Liivi lahe ümbritseva allveemüra seire

TELLIJA: Keskkonnaministeerium

Harry Liiv, asekantsler

TÄITJA: **TTÜ Konstruktsiooni- ja vedelikumehaanika UR**

A.Klauson (HKS hinnang)
M. Mustonen (Ümbritseva allveeheli statistika)
J. Laanearu (GIS töövahend)
M.S.Prawirasasra (Bioloogiliste helide tuvastamine)

ESITATUD: 30. augustil 2019.a.

Tallinn 2019

SISUKORD

1. SISSEJUHATUS lk

1.1 Seire lähteülesanne 2

1.2 Mõõtmismetoodika ja -seadmed 3

1.3 Katkestused ja häiringud tavapärases töös 5

1.4 GIS töövahend 6

2. MÕÕTMISTULEMUSED JA NENDE TÖÖTLUS

2.1 Laevaliikluse statistika 8

2.2 Allveeheli statistiline analüüs 9

3. BIOLOOGILISTE HELIDE TUVASTAMINE JA ANALÜÜS

3.1 Bioloogiliste signaalide detekteerimine 15

3.2 Hüljeste vokalisatsioonid ning nende esinemise sagedus 15

4. ESIALGNE KESKKONNASEISUNDI HINNANG

4.1 Hea keskkonnaseisundi riskianalüüsi põhioletused ja lihtsustused 20

4.2 Hindamisalade valik 24

4.3 Keskkonnaseisundi hindamine 25

5. LÕPPSÕNA

5.1 Metoodika usaldusväärsus 29

5.2 Kokkuvõte 31

Tänuavaldused 32

Kirjandus 32

1. SISSEJUHATUS

1.1 Seire lähteülesanne

Lähteülesandes oli ettenähtud allveemüra seire 12 kuu jooksul kahes mõõtmispositsioonis, mis asusid:

1) Väinameres X=6504623; Y=463158;

2) Liivi lahes X=6444858; Y=492707.

Eelistatult peaks mõõtmispositsiooni asukoht jääma hüljeste liikumisteede või lesilate lähedusse ning samaaegselt olema abiks laevaliikluse poolt tekitatud inimtekkelise müra mõju hindamisel.

Helide salvestamise diskreetimissagedus on vähemalt 32 kHz ning salvestusrežiim 20-59 minutit tunnis.

Tööde läbiviimisel arvestatakse EL ja HELCOMi asjakohaste veealuse pidevmüra seire juhendmaterjalidega ning võimalike projektiperioodil kehtestatavate metoodiliste uuendustega. Mõõdetud andmed säilitab käsundisaaja algandmetena, võimaldades asjahuvilistel neid vabalt kasutada.

Samuti on projektis ette nähtud seire raames kogutud allveevmüra andmestiku töötlus ja analüüs, kus tulemusi esitatakse keskmistatud helirõhutasemetena tertsribades kesksagedustel 63, 125 ja 2000 Hz. Töödeldud andmed kantakse BIAS projekti raames loodud allveemüra andmebaasi ning statistilised tulemused (kuude keskmised ning protsentiilid) esitatakse graafilisel kujul ning tabelites.

Projektis uuritakse, kas salvestatud allveehelides õnnestub eristada hüljeste häälitsusi. See on vajalik veealuse müra mõju mereelustikule hindamise metoodiliseks edasiarenduseks. Mõõtmistel saadud andmete abil testitakse inimtekkelise pidevmüra mõju hindamist viigerhüljestele asurkonnale vastavalt 2018.a aruandes „Läviväärtuste kehtestamine Eesti

mereala hindamiseks MSRD 11. tunnuse (veealuse müra) kriteeriumite järgi“ toodud metoodikale. Ühtlasi analüüsitakse veealuse müra ajalist jaotust (nt müratase suvel vs talvel).

Projektis saadud tulemused lisatakse veebipõhisele meremüra GIS-planeerimisvahendile koos selle projekti raames kogutud rannikumere statistiliste seireandmetega.
Aruandes esitatakse muuhulgas

1. hinnang inimtekkelise veealuse pidevmüra seire jätkamisvajaduse kohta rannikumeres ning
2. ettepanekud veealuse pidevmüra edaspidiseks seireks või uuringute läbiviimiseks, arvestades uuringute käigus õpitut ning rahvusvaheliselt kokku lepitut.

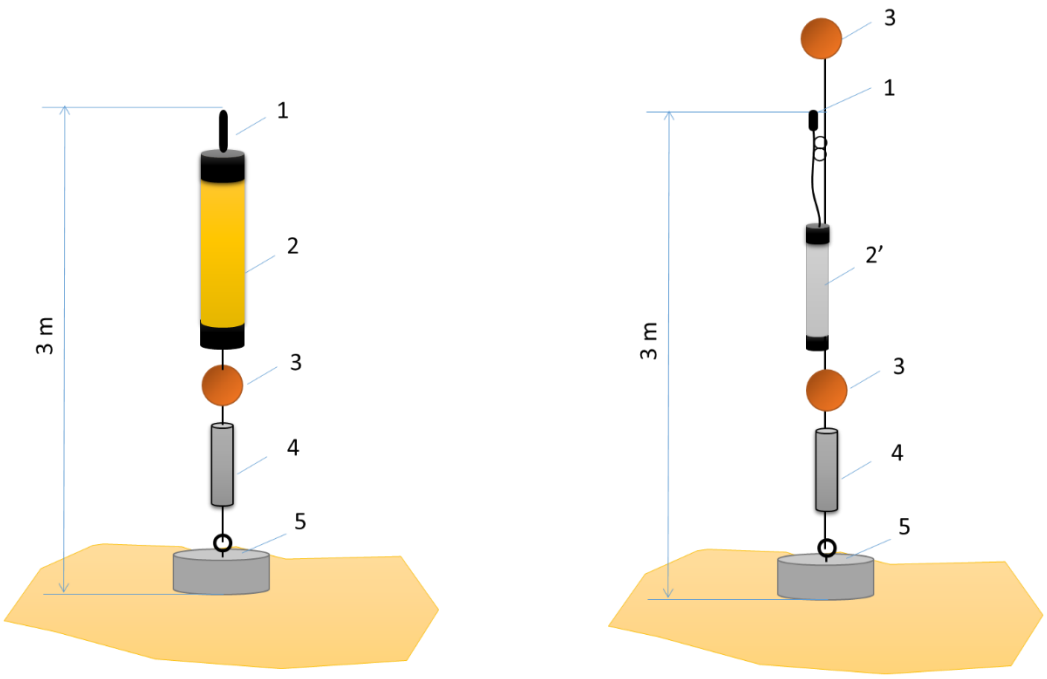
1.2 Mõõtmismetoodika ja –seadmed

Allveeheli mõõtmisteks kasutati autonoomsed helisalvestusseadmeid, mis on piisava andmetalletusvõimega pikaaegsete helitasemete aegridade salvestemiseks. Autonoomne helisalvestusseade (andmeloger) paigaldatakse merepõhja ankru abil (joonis 1). Andmelogeri positiivse ujuvuse puudumisel lisatakse mõõtmisseadmele ujukeid. Andmelogerit saab programmeerida ümbritsevat müra salvestama mõõtmiste plaani alusel (näit. salvestama 20 minutit tunnist, millele järgneb 40 minutit pausi). Mõõtmisperioodi lõppedes võetakse andmeloger patareide ja mälukaartide vahetamiseks veest välja. Andmelogeri merepinnale tõstmiseks kasutatakse akustilist vabastajat, mis reageerib uurimislaeva pardalt saadetud kodeeritud akustilisele signaalile. Mõõtmistulemuste õigsuse kindlustamiseks peab andmelogerit teatud aja tagant kalibreerima.

Mõõtmised viidi läbi vastavalt BIAS projektis välja töötatud allveehelide mõõtmiste standardile [Verfuß 2015]. Antud uuringus kasutati mõõtmisteks Wildlife Acoustics SM2M+ andmelogereid HTI standardhüdrofonidega ning uuemaid Ocean Instruments Soundtrap ST-500 andmelogereid. Kasutatud merepõhja mõõtmisseadmestike skeemid on näidatud joonisel 1.1 ning SM2M omamüra (väikseimad helitasemed, mida seade võib mõõta) hinnangud tabelis 1.1. Mõõtmiste teostamisel tuleb kasutatavate mõõtmisseadmestike omamüra tasemeid teada, kuna need võivad piirata vaikseimate müratasemete salvestamise võimekust.

Omamüra vähendamiseks on hüdrofon andmelogeriga ST-500 ühendatud kaabliga ja seeläbi saab hüdrofoni võnkumised ülejäänud mõõtmisseadmestikust eraldada kummist vibroisolaatoreid kasutades. Uue seadme omamüra taset saab määrata peale mõõtmisperioodi lõppu.

Aastate 2018/2019 jooksul salvestati allveeheli kahes mõõtmispositsioonis Kihnu saare ja Papilaiu lähedal, mida edaspidi nimetatakse vastavalt LIIVI-01 ja LIIVI-02. Mõlemas positsioonis salvestati heli kahe mõõtmisperioodi jooksul. Antud positsioonide asukohad on näidatud joonisel 1.2 ning nende koordinaadid ja sügavused ja mõõtmisperioodid on toodud tabelis 1.2.



Joonis 1.1. Merepõhjamõõtmisseadmestiku skeemid: 1- hüdrofon, 2- SM2M andmeloger, 2' ST500 andmeloger, 3- ujuk, 4- akustiline vabastaja, 5-betoonist ankur.

tertsriba keskagedus	**63 Hz**	**125 Hz**	**2 kHz**
Omamüra [dB re 1µPa]	63	65	70

Tabel 1.1 SM2M andmelogeri omamüra hinnangud, erinevate tertsribade jaoks.

Joonis 1.2 Liivi lahes paiknevad allveeheli mõõtmispositsioonid: LIIVI-01 Kihnu saare lähistel ja LIIVI-02 Papilaiu lähistel.

.

NIMI	Laiuskraad	Pikkuskraad	Sügavus, m	Mõõtmisperioodide kuupäevad	Pikkus päevades
LIIVI-01, Kihnu	58.15046° N	23.87306°E	11	2018 06/28 - 2018 08/28 2018 10/14 - 2019 04/22	61 190
LIIVI-02, Papilaid	58.64973° N	23.39603°E	10	2018 06/28 - 2018 08/28 2018 10/19 - 2019 02/20	61 124

Tabel 1.2. Mõõtmispositsioonide koordinaadid, sügavused ja kahe mõõtmisperioodi algus- ning lõpu kuupäevad koos mõõtmisperioodide pikkustega päevades.

