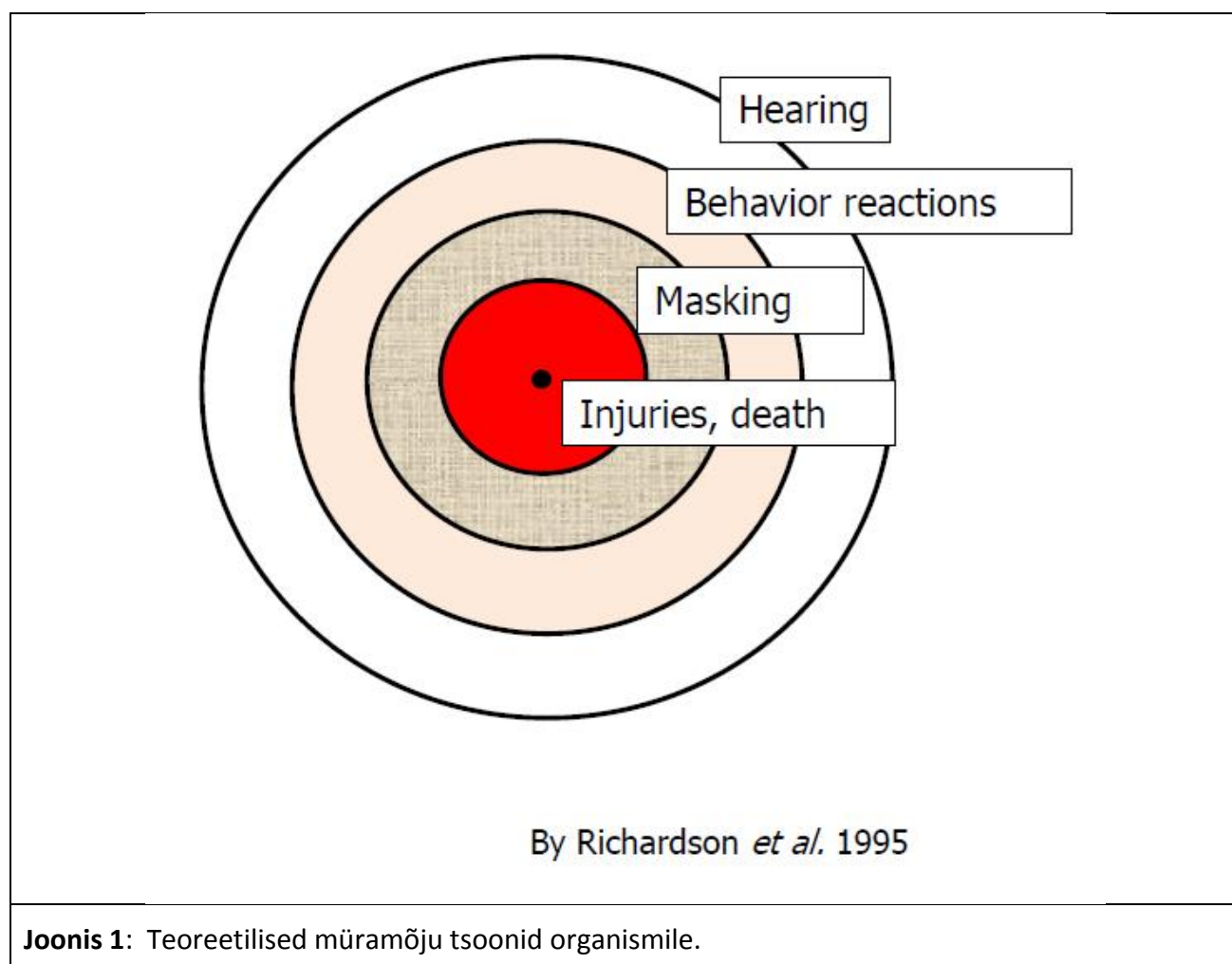
2.5. Müra mõjudest mereloomadele

Inimtegevuse mõju mereelustikule saab hinnata nii üksiku organismi kui ka populatsiooni tasemel. Olemasolevad hinnangud populatsiooni tasemel on puudulikud ning vajavad veel täiendavaid uuringuid. Tänapäeval on mõõdetud ligi 32 liigi mereimetaja audiogramme st kuulmise tundlikkuse graafiku sõltuvalt sagedusest. Bioloogilise riski hindamine tähendab müra mõju hindamist üksikutele mereloomadele ajutise, alalise kuulmisläve tõusu või käitumishäirete tekke seisukohalt (Southall et al., 2007).

Sõltuvalt kaugusest allika ja vastuvõtja vahel, müra mõju hindamiseks mereelustukule kasutatakse nelja tsooni (vt Joonis 1), milles müra

- i) on kuuldav;
- ii) kutsub esile mereloomade käitumisreaktsioone;
- iii) suurendab mereloomade stressi ning häirib nende arengut;
- iv) maskeerib mereloomade kommunikatsiooni;
- v) toob kaasa vigastuse ja surma.

Ohtlik tsoon on müraallika läheduses, mille ulatuses helirõhk on piisavalt kõrge, et põhjustada elusorganismi kudude kahjustusi, mis kutsuvad esile ajutist kuulmisläve tõusu (Temporary Threshold Shift - TTS), alalist kuulmisläve tõusu (Permanent Threshold Shift - PTS) või veelgi tõsisemaid kahjustusi nagu elusorganismi surm. Siiski nii olulisi kahjustusi tekitab impulssmüra, pideva müra kahjulik mõju piirdub mõjudega i) – iv).

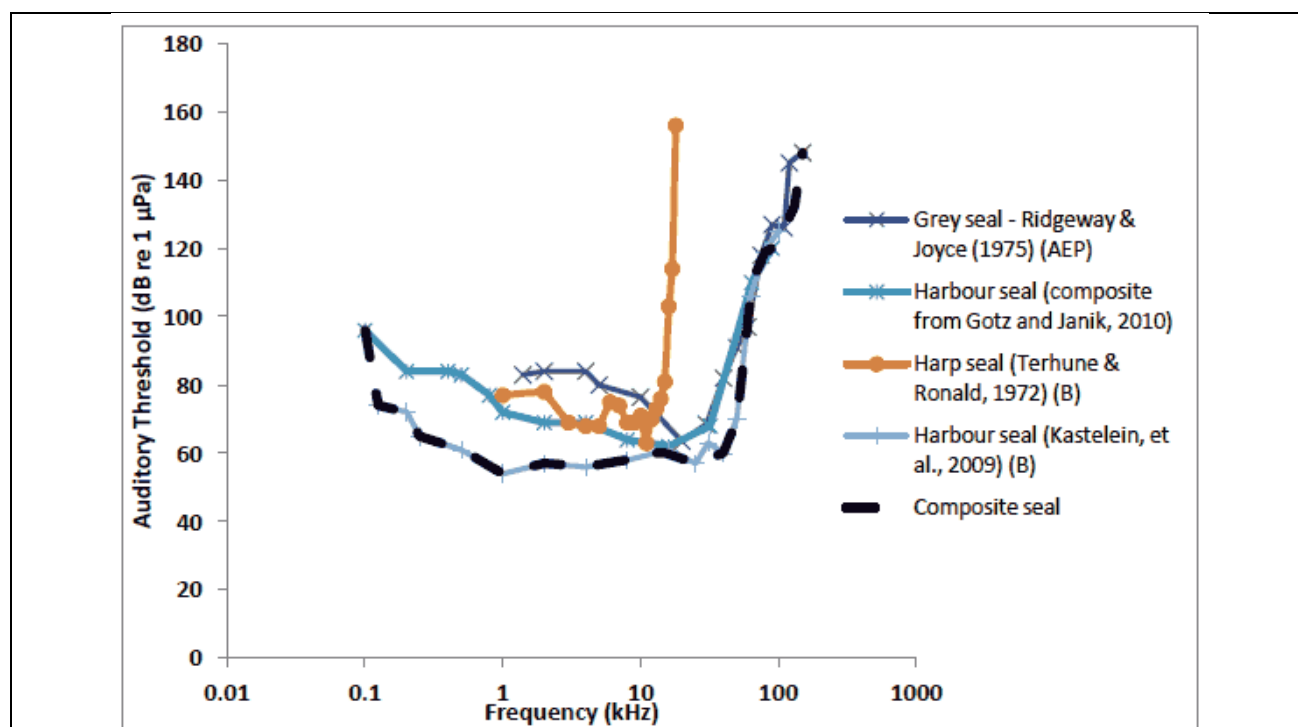


Merevees levib tavaliselt heli allikast omnidireksionaalselt ja müramõjude vähenemise tsoon on määratud raadiusega allikast. Erinevate mere loomaliikide jaoks erinevad SPL läviväärtused. On

olemas kaks peamist meetodit, et määrata heliga kaasnevat energiavälja mõju; esimene on suhteline ja teine absoluutne:

- i) Esimene meetod hindab tolerantse sõltuvalt iga liigi audiogrammist ja suhtelisest kuulmislävendist. Selle meetodi kasutamiseks on vajalik teada iga uurimispiirkonna loomaliigi jaoks audiogramm ja kuulmislävendeid. Praeguseks on teada piiratud arvu mereimetajate audigrammid;
- ii) Teine meetod võrdleb helivälju bioloogiliste läviväärtuste absoluutväärtustega, mis on määratud vastavalt mere loomaliigi klassi jaoks. Need läviväärtused on loetletud (Southall et al., 2007), ning võimaldavad hinnata mõjusid (vt Tabel 1).

Näiteks Eesti merealades elutsevad loivalased ei kasuta nn kajaloodimist nagu hammasvaalalised, vaid kasutavad lihtsamat audiosuhtlemise viise nii vees kui ka sellest väljaspool, mille parim kuuldavus on sagedustel 1-30 kHz (Richardson et al., 1995). Hüljestel on väga erinev kuulmisvõimekus õhus ja vees, ning uuringud näitavad, et loivalised on tundlikud laiema heli sagedusriba ulatuses just vees, kui seda võrrelda heli sagedusribaga õhus (Southall et al., 2007).