1.3 Katkestused ja häiringud tavapärases töös

Projekti käigus esinesid järgnevad häiringud:

1. LIIVI-01 teise mõõtmisperioodi (2018 10/14 - 2019 04/22) ajal lõppes salvestamine planeeritust 2 kuud varem. Antud häiringu põhjuseks oli uue andmelogeri ST-500 poolt kasutatava salvestusaeagade planeerimise tarkvara puudus arvestada aasta jooksul olulisest muutuvate veetemperatuuridega. Madalatel temperatuuridel osutus seadme patareide eluiga oluliselt lühemaks kui planeerimistarkvara ennustas.
2. LIIVI-02 teise mõõtmisperioodi (2018 10/19 - 2019 02/20) ajal lõppes salvestamine planeeritust 5 kuud varem. Häiringu põhjustas andmelogeris olnud patareide nõrgestunud kontakt klemmidega. Kontakti nõrgenemise põhjustas ilmselt suur

raputamine laevatranspordi poolt mõõtmispositsiooni juurde sõitmise ajal. Nimetatud häiringute tõttu on helirõhtasemete aegread 2019 aasta talve ja kevade jaoks puudulikud, kuid olemasolevad aegread on siiski piisavad projektis püstitatud ülesannete lahendamiseks.

1.4 GIS töövahend

Allveeakustika teema teadustegevuse ja rakendusliku iseloomuga projektide tutvustamiseks on koostatud veebileht Tallinna Tehnikaülikooli serveris. Veebilehe link „Allveeakustika“ on olemas TalTech Ehituse ja Arhitektuuri instituudi uurimisrühma Konstruktsiooni- ja vedelikumehaanika veebilehel aadressiga: https://www.ttu.ee/instituut/ehituse-ja-arhitektuuri-instituut/uurimisruhmad-4/konstruktsiooni-ja-vedeliku-mehaanika/

Allveeakustika uuringute tulemusena aastatel 2012 - 2019, on valminud internetipõhine meremüra GIS planeerimisvahend (edaspidi ka GIS töövahend). Kaardirakenduses on esitatud järgmised Eesti allveeheli levi modelleerimise tulemused ning merealadelt kogutud andmestiku statistiline töötlus:

- BIAS projekti (2012 – 2016) raames saadud tulemused: valitud pideva heli esinemise riski kaardid tersribadele 63 ja 125Hz, mõõtmistulemuste statistiline töötlus - empiirilise tihedusfunktsiooni graafikud (viiulgraafikud), mis võrdlevad erinevate aastate seire tulemusi:
- projekti „Veealuse müra mõju hindamine kalastikule“ raames saadud Eesti rannikumere allveeheli levi modelleerimise tulemused 2018. aastal: valitud pideva heli esinemise riski kaardid tersribadele 63 ja 125Hz;
- Liivi lahe ja Väinamere seire mõõtmistulemused: - empiirilise tihedusfunktsiooni graafikud (viiulgraafikud) ning tabelid.

Tehniliselt uuendatud GIS töövahend võimaldab Eesti rannikumere statistiliste tulemuste visualiseerimist erinevatel perioodidel, aastatel 2014 ja 2018. Modelleerimistulemuste mürakaartidel on olemas numbriliste väärtuste allalaadimise formaat.

GIS töövahendi link on lisatud Allveeakustika veebilehel menüüvalikusse, mis on leitav aadressilt: https://www.ttu.ee/projektid/veealuneheli/projektid-70/gis-toovahend/

GIS töövahendis saab visualiseerida:

1) modelleeritud pideva heli esinemise riski kaardid,

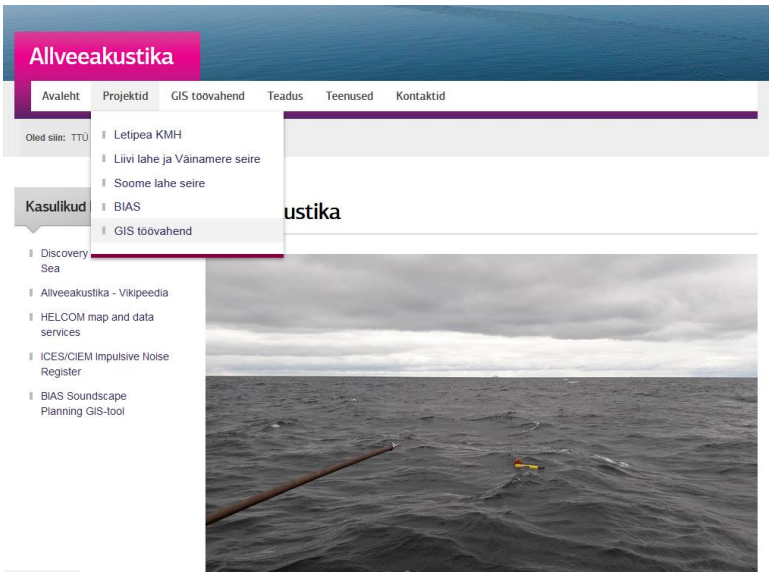
2) mõõtmispositsioonide info geograafilisel aluskaardil,

3) mõõtmistulemuste statistilised andmed.

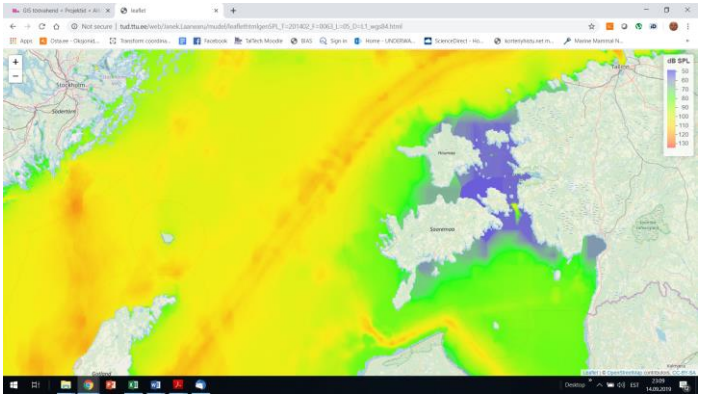
Andmed on esitatud viiulgraafikutena ning tabelitena. Tabelites on toodud keskmistatud helitasemed kuude kaupa ning erinevate protsendilise ületamise määrade jaoks: L05 (5% ajast on helitase kõrgem kaardil näidatud SPL väärtusest), L50 (50% ajast on helitase kõrgem kaardil näidatud SPL väärtusest ehk mediaan) ja L95 (95% ajast on helitase kõrgem kaardil näidatud SPL väärtusest).

Lisaks GIS töövahendi põhivalikutele on bioloogiliste allveehelide spektrogrammid.

Tallinna Tehnikaülikooli Allveeakustika/GIS töövahendi veebilehel on olemas valikud: 1) Modelleerimine, 2) Mõõtmised, 3) Asukohad.



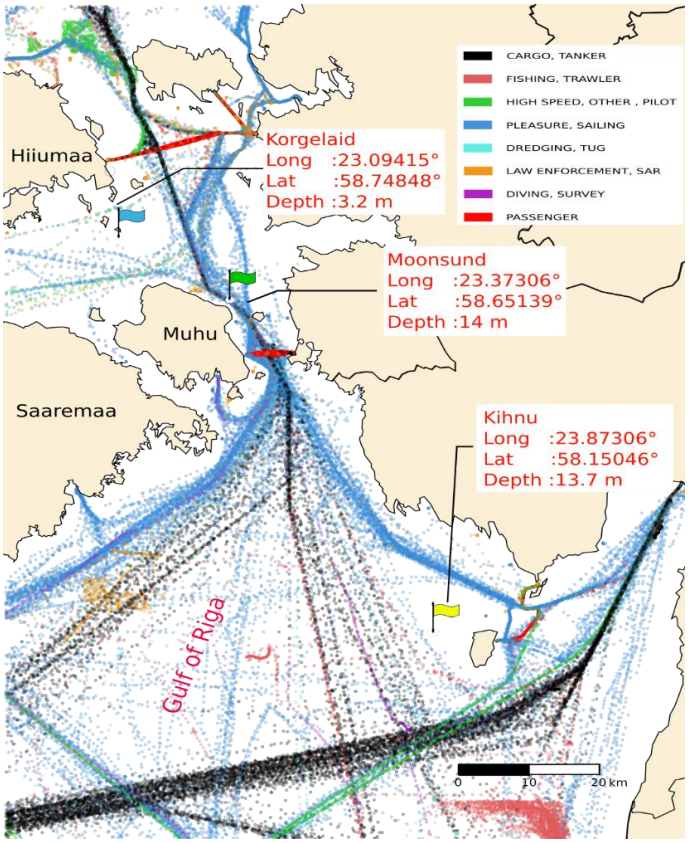
Joonis 1.3 Ekraanitõmmis: Tallinna Tehnikaülikooli internetipõhine planeerimisvahendi valikutest.



Joonis 1.4 Ekraanitõmmis: 2014. a. modelleeritud pideva heli esinemise riski kaart. Tertsriba 63Hz, ületamise määr L05.

2. MÕÕTMISTULEMUSED JA NENDE TÖÖTLUS

2.1 Laevaliikluse statistika



Joonis 2.1 Automaatse identifitseerimissüsteemi (AIS) abil koostatud Väinamere ja Liivi lahe laevaliikluse ülevaade (juuli-august 2018). Mõõtmispositsioonid on tähistatud lippudega.

Vaadeldava mereala laevaliiklus ei ole võrreldes paljude Läänemere teiste aladega eriti tihe. Kõige tihedam on liiklus regulaarliinidel sõitvate reisiparvlaevade laevateede juures. Joonisel 2.1 on esitatud suveperioodi Automaatse identifitseerimissüsteemi (AIS) andmete põhjal koostatud laevaliikluse tiheduse ülevaate kaart. Mõõtmispositsioonid on kaartil tähistatud lippudega. Lisaks positsioonidele LIIVI-01 (Kihnu) ja LIIVI-02 (Papilaid, kaardil Moonsund) viidi läbi lühiajaline mõõtmine tuntud viigerhüljeste lesila -- Kõrgelaiu juures. Seega sisaldasid Kõrgelaiu salvestised peaasjalikult viigerhüljeste veealuseid häälitsusi. Kaart joonisel 2.1 lubab teha järgmisi järeldusi:

1. LIIVI-01 (Kihnu) mõõtmispositsiooni ümbruses on laevaliiklus väga hõre. Samas võib leiduda lähedalt mööda sõitvad alused, mis AIS saatjat ei kasuta (näiteks kalapaadid või teised väikelaevad). On oodata, et helisalvestistes esineb minimaalselt inimtekkilist müra ning domineerivad looduslikud helid.

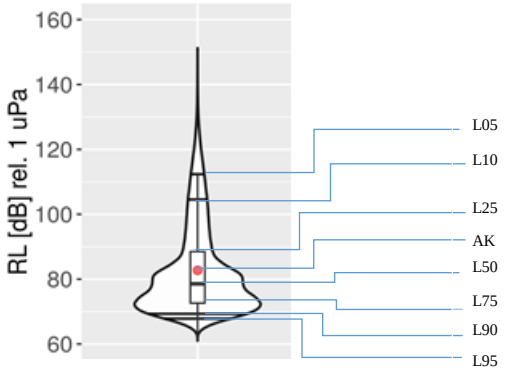
2. LIIVI-02 (Papilaid) asub Suure väina sügavamas kohas, millest möödub teatud arv kauba- ja lõbusõidulaevu. Samas jääb mõõtmispunkt mandri ja Hiiumaa /Saaremaa vahel sõitvate reisiparvlaevade teedelt piisavalt kaugele, et salvestatud mürafoonile mõju mitte avaldada.

2.2 Allveeheli statistiline analüüs

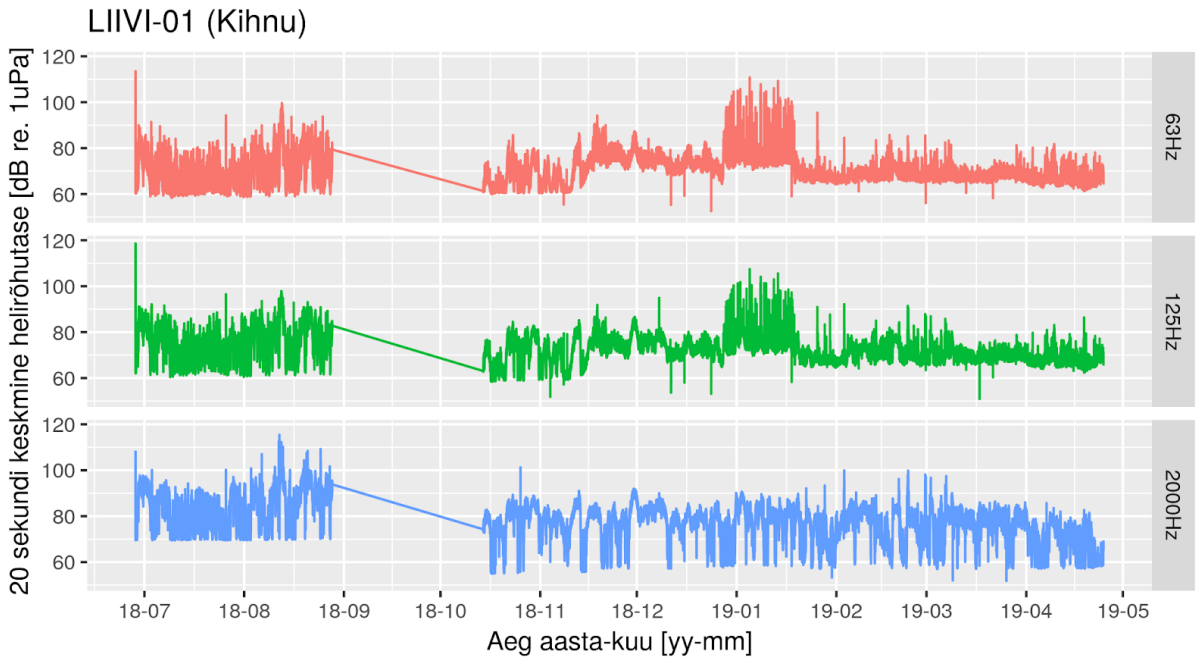
Salvestatud helifailide töötlusel järgiti BIAS projekti andmetöötluse standardeid [Betke 2015]. Teades salvestusseadme tundlikkust saab helifailide töötluse läbi helirõhutasemete aegridasid erinevates sagedusribades. Joonistel 2.3 ja 2.5 on esitatud mõõtmispunktide LIIVI-01 ja LIIVI-02 helirõhutasemete 20 sekundi aritmeetiliste keskmiste aegread tertsribades kesksagedustel 63, 125, 2000 Hz. Antud tasemetest kuude lõikes parema ülevaate saamiseks on joonistel 2.4 ja 2.6 esitatud iga kuu viiulgraafik (violin plot), millele on lisatud karpgraafik (box plot) koos märgitud kasulike statistiliste väärtustega: protsendilised ületamise määrad L05, L10, L25, L50-mediaan, L75, L90, L95 ning aritmeetiline keskmine), nii nagu on näidatud joonisel 2.2. Viiulgraafikute arvväärtused on toodud tabelites 2.1 ja 2.2.

Viiulgraafiku kasutamine

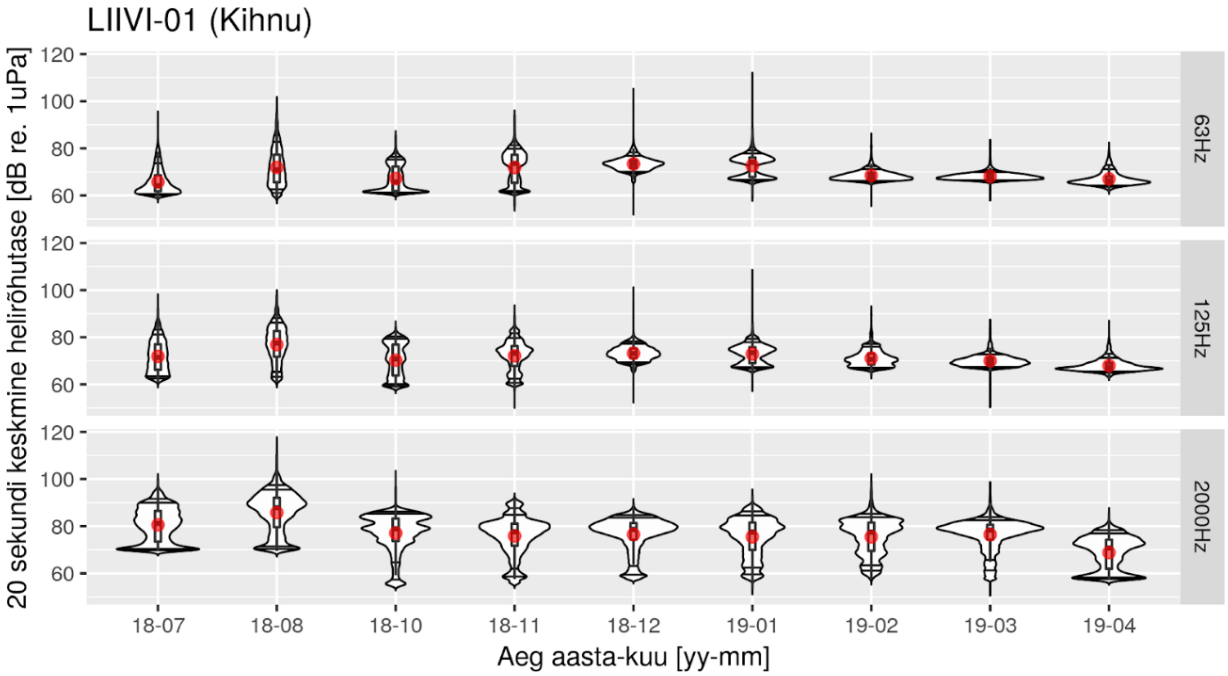
Viiulgraafik on empiirilise tihedusfunktsiooni graafiline esitus. Tihedusfunktsiooni alune pindala on võrdne ühega ja suurem väärtus tihedusfunktsioonis tähendab suuremat helirõhutaseme esinemiste arvu mõõtmistulemustes. Märkides tihedusfunktsiooni graafikule erinevate arvkarakteristikute punkthinnangud saab mõõtmistulemustest parema ülevaate. Selline esitusviis võimaldab hinnata ka graafikul mitte esitatud arvkarakteristikute väärtusi.



Joonis 2.2 Viiulgraafiku ja karpgraafiku iseloomulikud jooned. AK punane punkt on aritmeetiline keskmine.



Joonis 2.3 LIIVI-01 (Kihnu) kahe mõõtmisperioodi 20 sekundi keskmiste helirõhutasemete aegread tertsribades kesksagedustel 63 Hz, 125 Hz ja 2000 Hz.



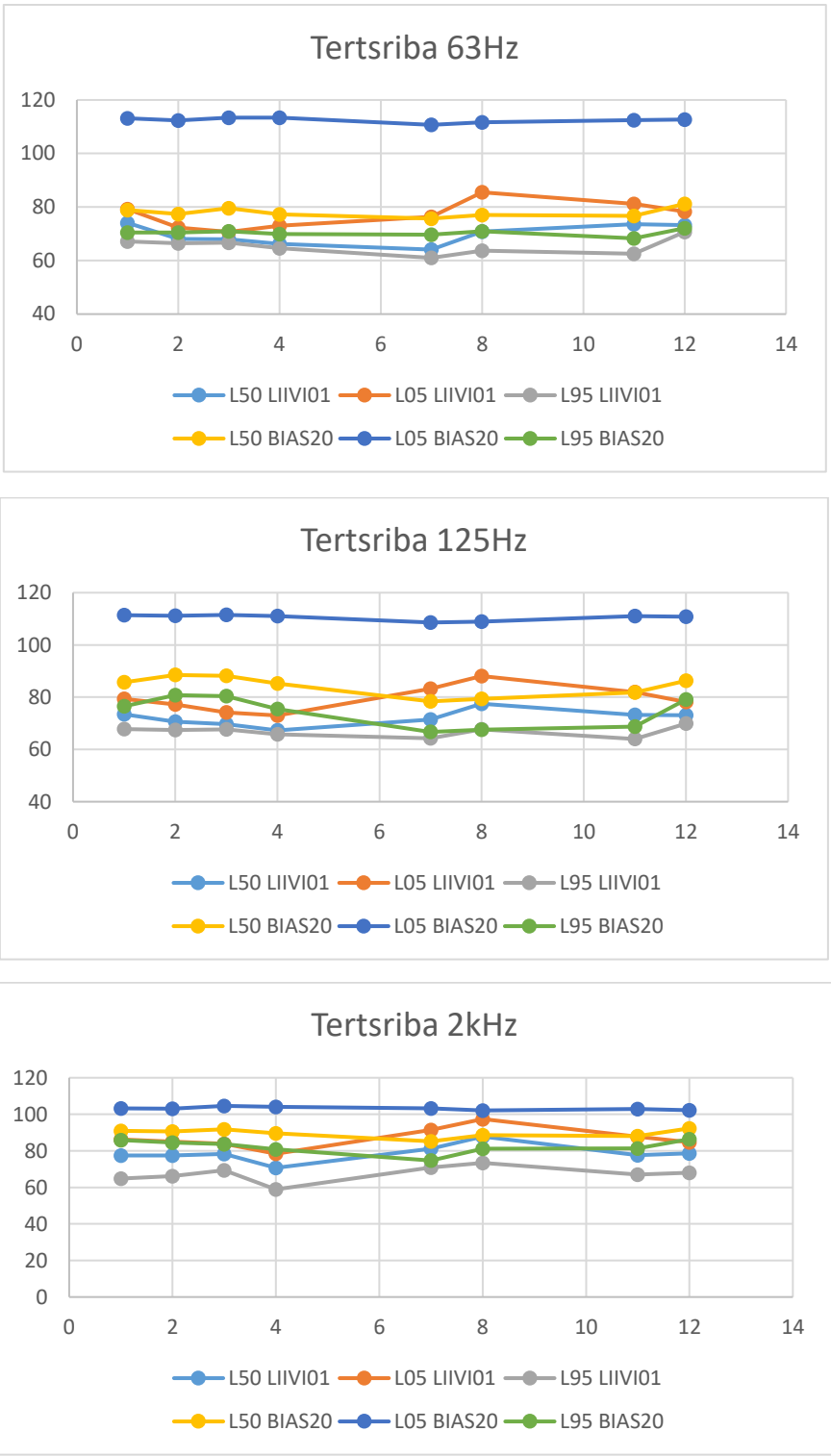
Joonis 2.4. Kuude lõikes esitatud viiulgraafikud koos karpgraafikutega mõõtmistulemustest mõõtmispositsioonis LIIVI-01 (Kihnu) kolmes tertsribas 63 Hz, 125 Hz ja 2000 Hz.