Joonis 2: Hüljeste audiogrammid, mille alusel on koostatud üldine kuulmislävend loivaliste klassi jaoks. (Scottish Marine and Freshwater Science Volume 4 Number 5: Modelling of Noise Effects of Operational Offshore Wind Turbines including noise transmission through various foundation types.)

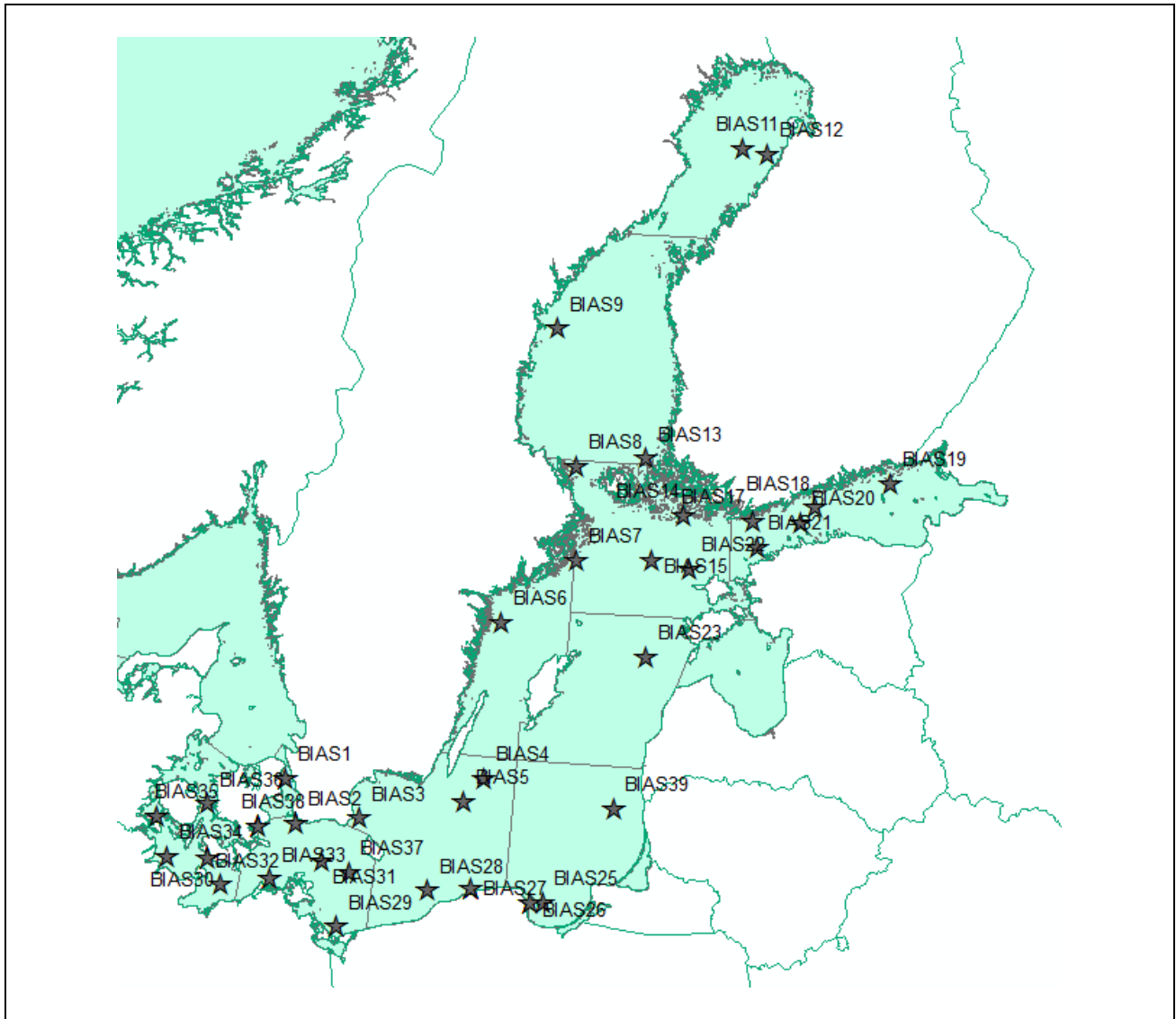
Veeloomadel on heli tuvastamiseks keerukas anatoomia. Läänemere mereimetajatel nagu hallhüljes (*Halichoerus grypus*, grey seal) ja viiGERhüljes (*Phoca hispida*, ringed seal), ning pringel (*Phocoena phocoena*,

harbour porpose) on arenenud veealused kuulmisvõimed. Mõnedel Läänemere kalaliikidel, nagu heeringas ja tursk on olemas hea kuulmisvõime, enamasti madalatel sagedustel, heli tekitamisvõime ja helidele reageerimisvõime. Teiste Läänemere kalaliikide ja enamuse selgrootute kohta on vähe teada, kuidas nad kuulevad ja kasutavad heli, kuigi eeldatakse, et enamikel meres elavatel liikidel on veealune heli tõenäoliselt osa nende kommunikatsioonist mõne elutsükli vältel (Popper et al., 2001).

3. Mõõtmis- ja modelleerimistööd

3.1. BIAS projekt

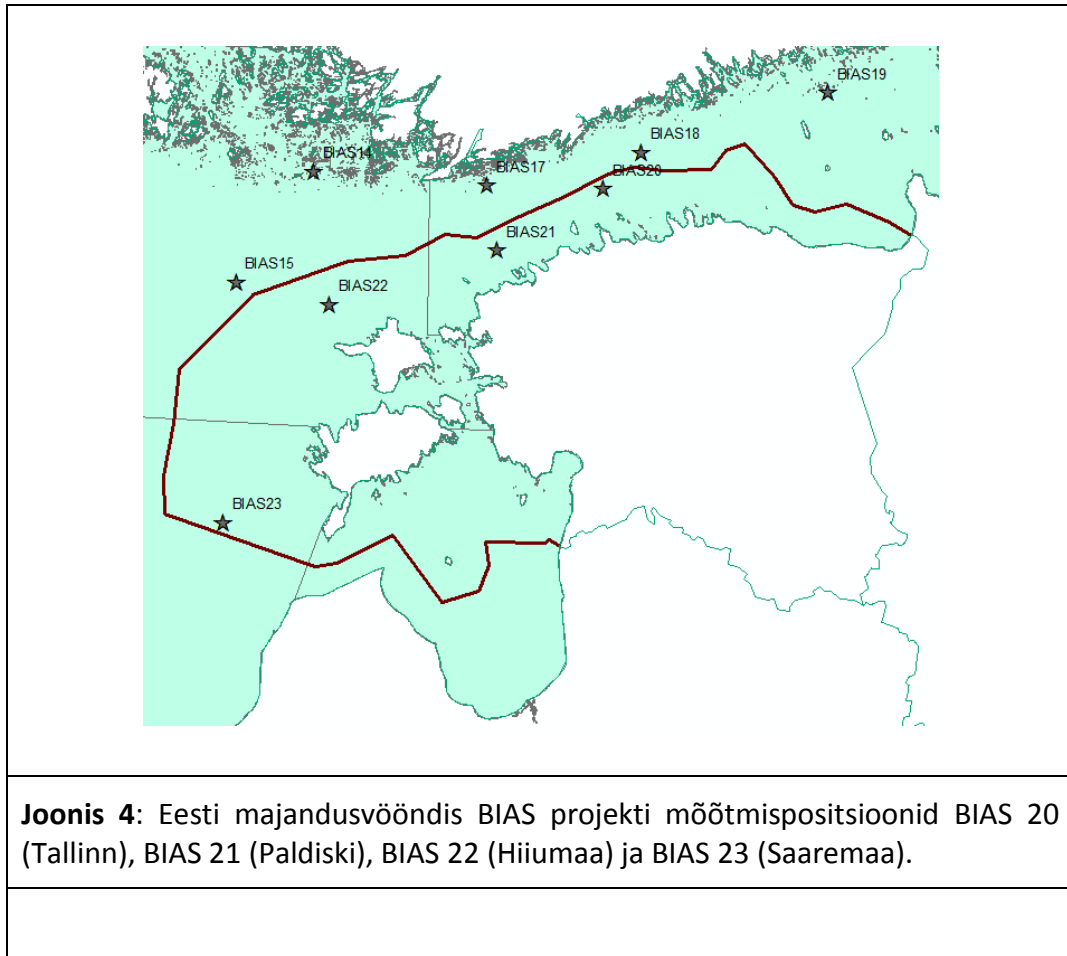
Helitasemed erinevates Läänemere osades on määratud nii looduslike kui ka inimtekkeliste allikatega. Heli meres sõltub nii laevaliikluse tihedusest kui ka veesamba omadustest, mis on sesoonselt muutuv ning võib nii soodustada kui ka pärssida heli levikut meres. BIAS projekti raames aastal 2014 on arendatud välja veealuse pideva heli mõõtmismetoodika standard (Verfuß et al., 2014) ning tehtud helitaseme salvestisi Läänemeres kokku 39 mõõtmispositsioonis (Joonis 3). Eesti majandusvööndisse uputatud neljas jaamas (BIAS 20, 21, 22 ja 23) on hüdroakustilised mõõtmised teostanud Tallinna Tehnikaülikool. BIAS projektis kogutud heli-salvestised lubavad määrata SPL keskmised ning näidata helirõhu muutuste sesoonset dünaamikat.



Joonis 3: BIAS projekti mõõtmispositsioonid Läänemeres.