63Hz								
	01	**02**	**03**	**04**	**07**	**08**	**11**	**12**
L05	79.2	72.3	70.7	73.0	76.4	85.5	81.2	78.3
L10	77.8	71.2	69.9	71.1	73.7	82.8	79.8	76.8
L25	76.1	69.5	68.9	68.1	68.6	77.3	77.3	74.9
L50	74.1	68.1	67.9	66.2	64.1	70.8	73.6	73.3
AM	72.7	68.5	68.1	67.0	65.7	71.9	71.8	73.4
L75	67.8	67.0	67.0	65.1	61.8	65.6	65.3	71.6
L90	66.8	66.3	66.5	64.3	60.6	62.7	61.8	70.1
L95	67.1	66.5	66.7	64.6	61.0	63.7	62.5	70.7

125Hz								
	01	**02**	**03**	**04**	**07**	**08**	**11**	**12**
L05	79.3	77.2	74.2	73.0	83.2	88.1	81.9	78.2
L10	77.9	76.0	72.8	71.3	81.2	86.2	79.6	77.3
L25	75.8	73.1	71.2	69.1	77.0	82.7	76.3	75.3
L50	73.5	70.6	69.7	67.3	71.4	77.5	73.2	73.1
AM	72.9	71.1	70.0	67.9	71.9	76.9	72.1	73.2
L75	69.0	68.4	68.3	66.3	66.2	71.7	67.8	71.1
L90	67.3	67.1	67.4	65.5	63.4	65.3	62.5	69.3
L95	67.8	67.5	67.7	65.8	64.3	67.7	64.0	69.9

2000Hz								
	01	**02**	**03**	**04**	**07**	**08**	**11**	**12**
L05	86.3	85.1	83.9	78.4	91.5	97.4	87.7	84.7
L10	84.5	83.8	82.6	76.9	90.0	95.6	84.9	83.7
L25	81.6	81.5	80.6	74.3	86.5	92.0	81.1	81.4
L50	77.5	77.5	78.3	70.7	81.2	87.8	77.7	78.6
AM	75.5	75.5	76.5	68.8	80.6	85.8	75.9	76.5
L75	69.9	69.5	74.3	61.9	73.5	79.6	71.7	74.3
L90	62.5	63.5	65.7	58.2	70.3	71.3	62.0	63.1
L95	64.8	66.2	69.4	58.9	70.9	73.4	67.0	68.1

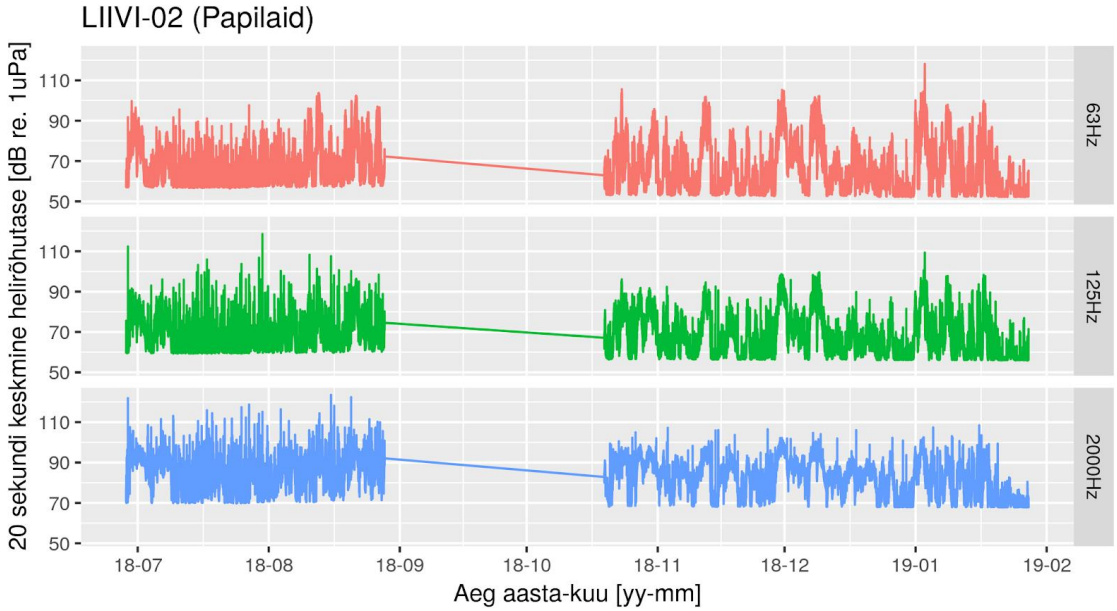
Tabel. 2.1 Joonisel 2.4 esitatud viiulgraafikute arvväärtused tertsribades 63, 125 ja 2000Hz kuude kaupa.



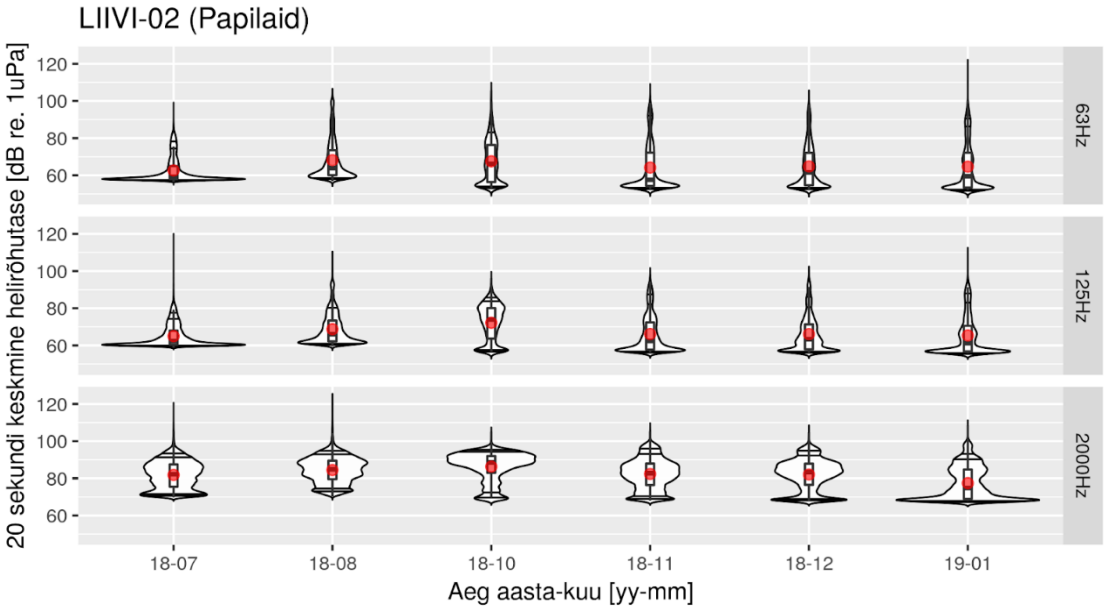
Joonis 2.5. LIIVI-01 (Kihnu) ja BIAS-20 (Soome laht) helitasemete võrdlus kolmes tertsribas 63 Hz, 125 Hz ja 2000 Hz kuude kaupa.

Joonisel 2.5 on toodud LIIVI-01 (Kihnu) ja BIAS-20 (Soome laht) sama kuude salvestiste helitasemete võrdlus kolmes tertsribas. 63 Hz, 125 Hz ja 2000 Hz. On näha, et L05 tasemed Soome lahes on 30-40dB kõrgemad, kuna laevaliiklus on palju intensiivsem. Ka mediaanväärtused L50 on Soome lahes umbes 10-20dB kõrgemad. Ületamise määra L95 helitasemed on Soome lahes kuni 12dB kõrgemad kui Liivi lahes.

Papilaiu mõõtmispunkt



Joonis 2.6. Papilaiu mõõtmispunkti kaks mõõtmisperioodi, tertsribades aegread.



Joonis 2.7 Papilaiu mõõtmispunkti kaks mõõtmisperioodi, kuude lõikes esitatud viiulgraafikud koos karpgraafikutega.

63Hz					
	1	**7**	**8**	**11**	**12**
L05	90,6	78,3	91,5	92,1	89,3
L10	86,4	74,5	85,1	85,6	81,9
L25	72,1	65,0	73,5	72,2	72,1
L50	59,5	59,2	63,9	57,6	61,6
AM	64,6	62,6	68,1	64,1	64,8
L75	53,4	58,0	60,1	54,3	54,7
L90	53,0	57,7	58,7	53,8	53,4
L95	53,1	57,8	59,2	53,9	53,7
125Hz					
	1	**7**	**8**	**11**	**12**
L05	88,0	77,6	84,3	87,5	86,2
L10	83,1	74,3	80,3	82,3	80,6
L25	70,6	68,0	73,4	72,4	71,3
L50	61,2	62,4	66,0	62,4	63,3
AM	65,4	65,0	68,7	66,1	66,1
L75	56,8	60,5	62,2	57,8	57,9
L90	56,5	60,1	61,0	57,0	56,8
L95	56,6	60,2	61,4	57,2	57,0
2000Hz					
	1	**7**	**8**	**11**	**12**
L05	93,1	93,4	94,8	96,0	94,9
L10	90,2	91,3	93,0	93,2	92,2
L25	84,8	87,5	89,5	88,0	87,9
L50	74,8	82,2	84,9	82,8	83,3
AM	77,4	81,8	84,5	82,4	82,1
L75	68,9	75,5	79,5	76,4	76,5
L90	68,0	71,6	74,5	70,3	68,7
L95	68,1	72,5	76,3	72,3	69,8

Tabel. 2.2 Joonisel 2.7 esitatud viiulgraafikute arvväärtused tertsribades 63, 125 ja 2000Hz kuude kaupa.

3. BIOLOOGILISTE HELIDE TUVASTAMINE JA ANALÜÜS

3.1 Bioloogiliste signaalide detekteerimine

Helisalvestised sisaldavad rohkesti helisid, millest suur osa on seotud lainetusega, õhumullide lõhkemisega ning setete liikumisega. Siiski on salvestistest võimalik eristada bioloogilisi helisid, mis on reeglina kitsaribalised ning erinevalt lainetusega seotud helidest on oluliselt teistsuguse iseloomuga (sisaldavad osahelisid ehk harmoonikuid). Bioloogiliste helide tuvastamiseks kasutati salvestuste spektrogrammide vaatlust, helisalvestuste kuulamist ning tuvastatud signaalide võrdlust kirjandusest teadaolevate häälitsuse mustritega. Pärast ühe häälitsuse mustri tuvastamist ja identifitseerimist kasutati kõigi salvestuste kontrollimiseks tarkvara Raven Pro [Bioacoustics, 2014], mis võimaldab identifitseeritud häälitsuste automaatset tuvastamist.

3.2 Hüljeste vokalisatsioonid ning nende esinemise sagedus

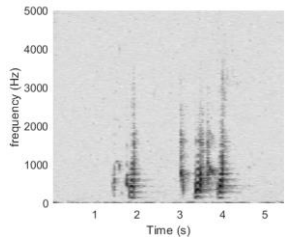
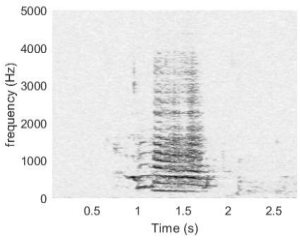
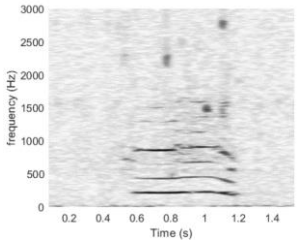
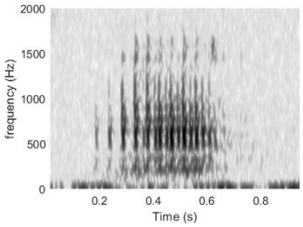
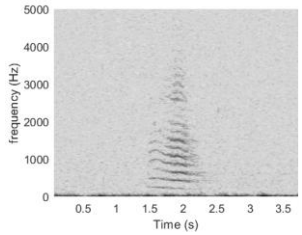
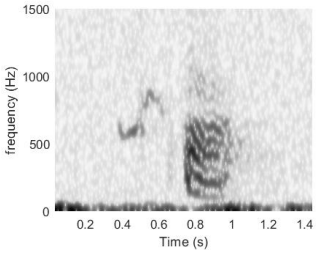
Hüljeste häälitsusi ehk vokalisatsioone on uuritud mitmetes teadusartiklites. Näiteks on juba 70. aastatel avaldatud viigerhüljeste häälitsusi ning nende sotsiaalset rolli tutvustav teadusartikkel [Stirling, 1973]. Enamasti on häälitsuste korral tegu hoiatustega või tugevama isendi ees alistumise teatega teistele sama liiki loomadele. Asselin süstematiseeris hallhülge veealuseid häälitsusi loomade paaritumise perioodil [Asselin et al, 1993] ja Miziuguchi on salvestanud kinnistes tingimustes peetud viigerhüljeste häälitsusi [Miziuguchi et al, 2015]. Teaduskirjandus on võimaldanud võrdluse teel paremini häälitsusi identifitseerida. Lisaks on identifitseeritud häälitsuste kohta küsitud konverentsil Aquatic Noise 2019 ekspertarvamusi Taani, Rootsi ja Ühendriikide juhtivatelt teadlastelt ning paljud oletused leidsid kinnitust.

Joonistel 3.1 ja 3.2 on näidatud süstematiseeritud kujul viiger- ja hallhülge veealused häälitsused, mis pärinevad esimesest mõõtmisperioodist mõlemas mõõtmispositsioonis. Häälitsuste identifitseerimist hõlbustas täiendava mõõtmise läbiviimine tuntud viigerhüljese lesila, Kõrgelaiu, lähistel [Jüssi, 2014]. Häälitsuste mustrid on esitatud spektrogrammidel, kus horisontaaltelg näitab aega ning vertikaaltelg sagedusi. Identifitseeritaval häälitsusel on ajas teatud viisil muutuv sageduslik koostis, mis kordub. Identifitseeritud häälitsuste analüüs näitas et:

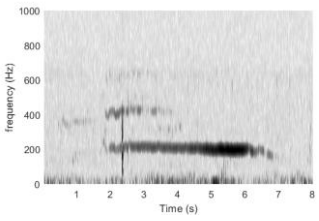
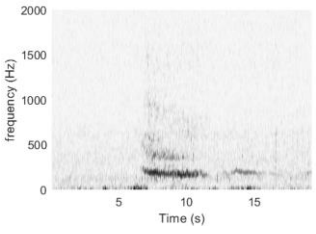
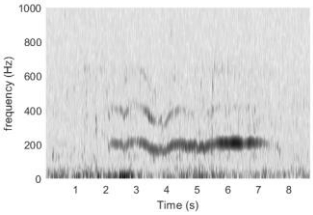
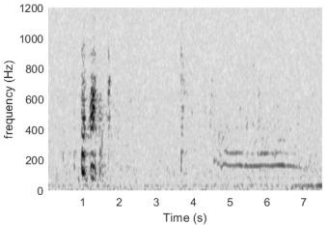
1. Üldiselt on identifitseeritud viigerhüljeste häälitsused lühemad (alla 2s) ja hallhüljeste omad pikemad (kuni 5s).
2. Hallhüljestel esineb häälitsusi, mida esineb rohkem korraga. Salvestustes esinevad perioodid kus “oigamised” esinevad tundide viisi iga 5 minuti tagant. Selline korduv häälitsemine võib viidata häälitsuse tähtsamale rollile hallhüljeste omavahelises kommunikatsioonis, mis vajaks täiendavat uurimist.
3. Hüljeste häälitsused on valdavalt madalsageduslikud ning samadel sagedustel, millel laevadki olulisel määral müra tekitavad. Seetõttu võib laevaliikluse müra hüljeste häälitsusi varjata.

Joonised 3.3 ja 3.4 näitavad hüljeste häälitsuste detekteerimiste arvu tunnis päevade kaupa. Horisontaalteljel on päevad ja vertikaalteljel ööpäeva tunnid. Ringide läbimõõt ja värv viitab detekteerimiste arvule. Antud joonised näitavad, et suveperioodil esineb häälitsusi rohkem peamiselt päevastel aegadel. Seejuures eriti sagedased on häälitsused juuli teisel poolel Papilaiu kandis augusti keskpaigal Kihnu mõõtmispunktis.

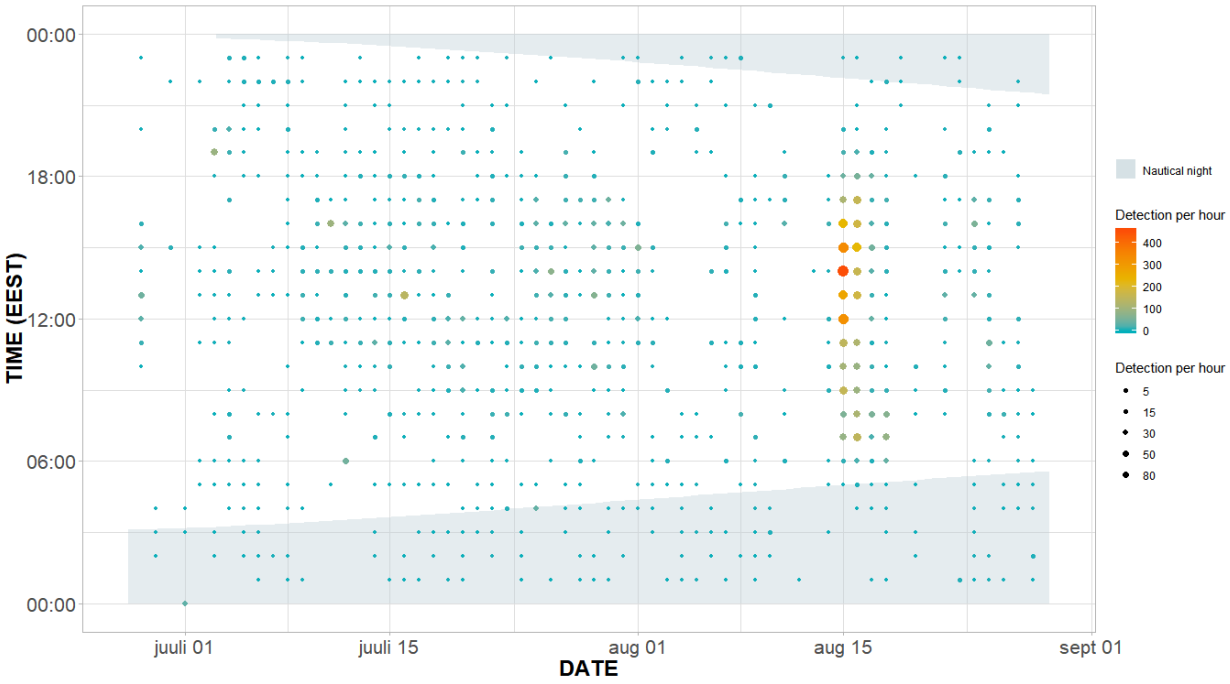
Joonisel 3.5 on näidatud Papilaiu mõõtmispunkti detekteerimiste arvud perioodil november 2018 - veebruar 2019. Sellel perioodil kerkib detekteerimiste arv teatud päevadel ning päeva ja öö vahelist erinevust oluliselt ei esine.