3.2. Mõõtmistööd Soome lahes

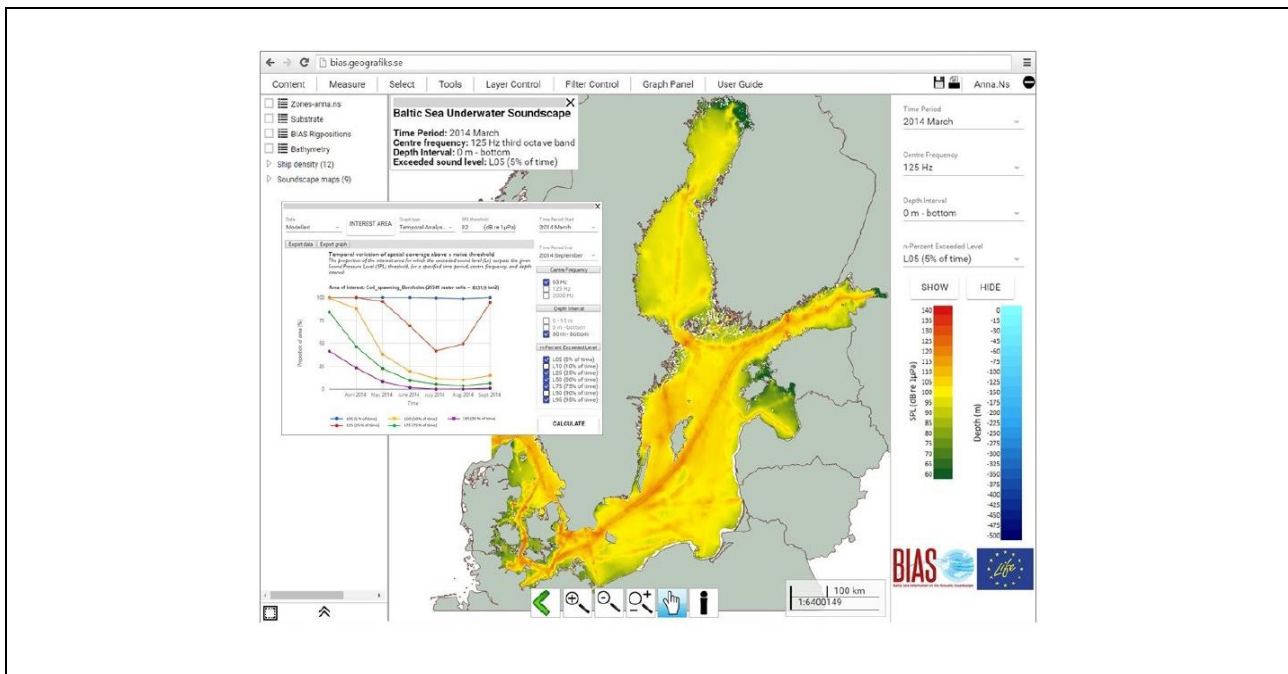
Eesti merealades läbi viidud mõõtmiste tulemusel on aastal 2014 kogutud helirõhu salvestised neljas mõõtmispositsioonis: BIAS20, 21, 22, 23 (Joonis 4). Soome lahe jaoks hüdroakustilisi mõõtmisi jätkatud mõõtmispositsioonis BIAS 20, alates 2015 novembri algusest kuni 2018 aasta märtsi lõpuni. Salvestisi on töödeldud vastavalt BIAS projekti signaalitöötlemise standarditele (Betke et al., 2015). BIAS projekti signaalitöötlemise standardid koos veealuse pideva heli mõõtmiste standarditega (Verfuß et al., 2014) teevad võimalikuks mõõtmistulemuste jagamise ja võrdlemise erinevate osapoolte vahel, kes ülalmainitud standardeid järgivad.



BIAS standardite põhjal on võimalik teisendada mõõdetud helirõhud salvestistes helirõhu tasemeteks (SPL) kolmandikoktaavide kesksagedustel 63, 125, 2000 Hz ja lairiba (10-10000 Hz), mis on esitatud kui 20 sekundi aritmeetiliste keskmiste, miinimumide ja maksimumide aegread. SPL aegridasi on kasutatud ajas ja ruumis keskmistatud heliväljade kaartide koostamisel. Veealuse heli mõõtmisandmete põhjal võib hinnata mõõtmispositsioonide ümbruses pideva madalasagedusliku veealuste helitasemete statistilisi parameetreid, nagu SPL suundumused (trendid) jm.

3.3. GIS-planeerimisvahend

Läänemere modelleeritud helitasemete visualiseerimise ja statistilise analüüsi jaoks on BIAS projekti raames koostatud internetipõhine planeerimisvahend (Joonis 5), mis võimaldab taasesitada ka mõõtmistulemusi mere punktides. Planeerimisvahendis on peamiselt kasutatud BIAS projekti mõõtmis- ja modelleerimistulemusi, mis on kooskõlla viidud AquaBiota Water Research (AquaBiota) eestvedamisel koostöös BIAS projekti koordinaatori Rootsi Kaitseuringute Agentuuri (FOI) ja kõigi BIAS projekti partneritega. Planeerimisvahendi koostamisel on lähtutud potentsiaalsete kasutajate arvamustest, eesmärgiga lisada funktsioone, mis hõlbustavad selle kasutamist merekeskkonna planeerimisel. BIAS internetipõhise planeerimisvahendi tarkvaralise aluse on koostanud Cartesia / Sokigo Addnode Group. Planeerimisvahend koosneb järgmistest tööriistadest: 2D vahend (Map View) ja 1D vahend (Graph Panel), mis võimaldavad kasutajal visualiseerida modelleeritud veealuste helirõhu tasemete ruumilisi ja ajalisi muutusi nii Läänemeres tervikuna, selle alambasseinides, kui ka mingis väiksemas merepiirkonnas vajadusel.



Joonis 5: BIAS internetipõhine planeerimisvahendi ekraanitõmmis (<http://bias.geografiks.se/>).

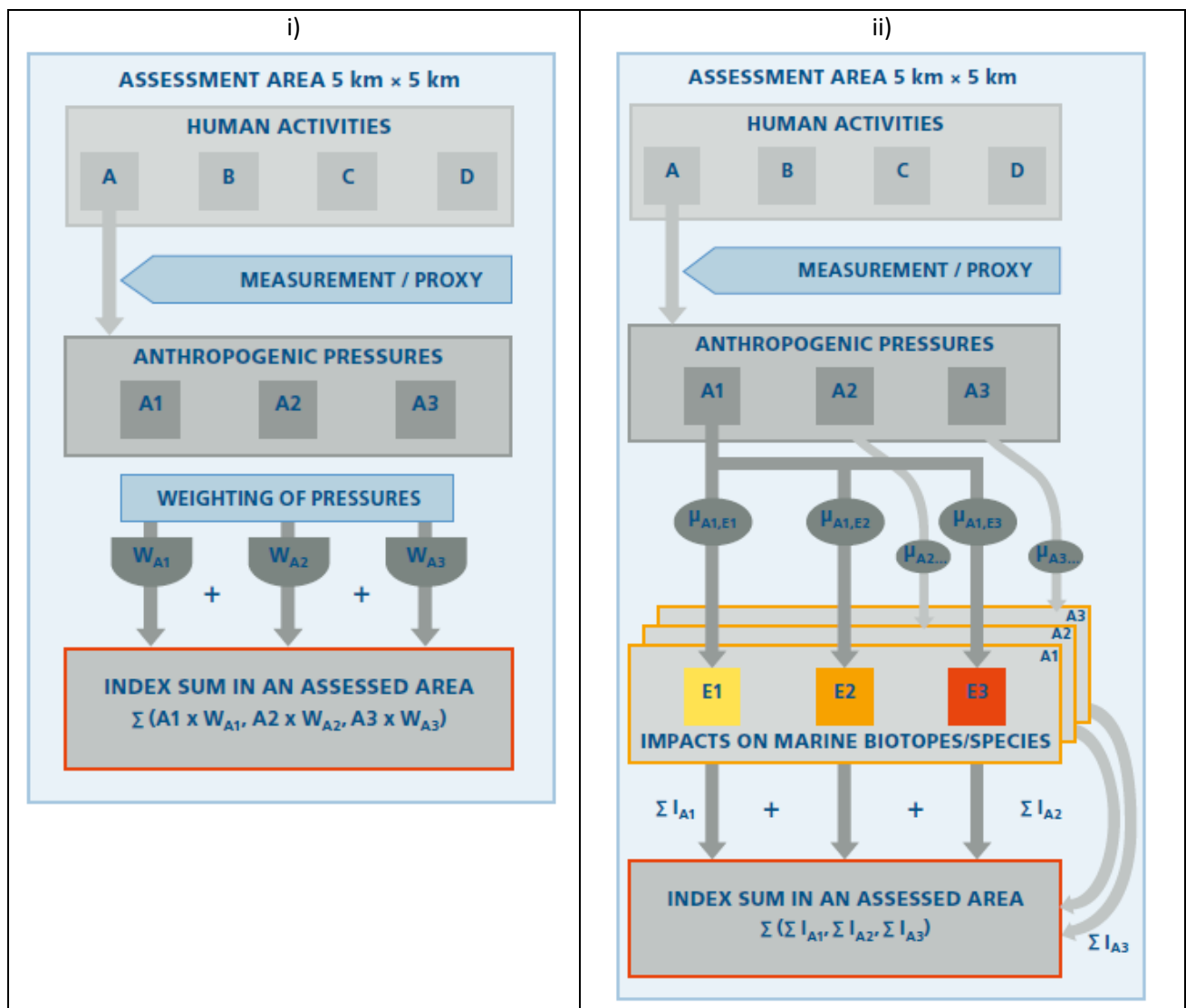
Merekeskkonna seisundihinnangu jaoks koosneb pideva inimtekkelise allveeheli sisend kolmest erinevast sügavuskihist (0 - 15 m, 0 - põhi ja 30 m - põhi) ja kolmest kolmandikoktaavi kesksagedusest (63 Hz, 125 Hz ja 2 kHz), mis on koostatud BIAS projekti modelleerimistöö raames ja kalibreeritud hüdroakustiliste mõõtmistega Läänemere 39 mõõtmispositsioonis. Heliväljade modelleerimise tulemustest on koostatud rasterkaardid, mida on võimalik kasutada modelleerimisandmete statistiliseks analüüsiks.