Spectogram	Frequency range, Hz	Duration, s	Spectogram	Frequency range, Hz	Duration, s
yelp & barks (quacks) 	100...3600	0.2 ... 0.3	roar 	100...4000	0.7 ... 0.8
moan 1 	100...1500	0.6 ...0.7	knocks 	100...2000	0.02...0.03
moan 2 	100-4000	0.7... 0.8	hoo 	50...1400	0.2...0.3

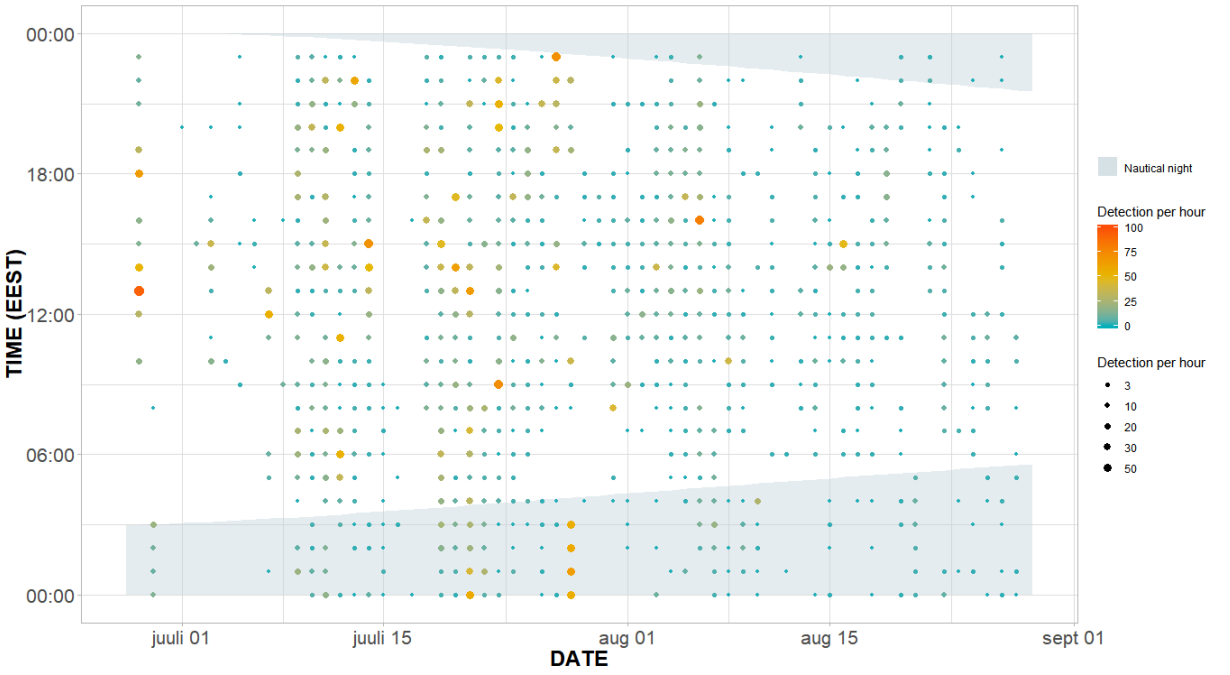
Joonis 3.1 Viigerhülge häälitsused (yelp - klähvimine, bark - haukumine, quacks - prääks, moan - oigamine, roar - müha, knocks - kopsimine)

Spectogram	Frequency range, Hz	Duration, s	Spectogram	Frequency range, Hz	Duration, s
moan 	180...600	5 ... 6	roar 	180...1500	6 ... 10
moan 	180...600	5 ... 6	trot and moan 	180...1500	6 ... 10

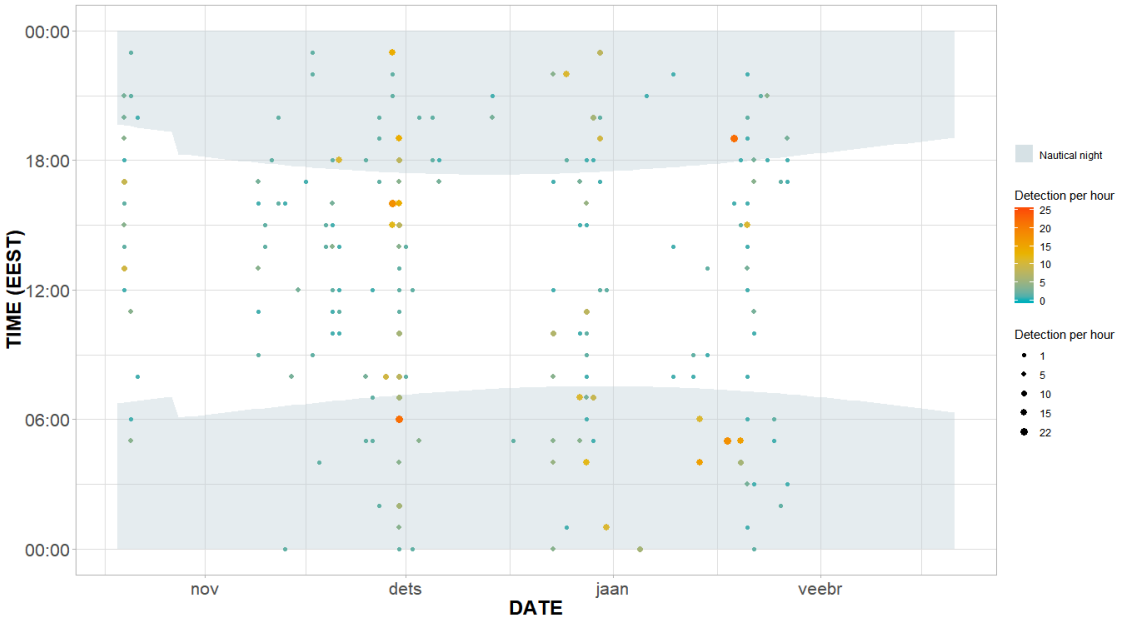
Joonis 3.2 Hallhülge häälitsused (moan - oigamine, roar - müha)



Joonis 3.3 Hüljeste häälitsuste detekteerimise sagedused (tunnis) LIIVI-01 (Kihnu) mõõtmispunktis suveperioodil juuli - august 2018.a.



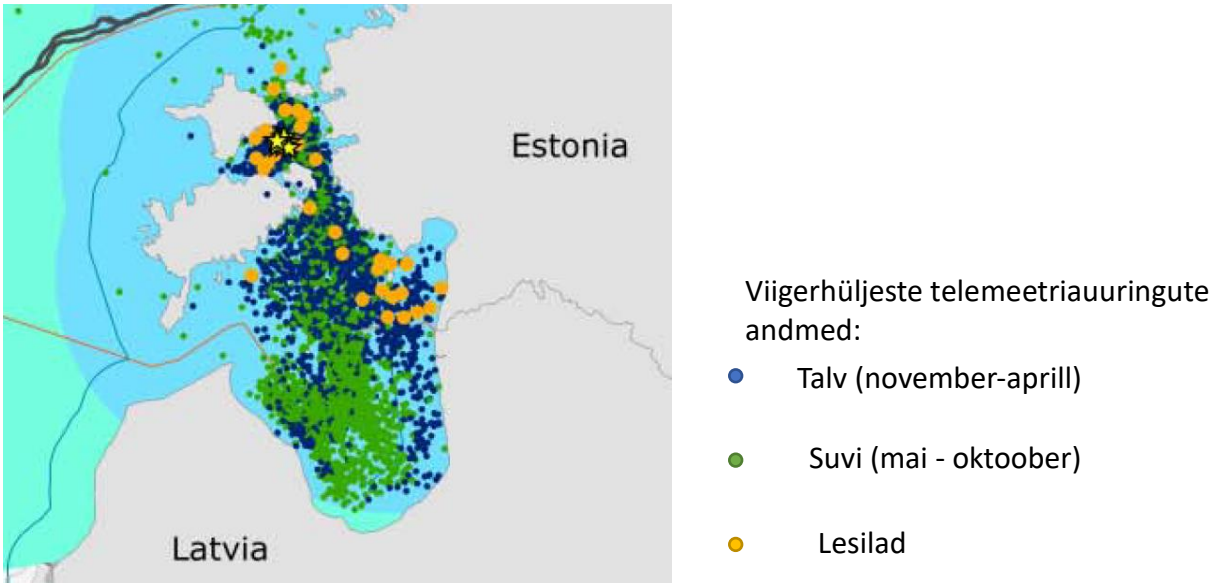
Joonis 3.4 Hüljeste häälitsuste detekteerimise sagedused (tunnis) LIIVI 2 (Papilaid) mõõtmispunktis suveperioodil juuli - august 2018.a.



Joonis 3.5 Hüljeste häälitsuste detekteerimise sagedused (tunnis) LIIVI-02 (Papilaid) mõõtmispunktis perioodil sügis 2018 - talv 2019.a.

4. ESIALGNE KESKKONNASEISUNDI HINNANG

4.1 Hea keskkonnaseisundi riskianalüüsi põhioletused ja lihtsustused



Joonis 4.1. Viigerhülge leviala talvel ja suvel [Teileman et al., 2017]

Joonisel 4.1 on näidatud viigerhülge levikuala uuringu tulemusi, mille põhjal võib öelda, et tegemist on kompaktselt paikneva asurkonnaga [Teileman et al. 2017].

Viigerhülge HKS allveemüra seisukohalt tähendab seda, et inimtekkeline pidevmüra on tasemel, mis ei avalda kahjulikku mõju viigerhülge asurkonnale. Viigerhülgel (ja ka teistel mereliikidel) on arenenud võime tuvastada elutähtsaid signaale (muutusi helirõhus kui ka vee osakeste liikumistes)[Chen et al.,2016, Jones et al. 2017, Putland et al., 2017]. Kindla tugevusega signaale on võimalik tuvastada vaid teatud kaugusel signaali vastuvõtjast, mida edaspidi nimetame **kuulmisulatuseks** [Pine et al., 2018]. Kuulmisulatus sõltub lisaks antud signaali tugevusest ka taustamüra tasemest ja vastava looma kuulmisvõimest. Taustamüra kõrgem tase vähendab kuulmisulatust ja seetõttu inimtekkeline heli, näiteks laevamüra, kahandab merelooma kuulmisulatust. Oletame, et ümbritsev allvee helitase on Lnat ning selle helitaseme juures on viigerhüljes võimeline kuulma talle olulisi helisid merealal kuulmisulatusel raadiusega *R*.

Kui inimtekkeline heli tõstab ümbritsevat helitaset L_{nat} + ΔL, siis kuulmisulatus kahaneb ning saavutab väikema väärtuse *R'*< *R*.
Kuulmisulatuste suhe *r=R/R'* sõltub helitasemetest vastavalt:

$$20\ log_{10}(r) = \Delta L$$

Seega juhul kui ümbritseva helitaseme tõus mõne laeva tõttu on kuus detsibelli ΔL=6dB re 1µPa, siis *r*=*R*/*R*'=10(6/20)=2 ja kuulmusulatus väheneb poole võrra ehk *R*'=*R*/2. Viigerhülgele (ja ka teistele mereliikidele) võib selline pikema ajaline kuulmisulatuse kahanemine avaldada kahjulikku mõju.