Tallinna Tehnikaülikoolis on välja töötatud internetipõhine GIS-andmeid kasutav planeerimisvahend (<https://www.ttu.ee/instituut/ehituse-ja-arhitektuuri-instituut/uurimisruhmad->

4/ [konstruktsiooni-ja-vedeliku-mehaanika/](#)), mis võimaldab visualiseerida BIAS helikaarte ja mõõtmisandmeid Eesti merelade jaoks.

4. Looduslikud- ja inimtekkelised helirõhu tasemed

4.1. HELCOM'i meetodikastandardid



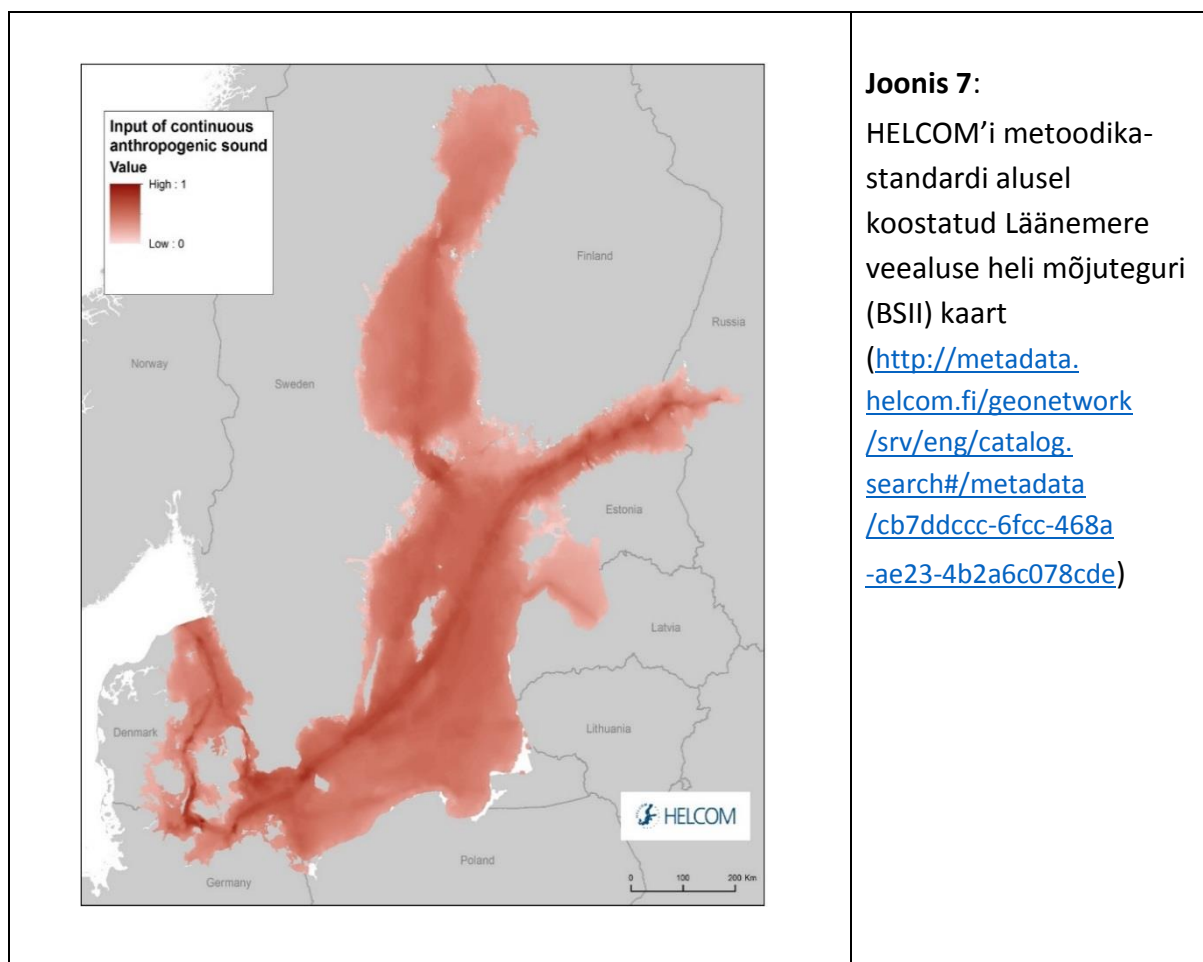
Joonis 6: HELCOM'i meetodikastandardite skeemid Läänemere i) surveteguri (BSPI) ja ii) mõjuteguri (BSII) määramise jaoks, mida kasutatakse holistilise merekeskkonna seisundihinnangu koostamiseks (Baltic Sea Environment Proceedings No. 122, HELCOM, 2010).

HELCOM'i meetodikastandardid näevad ette kahe teguri arvutamist. Survetegur (BSPI) peab näitama pideva inimtekkelise allveemüra jaotust Läänemeres. Tegur muutub nullist üheni, milles tase "0" tähendab, et inimtekkelise müra mõju puudub ja tase "1" näitab, et suhteliselt kaua kestva helirõhu mõju on maksimaalne.

Mõjutegur (BSII) arvestab müra mõjuga Läänemere loomaliikidele, arvestades iga müratundliku liigi (hammasvaalalised, loivalised jt) kuulmisvõimet.

HOLAS II veealuse heli surveteguri (BSPI) ja mõjuteguri (BSII) määramiseks oli kasutatud normeeritud heliväljade kaarte, mis on eeldatavasti koostatud järgnevatel põhimõtetel:

- i) Läänemere veealuse heli surveteguri (BSPI) määramiseks on kasutatud üle 2014 aasta (jaanuar - detsember) ja üle veesamba sügavuse (0 - põhi) keskmistatud BIAS kaardikihte esinevate kolmandikoktaavide kesksageduste 63 Hz, 125 Hz ja 2 kHz jaoks;
- ii) Läänemere veealuse heli mõjuteguri (BSII) määramiseks on BIAS kaardikihid keskmistatud ja normeeritud. Kõik kaardikihid on esitatud helirõhu taseme (SPL) jaoks ja ajaperioodiks on valitud 2014 aasta (jaanuar - detsember). Valitud on sügavusvahemik 0 - põhi, mis iseloomustab veealust heli kogu veesamba ulatuses. Normeerimise jaoks on valitud helitasemete vahemik 50 dB – 120 dB.



Joonisel 7 esitatud kaart on valminud ilma HELCOM'i EN-Noise ekspertrühma otsese osalemiseta, ning seetõttu valmistatakse ette ekspertrühma ettepanekud surveteguri (BSPI) määramiseks. Kuna Läänemere jaoks puudub hetkel teadlaste poolt üldtunnustatud surve- ja mõjutegurite määramise metoodika, siis käesolevas aruandes on esitatud üks võimalik metoodika Eesti merealade jaoks.

Siinjuures peab rõhutama, et tegu on esialgse lahendusega, mida edaspidi parendatakse holistilise merekeskkonna seisundihinnangute koostamise jaoks.

4.2. MSRD pideva veealuse heli indikaatorsagedus

Helirõhku Läänemeres on mõõdetud tervikliku uurimistööna 2014 aasta jooksul, projekti Läänemere helipildi informatsioon (BIAS) raames. Mõõtmisandmeid on kasutatud modelleeritud helirõhu tasemete (SPL) kaartide koostamiseks, mis näitavad pideva veealuse heli ruumilist ja ajalist jaotust erinevates kolmandikoktaavide sagedusribades üle kogu Läänemere (kolmandikoktaavide kesksagedused 63 Hz, 125 Hz ja 2 kHz). Helitasemete madalamad sagedusribad vastavad laevade poolt tekitatud mürale ja helitasemete kõrgem sagedusriba (2 kHz) on olulise ökoloogilise tähtsusega, kuna paremini vastab mereimetajate kuulmistundlikkusele. BIAS helitasemete kaardid näitavad pideva veealuse heli esinemist erinevates merealades, mille abil on võimalik hinnata SPL ajalisi ja ruumilisi jaotusi. Jätkuvalt viiakse läbi allveeheli seiret mitme Läänemere riigi merealades, et jätkata mõõtmisi piirkondlike programmide täitmiseks.

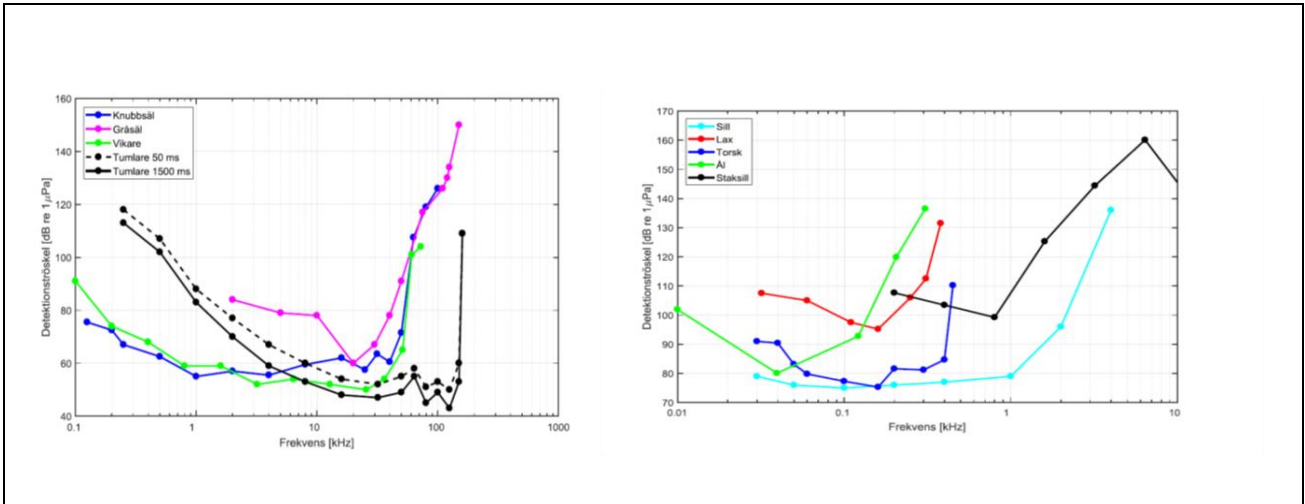
Inimtekkilise SPL indikaatorsageduse määramise esimene küsimus on see, millist kesksagedust kasutada?

Läänemere müratundlikel loomaliikidel on erinevad kuulmisvahemikud (HELCOM, 2016). Mere loomaliikide kuulmislävendid on esitatud Tabelis 1. Näiteks võib eeldada, et loivalistel on sarnane kuulamisfunktsioon, kuigi enamuse Tabelis 1 toodud loomaliikide jaoks ei ole kuulmislävend kesksagedusel 125 Hz teada. Läänemeres elava hammasvaalalise kuulmislävend on teada näiteks sagedusel 250 Hz. Tabelist on näha, et kuulmislävendid on enamasti indikaatorsageduse 125 Hz läheduses.

Tabel 1: Läänemere loomaliikide kuulmislävendid.

Mereloom	Sagedus (Hz)	Kuulmislävend (dB re 1 μPa)
Randal	125	75
Viigerhüljes	100	90
Hallhüljes	140	84
Pringel	250	113
Tursk	100	77
Heeringas	100	75

--	--	--



Joonis 8. Läänemere müratundlike loomaliikide audiogrammid.

Kolmandikoktaavi kesksageduse 125 Hz kasutamise täiendavaks argumendiks on ka asjaolu, et madalsagedusliku müra levik madalas meres on oluliselt piiratud.

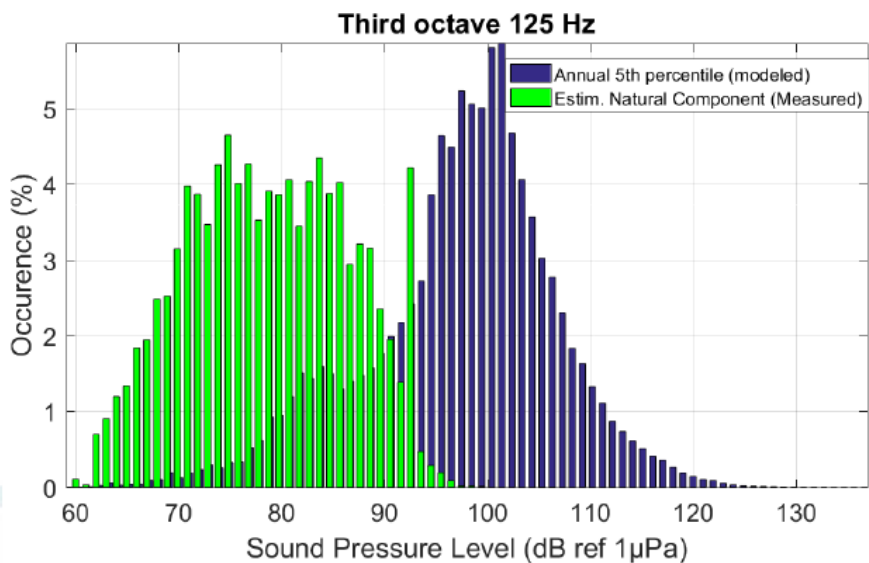
4.3. Surveteguri (BSPI) ja mõjuteguri (BSII) määramise põhimõtted

1. Piirduetakse kolmandikoktaavi kesksageduse 125 Hz kasutamisega surveteguri määramiseks;
2. Surveteguri väärtuse "0" tasemele vastab olukord, mille juures merealal praktiliselt puudub inimtekkeline mõju. Sellisel juhul valitseb looduslik heli, mida põhjustavad peamiselt looduslikud protsessid nagu merelained;
3. Surveteguri väärtuse "1" tasemele vastab olukord, mille juures mereala jaoks on maksimaalne inimtekkeline mõju, mis on kestav ning olulisel määral ületab loodusliku fooni helitaset;
4. Kuna täpne informatsioon mereloomade paiknemise tiheduse kohta hetkel on puudulik, siis võib oletada, et elustik on merealal jaotatud ühtlaselt. Sellisel juhul on mõjutegur tinglikult määratud iga mere loomaliiki jaoks eraldi, ning võib olla asendatud surveteguriga;
5. Kuna teadmised pideva veealuse heli pikaajalisest mõjust elustikule on puudulikud, siis lõplikud hinnangud saavad olla oletuslikud.

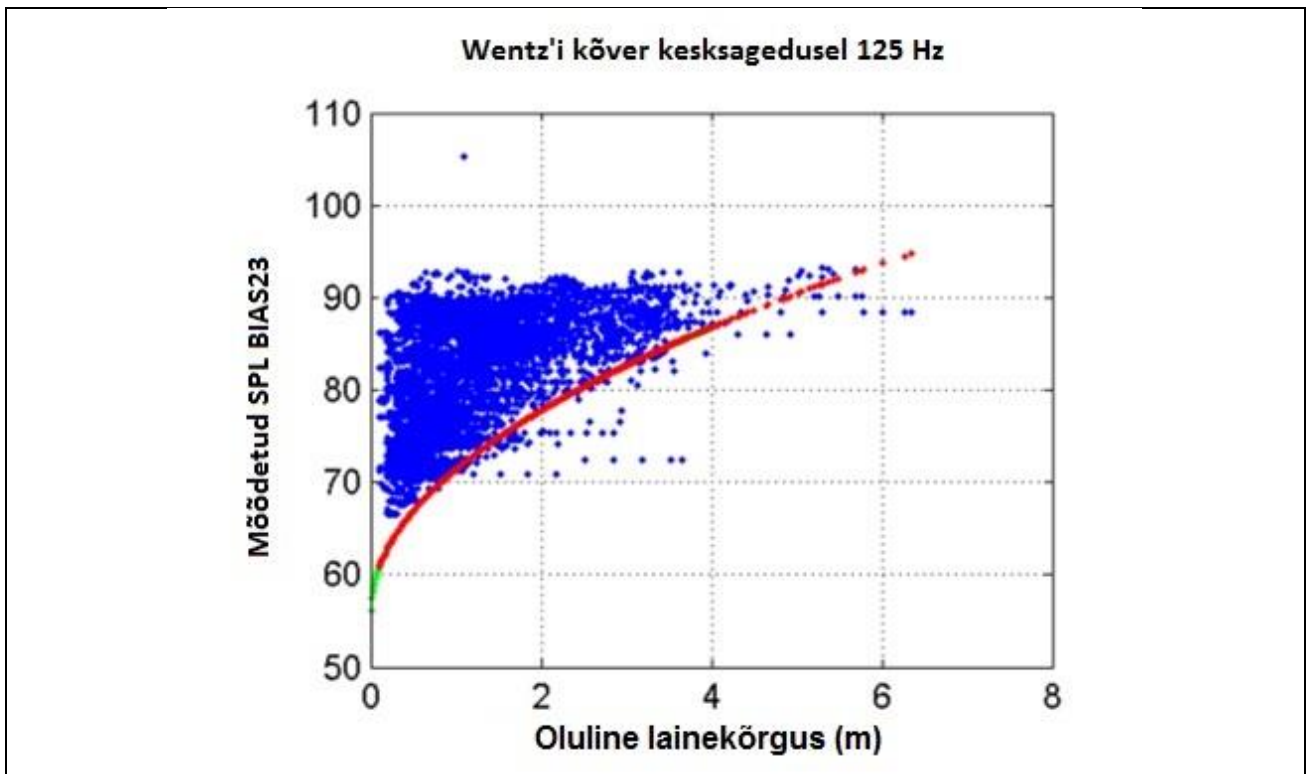
4.4. Looduslikud helirõhu tasemed Läänemeres

Surveteguri väärtuse vahemik ei tohiks hõlmata looduslikest allikatest pärinevaid helisid (vt Joonisel 8 esitatud mõõdetud loodusliku ja modelleeritud inimtekkelise helitasemete ületamise määraga 5%

jaotused indikaatorsagedustel 125 Hz), kuna looduslike helidega harjuvad mereloomad kergemini. BIAS projekti raames koguti hüdroakustilisi mõõtmisandmeid aasta 2014 jooksul, mida sai kasutada Läänemere Wenzli kõverate koostamiseks. Need kõverad saadi kasutades mõõdetud helirõhu andmeid, mis vastasid helitasemete ületamise määrale 98%. Joonisel 9 on esitatud olulise lainekõrguste ja helitasemete sõltuvus Läänemere ühes mõõtmisjaamas BIAS 23 (Saaremaa). Jooniselt 9 selgub, et SPL võib olla maksimaalselt 88-94 dB re 1 μ Pa, ning see vastab olulisele lainekõrgusele 4 - 6 m.



Joonis 8. Mõõdetud loodusliku ja modelleeritud inimtekkelise helirõhutasemete (SPL) ületamise määraga 5% jaotused indikaatorsagedustel 125 Hz.



Joonis 9. Lainekõrgusest sõltuv helirõhu tase kolmandikoktaavriba kesksageduse 125 Hz jaoks mõõtmispositsioonis BIAS 23 (Saaremaa). Siniste punktidega on esitatud seos helitaseme ja olulise lainekõrguse jaoks. Punase kõverjoonega on näidatud Wentz'i kõver (personaalne kommunikatsioon Thomas Folegot, QO, Märts 2018).

Kasutades suuremat mõõtmisandmete kogumit (kaheksa BIAS A-kategooria mõõtmispositsiooni Läänemeres) selgub, et kolmandikoktaav kesksageduse 125 Hz jaoks on looduslike helide mõõdetud SPL vahemikus 60 - 95 dB re 1 μ Pa (Joonis 8). Need tulemused näitavad, et loodusliku helitaseme keskväärtus Läänemere avaosas jaoks on ca 90 dB re 1 μ Pa. Soome lahes on laine kõrgused madalamad ning seetõttu on seal looduslik helitaseme ca 85 dB re 1 μ Pa ning Liivi lahes ca 75 dB re 1 μ Pa. Seega Läänemere erinevates basseinides on looduslikud helitasemed erinevad.