Pakutud HKS määramise metoodika koosneb järgmistest komponentidest:

A. Allveemüra

1. Pideva inimtekkelise allveemüra poolt avaldatav võimalik kahjulik mõju arvesse võetud läbi mõõtmisandmetega kalibreeritud helilevi modelleerimise (sarnaselt BIAS planeerimisvahendiga).
2. Häiriva heli sagedusribaks on valitud tertsriba kesksagedusel 125 Hz. Antud valik on põhjendatud hüljeste häälitsuste langemisele just sellesse sagedusribasse.
3. Kuna modellerimises ei ole arvestatud merejää olemasoluga (esines ajavahemikus 15. jaanuar – 15.märts) siis nende kuude tulemused jäeti analüüsist välja (ka Liivi lahes kus jääd oli vähe). Sellist otsust toetavad ka olemasolevad mõõtmisandmed, mis näitavad väga väikest inimtekkelise müra taset antud ajaperioodil.

B. Loomastik

4. Liivi lahte ja väinamerd võib pidada ühtseks viigerhülge asurkonna levilaks, mille HKS-i hinnatakse.
5. Loomade arvukuseks on hinnatud toimunud loendusandmete põhjal suurusega umbes 1800 isendit.
6. Eesti majandustsoonis olev hindamisala on jagatud kolmeks osaks ning nimetatud osade kasutuse määra on hinnatud ekspertarvamuse meetodil. Viigerhülged kasutavad antud

kolme valitud mereala erineval viisil ning erinevatel aastaaegadel. Seejuures toimub kolme ala vahel oluline loomade liikumine. Alade kasutuse määra leidmiseks on analüüsitud varasematel aastatel saadud üksikutele loomade paigaldatud GPS-lokaatorite andmeid ning käesoleva projekti raames määratud häälitsuste detekteerimiste arve.

C. Läviväärtuse määramine

7. Viigerhüljest loetakse häirituks, kui tema kuulmisulatus väheneb poole võrra ehk 50%. See vastab olukorrale, kus inimtekkeliste allikate tõttu tõuseb übritsev helitase 6 dB re 1μPa.

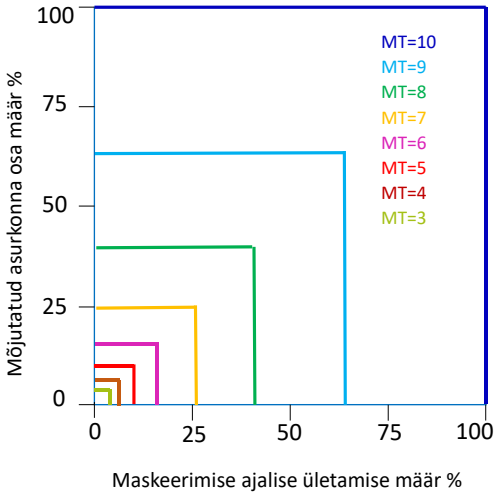
8. Iga kuu kohta on määratav kuu keskmine looduslik ümbritseva helirõhutase L_{nat}.

9. Määratakse mereala osad, kus inimtekkeline allveeheli ületab väärtuse 5-6 dB võrra erinevate ajaliste ületamise määrade juures.
10. Teades merealade kasutamist viigerhüljeste poolt ning tehes lihtsustuse, et loomad on merealadel ühtlaselt jaotatud saab hinnata kui suurt osa asurkonnast on mõjutatud kuulmisulatuse vähenemisest poole võrra ehk ümbritseva allveeheli tõusust 5-6 dB võrra.
11. Koostatakse riskikõvera graafik, mis näitab kui suur asurkonna osa võib olla inimtekkelise helitaseme tõusust mõjutatud. Kõvera all olev pindala A lubab määrata mõjutegurit MT, mis avaldub vastavalt

$$MT=\log_{10}(A') \times 2,5$$

kus $A'=\alpha A$ ning kordaja $\alpha=k_i/k_{jan}$ näitab mereala kasutust i –ndas kuus võrreldes aasta algusega (näiteks, kui januaris teatud mereala kasutas 10% ja veebruaris 15% populatsioonist, siis veebruari α=15/10=1,5). Seega, kui hindamisalale tuleb rohkem loomi, siis mõjuindeks kasvab.

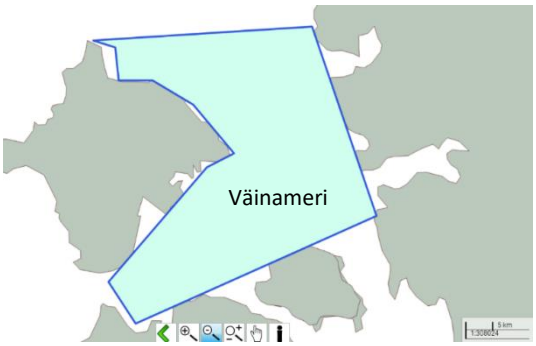
12. HKS-i loetakse saavutatuks siis kui riskianalüüs kohaselt on häiritud alla 40% asurkonnast alla 40% ajast. Sellise piirolukorrale vastab mõjuindeks MT<8.



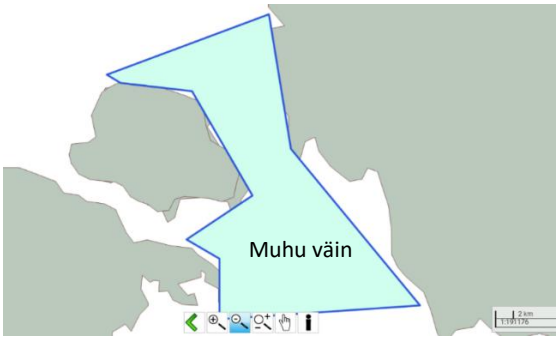
Joonis 4.2 Mõjuteguri MT skaleerimine.

4.2 Hindamisalade valik

Hindamisala jagati kolmeks osaks, millest esimeseks osaks on Väinameri, kus asuvad viigerhüljeste lesilad. Teine osa on Muhu väin, mis on kitsas meretee mille kaudu viigerhülged liiguvad Liivi lahele ja tagasi. Kolmas osa on Liivi laht, millel asub suurim osa viigerhüljeste asurkonnast. Liivi lahe osa piirdub vaid Eesti majandustsooni jääva osaga Liivi lahest.



Joonis 4.3. VM_1, Väinameri (1400 km2) millel asuvad viigerhüljeste lesilad nind toitumisalad. Eeldatavalt on keskmine loomade arvukus ligikaudu 270 isendit ehk 15% asurkonnast.



Joonis 4.4. VM_2 Muhu väin, (470 km2) on koridor, mida loomad kasutavad liikumiseks esimese ja kolmanda ala vahel. Eeldatav loomade keskmine arvukus on 180 isendit ehk 10% asurkonnast.

Joonis 4.5. VM_3, Liivi laht (7400 km2) kus asuvad viigerhüljeste lesilad nind toitumisalad. Eeldatav loomade keskmine arvukus on 1350 isendit ehk 75% asurkonnast.

Antud kolme ala jaoks on määratud elupaiga kasutus kuude kaupa arvestades viigerhüljeste poegimise, paaritumise ja karvaajamise perioode.

			poegimine	paaritumine	karva-ajamine								
elupaik		Pindala, km^2	elupaiga kasutus, %										
			jaan	veeb	märts	aprill	mai	juuni	juuli	aug	sept	okt	nov	dets
Väinameri	VM_1	1400	15	20	20	20	15	15	15	15	15	15	15	15
Muhu väin	VM_2	470	10	5	5	5	10	10	10	10	10	10	10	10
Liivi laht	VM_3	7400	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75

Tabel. 4.1 Hindamisala kolme osa hinnanguline kasutus kuude kaupa. Sinise värviga on märgistatud jäätumise periood.

4.3 Keskkonnaseisundi hindamine

Hinnang on koostatud ajavahemikus aprillist-detsembrini kuude kaupa. Näitena on toodud hinnangu arvutus juulikuu kohta merealal VM_1 (Väinameri). Mõõtmispositsiooni LIIVI02 salvestatud helide analüüsi kohaselt oli keskmine looduslik helitase juunis 60 dB re 1µPa. Kuulmisulatuse poole võrra vähenemisele vastavat 5 dB ületamist antud keskmisest esineb seega juhul, kui helirõhutase ületab 65 dB. BIAS planeerimisvahendi abil saab leida, et hinnatava mereala osa VM_1 piirides on helitase 65 dB on saavutatud iga ajalise ületamiste korral L% teatud protsendil antud mereala osast.

Ajalised ületamise määrad

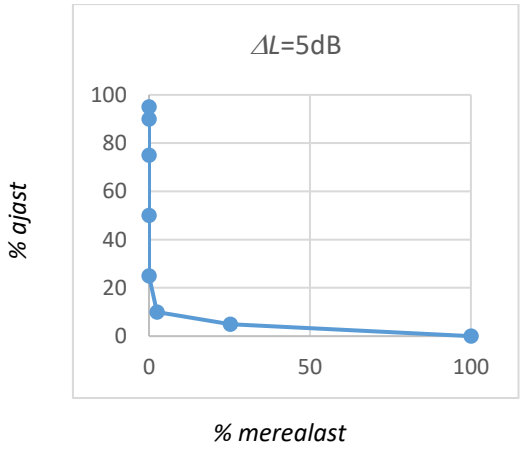
L_{nat}

ΔL=5dB

Helitase, dB	L05	L10	L25	L50	L75	L90	L95
60	68,2	58,2	18,7	0,1	0	0	0
65	25,2	2,5	0	0	0	0	0
70	1,8	0,9	0	0	0	0	0
75	1,4	0,7	0	0	0	0	0
80	1	0,4	0	0	0	0	0
85	0,7	0,3	0	0	0	0	0
90	0,5	0,2	0	0	0	0	0
95	0,2	0,1	0	0	0	0	0
100	0,2	0	0	0	0	0	0
105	0,1	0	0	0	0	0	0

Tabel 4.2. Mereala VM_1 määrad, kus helitase saavutab esimeses tulbas näidatud helitasemed. Tulpades on ajalised ületamise määrad. Looduslik helitase L_{nat}=60 dB re 1µPa.

Kui esitada mereala määra, kus looduslik helitase on ületatud 5dB võrra erinevate ajaliste ületamise määrades, saame tulemuseks järgneva graafiku (Joonis 4.6).



Joonis 4.6 Protsent mereala osast, kus looduslik helitase juulis oli ületatud vähemalt 5 dB võrra ja kui suur osa ajast oli antud helitase ületatud.

Kuna ajalise ületamise määrad leiduvad BIAS planeerimisvahendis ainult osadel määratud väärtustel (L05, L10, L25, L50, L75, L90 ja L95), siis nende vahepealsed väärtused leitakse olemasolevate sirgete joontega ühendamise teel (lineaarne interpoleerimine). Seeläbi tekkinud murdjoone aluseks pindalaks on A=401.