4.5. Inimtekkelised helirõhu tasemed Läänemeres

Inimtekkelise helitaseme maksimaalse mõju määramiseks võib kasutada mitut alternatiivset SPL väärtust:

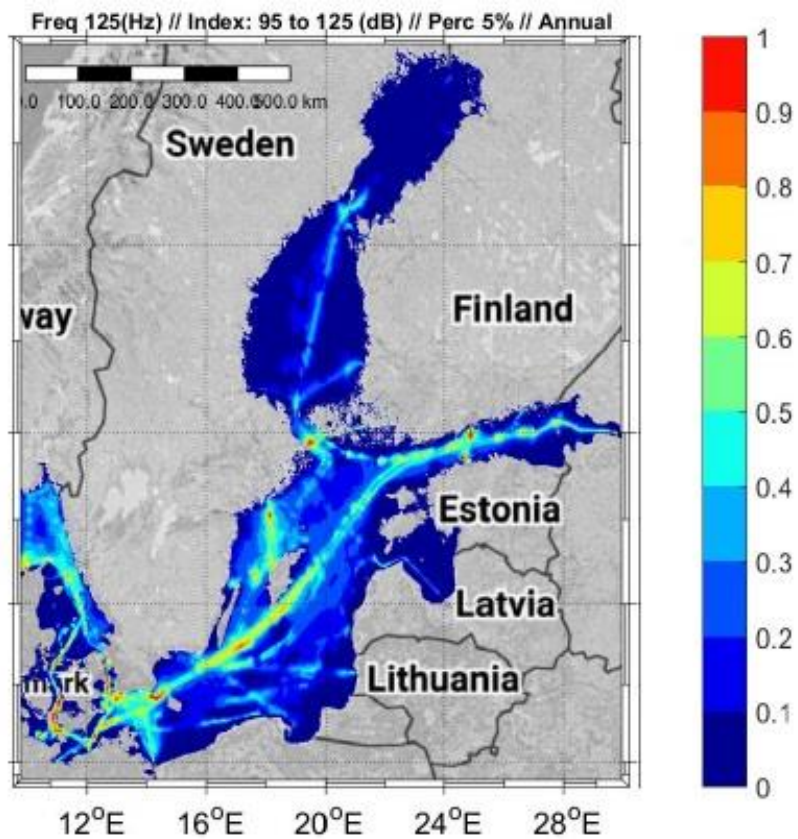
- i) BIAS projektis modelleeritud helirõhu taseme kõrgeimat väärtust kolmandikoktaav kesksageduse 125 Hz jaoks. See on 137 dB re 1 μ Pa, mis on saadud Taanis väinade piirkonnas jaoks;
- ii) BIAS projektis mõõdetud helirõhu taseme kõrgeimat väärtust kolmandikoktaav kesksageduse 125 Hz jaoks. Mõõtmispositsioonis BIAS 31 (Fehmarnbelt) mõõdetud 155 dB re 1 μ Pa, mis on kõrgeim aasta maksimaalne keskmine.

Läänemere inimtekkelise helitaseme kõrgeimat väärtust kolmandikoktaav kesksageduse 125 Hz jaoks võib kasutada surveteguri (BSII) väärtuse "1" taseme jaoks.

5. Läänemere BSPI määramise näide

Läänemere pideva veealuse heli surveteguri määramiseks on valik valida indikaatorsagedus. BIAS projekti (www.bias-project.eu) modelleerimistöö raames koostatud heliväljade kaardid MSRD indikaatorsagedusvahemike jaoks, mis on esitatud kolmandikoktaavi kesksagedustel 63 Hz ja 125 Hz. BIAS projekti raames on esitatud ka mõõtmis- ja modelleerimisandmed, mis on helitasemete jaoks kolmandikoktaavi kesksagedusel 2 kHz. Seda põhjusel, et mereimetajad on tundlikumad kõrgemate sageduste suhtes. Siiski tuleb teha otsused selle kohta, milliseid SPL väärtusi kasutada surveteguri väärtuste "0"- ja "1"-taseme jaoks, st määrata SPL vahemik normeerimiseks.

Aruande osas 4 "Looduslikud- ja inimtekkelised helirõhu tasemed" esitatud põhjenduste alusel võib soovitada Läänemere surveteguri (BSPI) määramisel võtta kasutusele indikaatorsagedus 125 Hz ja selle kolmandikoktaav sagedusriba aasta keskmist ja üle kogu sügavuse (0 – põhi) keskmistatud helirõhutaseme väärtusi. Normeeritud surveteguri väärtuse jaoks tuleks valida helitasemete ületamise määr 5%, mis vastab suhteliselt hästi inimtekkelisele helile Läänemeres. Surveteguri väärtuste normeerimise "0"- ja "1"-taseme jaoks võib kasutada vastavaid SPL väärtuseid 92 dB re 1 μ Pa ja 127 dB re 1 μ Pa (vt Joonis 10).



Joonis 10. Läänemere surveteguri üks võimalik kaart (personaalne kommunikatsioon Thomas Folegot, QO, Märts 2018).

6. Merekeskkonna seisundihinnang

Surveteguri määramise aluseks võib võtta veealuse pideva heli ruumilise jaotuse hindamispiirkonnas. Selleks kasutatakse BIAS planeerimisvahendi funktsiooni, mis lubab määrata helitasemete ületamise määra 5% (L05) ruumilise jaotuse. L05 helitase antud hindamisalas muutub selliselt, et väiksemas alas (heliallikate lähedal) on helitase kõrgem ja suurema ala piires on helitase madalam. Madalaim L05 helitase vastab peamiselt tugevamate looduslikutele allikatele (talve tormid) ning kõrgeim L05 tase vastab kõige tugevamatele inimtekkelistele pidevmüra allikatele (laevaliiklus). Saadud helitasemete vahemik jagatakse 10 dB re 1 μ Pa intervallideks, mis on aluseks surveteguri väärtuste normeerimisele vahemikus "0"- ... "1"-tase. Mõjutegur on võrdustatud surveteguriga st BSPI = BSII.

Eesti mereala on jaotatud kolmeks piirkonnaks:

6.1) Soome laht,

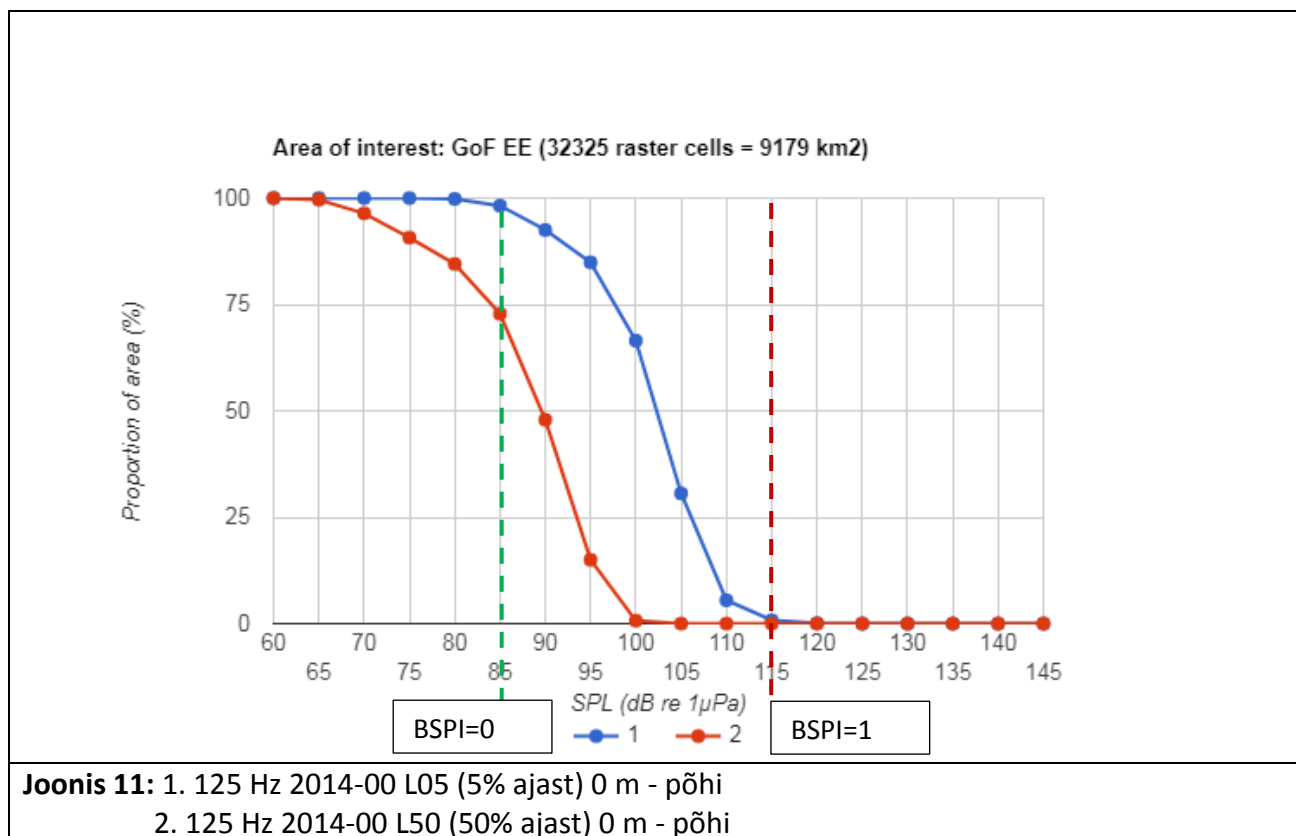
6.2) Avameri ja

6.3) Liivi laht ja Väinameri.

Läänemere kaardilt arvutatakse vastava mereala piirkonna suurus, milles esineb loodusliku müratase ületamine. Esmalt määratakse BIAS planeerimisvahendiga loodusliku helitaseme väärtus, mis esineb praktiliselt 100% valitud piirkonnast. Seejärel määratakse mereala osasuured valitud piirkonnas, mille jaoks on loodusliku helirõhu taset ületatud 10 dB re 1 μ Pa, 20 dB re 1 μ Pa ja 30 dB re 1 μ Pa võrra. See võimaldab arvutada valitud merepiirkonna osapindalad, milles on erinevad inimtekkelise heli helitasemed, ning määrata BSPI ligikaudse väärtuse. Kõikide Eesti mereala piirkondade jaoks on erinevad looduslikud helitasemed kuid sama normeerimisvahemik 30 dB re 1 μ Pa.

6.1. Soome laht (GoF)

Mõjuteguri (BSPI) määramine Soome lahe jaoks kasutades GIS-planeerimisvahendi valitud piirkonna ruumilise analüüsi tööriista helitasemete ületamise määra 5% (L05) jaoks. Tulemusi on võrreldud helitasemete ületamise määraga 50% (L50).



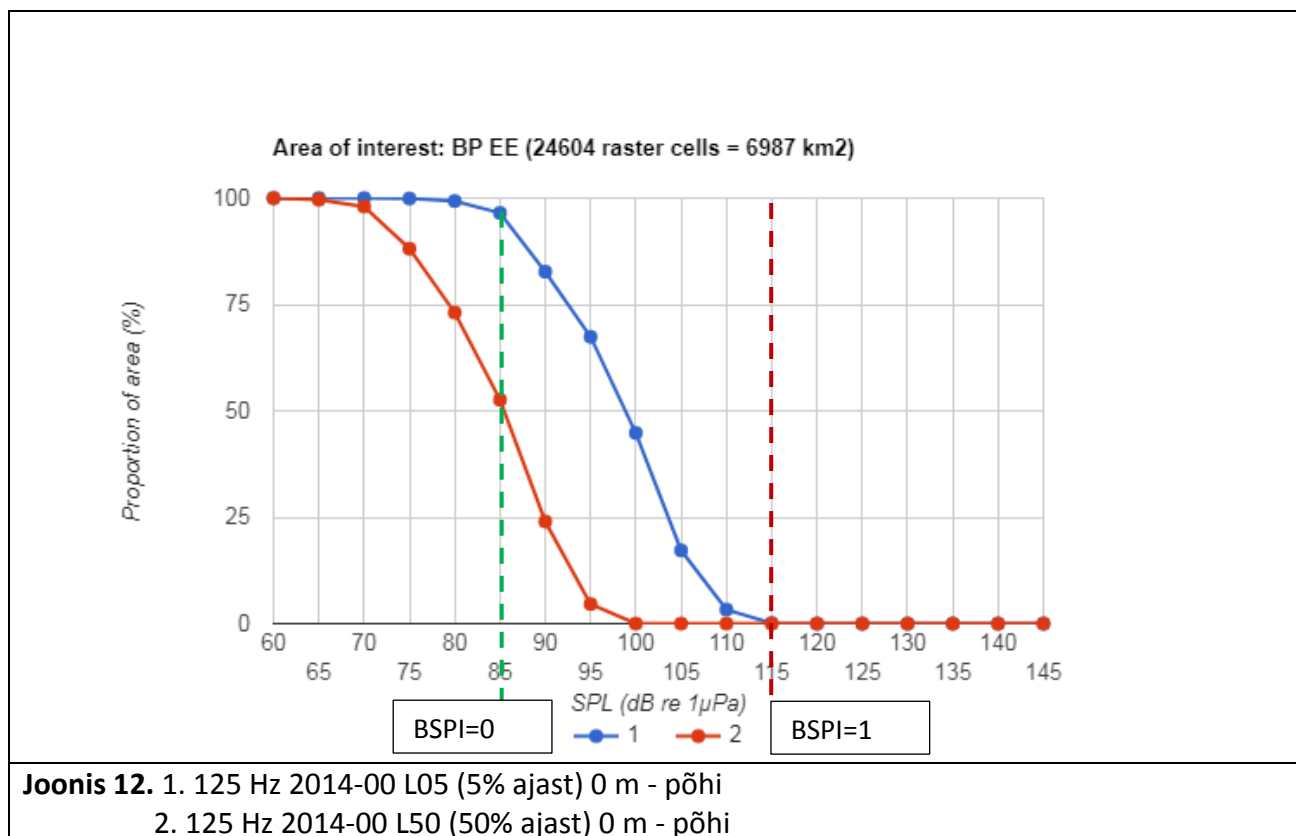
Ala: GoF EE (9179 km²)

SPL (dB re 1µPa)	Mereala osa (%): ületamise määr (5% ajast)	Mereala osa (%): ületamise määr (50% ajast)
60	100	100
65	100	99.6
70	100	96.4
75	100	90.7
80	99.8	84.5
85	98.2	72.8
90	92.5	47.9
95	84.9	15
100	66.5	0.7
105	30.6	0
110	5.5	0
115	0.8	0
120	0.1	0
125	0	0

loodusliku tase ületamine	Mereala osa %	BSPI vahemik	
0dB	15.1	0.0 kuni 0.25	3.775
10dB	54.3	0.25 kuni 0.5	27.15
20dB	29.8	0.5 kuni 0.75	22.35
30dB	0.8	0.75 kuni 1.0	0.8
	100		54.08
		BSPI keskmine	0,54

6.2. Avameri (BP)

Mõjuteguri (BSPI) määramine Avamere jaoks kasutades GIS-planeerimisvahendi valitud piirkonna ruumilise analüüsi tööriista helitasemete ületamise määra 5% (L05) jaoks. Tulemusi on võrreldud helitasemete ületamise määraga 50% (L50).



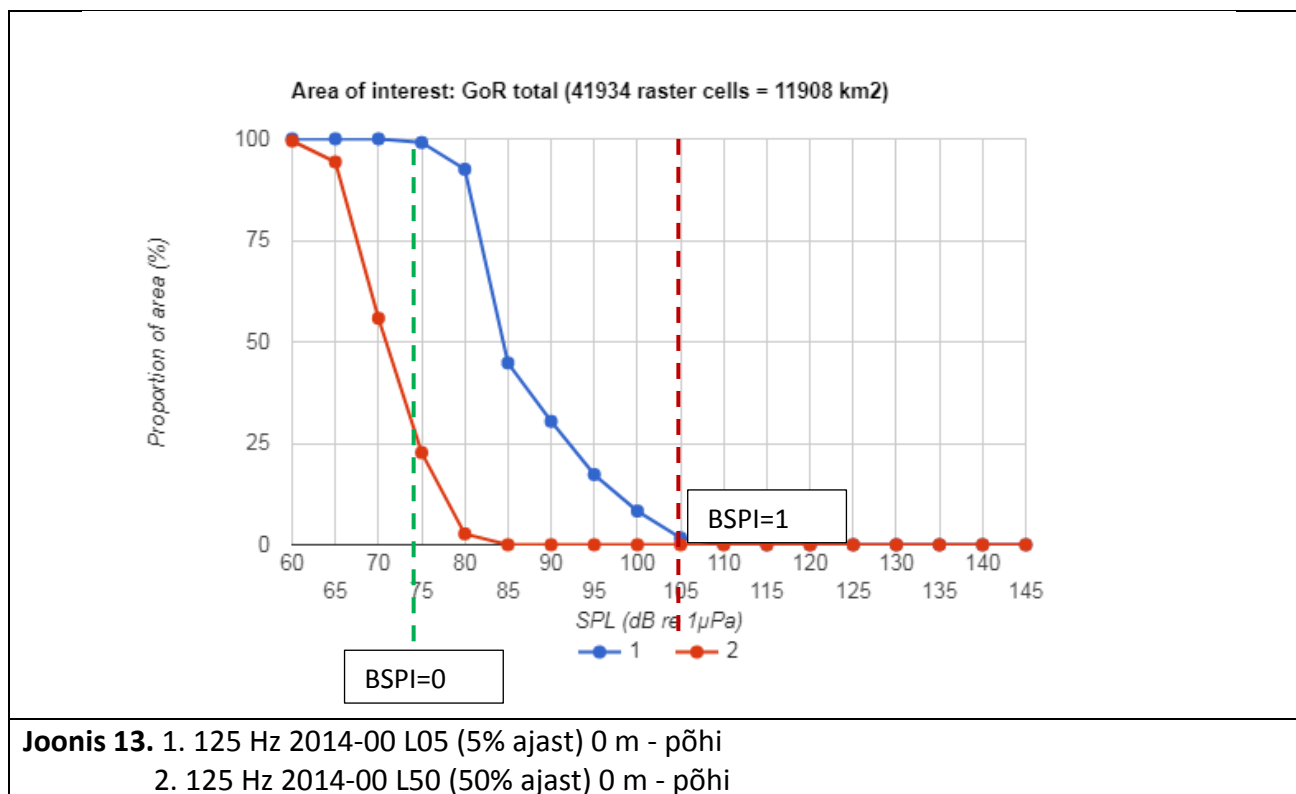
Ala: Avameri (6987 km²)

SPL (dB re 1µPa)	Mereala osa (%): ületamise määr (5% ajast)	Mereala osa (%): ületamise määr (50% ajast)
60	100	100
65	100	99.6
70	100	98
75	99.9	88.1
80	99.3	73.1
85	96.5	52.6
90	82.7	24
95	67.4	4.6
100	44.8	0
105	17.2	0
110	3.3	0
115	0.1	0
120	0	0
125	0	0

loodusliku tase ületamine	Mereala osa %	BSPI vahemik	
0dB	32.6	0.0 kuni 0.25	8.15
10dB	50.2	0.25 kuni 0.5	25.1
20dB	17.1	0.5 kuni 0.75	12.8
30dB	0.1	0.75 kuni 1.0	0.1
	100		46.18
		BSPI keskmine	0,46

6.3. Liivi laht (GoR)

Mõjuteguri (BSPI) määramine Liivi lahe, kaasarnatud Väinameri, jaoks kasutades GIS-planeerimisvahendi valitud piirkonna ruumilise analüüsi tööriista helitasemete ületamise määra 5% (L05) jaoks. Tulemusi on võrreldud helitasemete ületamise määraga 50% (L50).



Ala: GoR (11908 km²)

SPL (dB re 1µPa)	Mereala osa (%): ületamise määr (5% ajast)	Mereala osa (%): ületamise määr (50% ajast)
60	100	99.5
65	100	94.3
70	100	55.8
75	99.1	22.7
80	92.5	2.7
85	44.8	0
90	30.4	0
95	17.3	0
100	8.3	0
105	1.7	0
110	0.1	0

loodusliku tase ületamine	Mereala osa %	BSPI vahemik	
0dB	55.2	0.0 kuni 0.25	13.8
10dB	27.5	0.25 kuni 0.5	13.8
20dB	15.6	0.5 kuni 0.75	11.7
30dB	1.7	0.75 kuni 1.0	1.7
	100		41.0
		BSPI keskmine	0,41

115	0	0
120	0	0
125	0	0

7. Kokkuvõte ja soovitused

Kuna hetkel Läänemere veealuse pideva heli surve teguri määramise üldtunnustatud meetodika puudub, siis käesolevas aruandes on tehtud katse Eesti meetodika väljaarendamiseks. Eesti lahendus hindab inimtekkelise müra ruumilist ulatust ja mõju mereloomadele Läänemeres vastavalt BIAS projekti modelleerimistöõ raames koostatud helitasemete kaartidega. Siinjuures peab rõhutama, et tegu on esialgse hinnanguga, mida edaspidi parendatakse holistilise merekeskkonna seisundihinnangute koostamise jaoks. Eesti mereala hinnangutest on määranud inimtekkelise müra ületamise määrad nii loodusliku mürafooni suhtes kui ka ruumiliselt.

Tehtud esialgne Eesti mereala kolme piirkonna (GoF, BP ja GoR) analüüs näitab:

1. Soome lahes inimtekkeline müra ületab (5% ajast) kõrge loodusliku müra taseme vähemalt 10dB re 1 μ Pa ligikaudu poolel hindamispiirkonnast, mis on tingitud lahe keskel paiknevatest laevateedest. Arvutatud BSPI väärtus on 0,54.
2. Eesti avamere alal on looduslik müratase kõrgem ja inimtekkelise müra esineb suhteliselt vähem kui Soome lahes. Arvutatud BSPI väärtus on 0,46.
3. Liivi laht ja Väinameri on vaiksaim Eesti mereala piirkond, milles on suhteliselt madal looduslik müratase 75 dB re 1 μ Pa. Arvutatud BSPI väärtus on 0,41.
4. Saadud tulemustest võib järeldada, et inimtekkeline veealune pidev heli esineb külalt suurel osal Eesti merealast, ning on olemas potentsiaal pikaajalise mõju avaldamiseks mere loomaliikidele, mille eluks vajalikud toimingud on seotud laevaliinide lähedusega. Samas on olemas ka piisavalt suur mereala, milles domineerivad looduslikud helitasemed, ning mereloomad ei ole oluliselt häiritud laevamürast.
5. Täpsem informatsioon mereloomade elupaikade kohta hetkel puudub, ning selleks on vajalikud täiendavad uuringud. Kui oletada, et elustik on merealal jaotatud ühtlaselt, siis surve teguri (BSPI) võib tinglikult asendada mõjuteguriga (BSII).
6. Teadmised pideva müra pikaajalistest mõjudest mere loomaliikidele on puudulikud, kuid uute uuringute tulemuste valguses saab teha täpsemaid järeldusi merekeskkonna seisundihinnangu jaoks, mis võimaldab määrata hea keskkonna seisundi (HKS).

Kasutatud kirjandus

Asariotis, R., Benamara, H., Finkenbrink, H., Hoffmann, J., Lavelle, J., Misovicova, M., Valentine, V., Youssef, F., 2011. Review of maritime transport 2011. Technical Report E.11.II.D.4. United Nations conference on trade and development.

Andrew, Rex K., Bruce M. Howe, and James A. Mercer. "Long-Time Trends in Ship Traffic Noise for Four Sites off the North American West Coast." *The Journal of the Acoustical Society of America* 129, no. 2 (2011): 642–651.

Baltic Sea Environment Proceedings No. 122, HELCOM, 2010

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.

Chapman, N. Ross, and Andrea Price. "Low Frequency Deep Ocean Ambient Noise Trend in the Northeast Pacific Ocean." *The Journal of the Acoustical Society of America* 129, no. 5 (2011): EL161–EL165.

Dekeling, R. P. A., Tasker, M. L., Ainslie, M. A., Andersson, M., André, M., Castellote, M., et al. 2013. Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas – 2nd Report of the Technical Subgroup on Underwater noise (TSG Noise). Part I –Executive Summary. Interim Guidance Report. 12 pp.

Dekeling, R. P. A., Tasker, M. L., Ainslie, M. A., Andersson, M., André, M., Castellote, M., et al. 2013. Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas – 2nd Report of the Technical Subgroup on Underwater noise (TSG Noise). Part II –Monitoring Guidance Specifications. Interim Guidance Report. 26 pp.

Dekeling, R. P. A., Tasker, M. L., Ainslie, M. A., Andersson, M., André, M., Castellote, M., et al. 2013. Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas – 2nd Report of the Technical Subgroup on Underwater noise (TSG Noise). Part III –Background Information and Annexes. Interim Guidance

Eesti Keele Sihtasutus, Eesti õigekeelsussõnaraamat ÕS (2013) Tallinn, 2013.

European Parliament and the Council of the European Union, 2008. Directive 2008/56/ec of the European parliament and of the council of 17 June 2008 establishing a framework for community

action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive). Off. J. Eur. Union L164, 19–40.

Frisk, George V. "Noiseconomics: The Relationship between Ambient Noise Levels in the Sea and Global Economic Trends." *Scientific Reports* 2 (2012): 437.

Garrett, J. K., Ph Blondel, Brendan J. Godley, S. K. Pikesley, M. J. Witt, ja L. Johannning. „Long-term underwater sound measurements in the shipping noise indicator bands 63Hz and 125Hz from the port of Falmouth Bay, UK“. *Marine Pollution Bulletin* 110, nr 1 (2016): 438–448.

Merchant, Nathan D., Kate L. Brookes, Rebecca C. Faulkner, Anthony WJ Bicknell, Brendan J. Godley, ja Matthew J. Witt. „Underwater noise levels in UK waters“. *Scientific Reports* 6 (2016). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5103265/>.

Nikolopoulos A., Sigray P., Andersson M., Carlström J., Lalander E., 2016: BIAS Implementation Plan - Monitoring and assessment guidance for continuous low frequency sound in the Baltic Sea, BIAS LIFE11 ENV/SE/841. Available from www.bias-project.eu.

Ross, Donald. "Ship Sources of Ambient Noise." *IEEE Journal of Oceanic Engineering* 30, no. 2 (2005): 257–261.

Sigray, P.; Andersson, M.; Pajala, J.; Laanearu, J.; Klauson, A.; Tegowski, J.; Boethling, M.; Fischer, J.; Tougaard, J.; Wahlberg, M.; Nikolopoulos, A.; Folegot, T.; Matuschek, R.; Verfuss, U. (2016). BIAS: A Regional Management of Underwater Sound in the Baltic Sea. In: A. N. Popper, A. Hawkins (Ed.). *The Effects of Noise on Aquatic Life II* (1015–1023). Springer. (Advances in Experimental Medicine and Biology; 875).

Schaar, Mike van der, Michael A. Ainslie, Stephen P. Robinson, Mark K. Prior, and Michel André. "Changes in 63Hz Third-Octave Band Sound Levels over 42months Recorded at Four Deep-Ocean Observatories." *Journal of Marine Systems* 130 (2014): 4–11.

Southall, B., Bowles, A., Ellison, W., Finneran, J., Gentry, R., Greene, C., Kastak, D., Ketten, D., Miller, J., Nachtigall, P., Richardson, W., Thomas, J., Tyack, P., 2007. Marine mammal noise exposure criteria: initial scientific recommendations. *Aquat. Mamm.* 33, 411–521.

Richardson, W. John et al. *Marine mammals and noise*. San Diego, Calif. Academic Press, 1995.

Scottish Marine and Freshwater Science Volume 4 Number 5: Modelling of Noise Effects of Operational Offshore Wind Turbines including noise transmission through various foundation types

St. Vincent and the Grenadines, Maritime Administration (2016) Revised Guidelines for onboard operational use of ship Automatic Identification Systems (AIS), in Circular nr. SOL 064.

.Verfuß, U.K., Andersson, M., Folegot, T., Laanearu, J., Matuschek, R., Pajala, J., Sigray, P., Tegowski, J., Tougaard, J (2014). BIAS Standards for noise measurements. Background information, Guidelines and Quality Assurance. Editor: Verfuß U.K.

Weatherhead, Elizabeth C., Gregory C. Reinsel, George C. Tiao, Xiao-Li Meng, Dongseok Choi, Wai-Kwong Cheang, Teddie Keller, et al. „Factors affecting the detection of trends: Statistical considerations and applications to environmental data“. Journal of Geophysical Research 103, nr D14 (1998): 17–149.

Wildlife Acoustics (2011), User manual. SM2M+ submersible.

4-7 HELCOM 308-17. Regional input for defining levels of underwater noise that are consistent with GES for noise-sensitive species and decision support trees for establishing environmental targets for ambient and impulsive noise.

(2010/477/EU)European Commission, 2010. Commission Decision of 1 September 2010 on Criteria and Methodological Standards on Good Environmental Status of Marine Waters.. Available from: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:232:0014:0024:EN:PDF>.

<http://www.helcom.fi/baltic-sea-trends/data-maps/biodiversity/seals>