Aasta alguse esimeses jäävabal kuul ehk aprillis (jaanuarist märtsini esines merel jääd) oli mereala osal VM_1 20% populatsioonist, juunis aga 15%. Seega leides mereala kasutuse võrreldes aprilliga $\alpha = k_{juuli}/k_{apr} = 15/20$ ja sellest korrigeeritud graafiku pindala on

$$A' = 401 \times (20/15) \approx 301$$

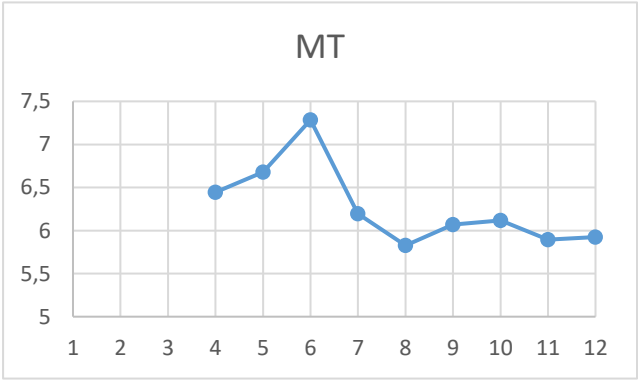
ja mõjutegur

$$MT = \log_{10}(A') \times 2{,}5 = \log_{10}(301) \times 2{,}5 = 6{,}20$$

Analoogselt saab mõjutegureid arvutada teiste kuude ja mereala osade jaoks. Antud mõjutegur arvestab seega ajas ja ruumis toimuvaid loodusliku ja inimtekkelise allvemüra omavahelise jaotuse muutusi samaaegselt asurkonna paiknemise muutustega.

Mereala esimese osa VM_1 arvutatud mõjuteguri MT väärtused kuude kaupa on toodud järgnevas tabelis ja mõjuteguri väärtuste muutusi kuude lõikes on kujutatud kõrvaloleval graafikul.

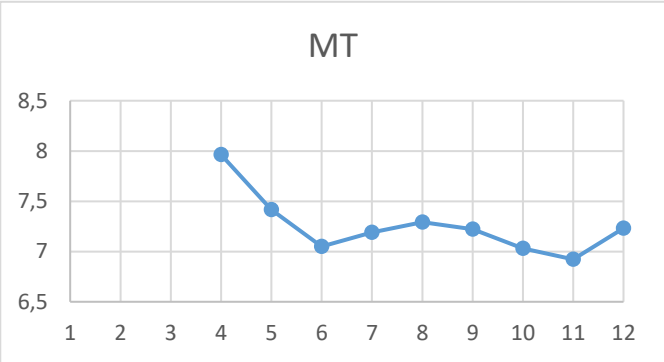
aprill	6,44
mai	6,68
juuni	7,28
juuli	6,20
august	5,83
september	6,07
oktoober	6,12
november	5,89
detsember	5,92



Aasta keskmiseks mõjuteguri väärtuseks saadi MT=6,27. Antud mõjutegur vastab olukorrale, kus 18% asurkonnast on häiritud 18% ajast.

Mereala teise osa VM_2 jaoks arvutatud mõjuteguri MT väärtused kuude kaupa on toodud järgnevas tabelis ja mõjuteguri väärtuste muutusi kuude lõikes on kujutatud kõrvaloleval graafikul.

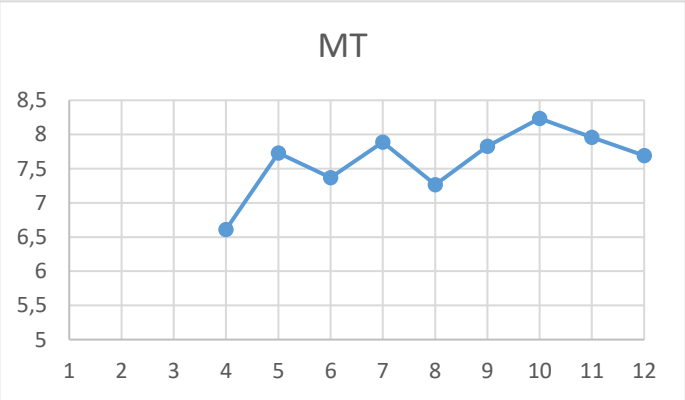
aprill	7,96
mai	7,42
juuni	7,05
juuli	7,19
august	7,29
september	7,22
oktoober	7,03
november	6,92
detsember	7,23



Aasta keskmiseks mõjutegur antud mereala osas saadi MT=7,26 mis vastab olukorral kus 28% asurkonnast on häiritud 28% ajast.

Mereala kolmanda osa VM_3 MT kuude kaupa arvutatud mõjuteguri MT väärtused on toodud järgnevas tabelis ja mõjuteguri väärtuste muutusi kuude lõikes on kujutatud kõrvaloleval graafikul.

aprill	6,61
mai	7,73
juuni	7,37
juuli	7,89
august	7,27
september	7,83
oktoober	8,23
november	7,96
detsember	7,69



Aasta keskmine mõjutegur antud mereala osas oli MT=7,62. Sellele mõjutegurile vastab olukord kus 33% asurkonnast on häiritud 33% ajast.

Kogu mereala ühine mõjutegur on leitav võttes arvesse iga mereala osa suhtelist suurust vastavalt:

$$MT=6,27 \times 0,156+7,26 \times 0,094+7,62 \times 0,75=7,38 < 8$$

Antud kogu merelal on hinnanguliselt olemas risk, et 30% viigerhülge asurkonnast on häiritud 30% ajast.

Kasutatud metoodika alusel koostatud arvutused ja valitud HKS pideva allveeheli piirmäär MT < 8 (40% asurkonnas 40% ajast) alusel võib väita, et viigerhüljeste asurkonna HKS pideva allveeheli osas on praegusel juhul tagatud.

5. Lõppsõna

5.1 Metoodika usaldusväärsus

Pakutud metoodika on koostatud viisil, mis võimaldab tema täpsust tõsta paremate algandmete leidumisel. Antud analüüsi tegemiseks on minimaalsel juhul olema tehtud piirkonna pideva allveeheli modelleerimine ning kogutud andmed helitundlike liikide kohta paiknemise ja arvukuse kohta.

Metoodika täpsust mõjutavad järgmised asjaolud:

A. Modelleerimine ja mõõtmised

1. Allveeheli modelleerimine peab sisaldama kõiki heliallikaid (seejuures annaks täpsema tulemuse piirkonnas väikeste ilma AIS-saatjateta aluste osakaalu hindamine).
2. Veealune helilevi mudel peab olema kalibreeritud mõõtmistulemustega ja seda soovitavalt mitmes mõõtepunktis. Mõõtepunktide arv peaks sõltuma hinnatava mereala suurusest ja keerukusest. Mõõtmistulemused on aluseks ümbritseva loodusliku mürafooni määramiseks antud merealal.
3. Helilevi peab modelleerima sagedusribas, mis vastab hinnatava elustiku suurimale helitundlikkusele. MSRD indikaatorsagedusribad 63 ja 125Hz ei pruugi olla sobivad kõikide mereloomade korral.

B. Elustik

4. Hinnatava liigi asurkonna paiknemine peab olema ruumiliselt selgelt hinnatav. See tähendab, isendite arvukus vaadeldaval merealal ja tema võimalikud paiknemise mustrid on hinnatavad. Viigerhüljeste puhul on selline hindamine võimalik, kuna tegemist on kompaktse asurkonnaga, kelle paiknemist on uuritud.

5. Sõltuvalt loomade arvukuse ja mereala kasutuse andmete kvaliteedist võib kogu mereala jagada osadeks, mille piires tehakse lihtsustus ja loomad loetakse neis ühtlaselt jaotunuks.

6. Loomade paiknemist puudutavad andmed hinnataval merealal on esmatähtsad, kuna võimalik kahju suureneb loomade paiknemisel inimtekkelistele allikatele lähemal. Puuduliku andmestiku korral võivad mõned riskid jääda arvestamata. Siin esitatud analüüsis vajaks täpsustamist reisiparvlaevade lähedal paiknevad mereala osad.

C. Allveemüra füsioloogiline mõju elustikule

7. Antud mõju hinnangus on arvestatava häiritusena käsitletud viigerhülge pikaajalist kuulmisulatuse vähenemist 50% võrra. Sellise kuulmisulatuse vähenemise kahjulikuks lugemine vajaks lähemaid bioakustilisi uuringuid.

8. Lisaks allveemüra mõjule üksikutele isenditele peab hindama müra kahjulikust tervele asurkonnale ning näidata lubatava häirituse piire asurkonna tasemel. Antud uuringus loetakse selliseks lubatavaks piiriks, kui on häiritud 40% asurkonnast 40% ajast. Antud piirväärtuse seos tegelikkusega vajab samuti täiendavaid uuringuid.

Projektis kasutatud sisendandmete kvaliteedi hinnang viiepallisel skaalal (0...5)

modelleerimine ja mõõtmised	3 (mudel ei ole kalibreeritud)
informatsioon asurkonna ulatuse kohta	4 (asurkond on küllalt täpselt märgistatud)
informatsioon mereala kasutuse kohta	2 (teadmised mereala kasutuse kohta on napid).
müra mõju liigile isenditele	2 (vaid üksikud publikatsioonid käsitlevad viigerhülge kommunikatsiooni varjutamist ehk maskeerimist)
müra mõju liigi asurkonnale	2 (metoodika puudub)

Pakutud HKS-i hinnangu metoodika lubab täpsustamist igal etapil täpsemate sisendandmete kasutatavaks saamise juhul.

5.2 Kokkuvõte

1. Liivi lahe seire raames on salvestatud allveehelisid, mida on töödeldud ja analüüsitud. Tulemused on esitatud keskmistatud helirõhutasemetena tertsribades kesksagedustel 63, 125 ja 2000 Hz. Tulemustest lähtub, et looduslik helitase langeb järsult jäätumisperioodil. Häiringu lähtunud ennetähtaegse salvestamise peatumise tõttu vajaks see periood parema kokkuvõte tegemiseks uuesti salvestamist.

2. Andmeanalüüsi käigus tuvastati bioloogilisi helisid, mis identifitseeriti kuuluvaks hall- ja viigerhüljestele. Erinevat tüüpi häälitsused süstematiseeriti ning võrreldi teistes uuringutes identifitseeritud häälitsustega ja toetuti ekspertarvamustele spetsialistidelt Taanist, Rootsist ja USA-st. Uuriti hüljeste häälitsuste mustreid ning nende esinemissagedusi. Häälitsuste spektraalanalüüs näitab, et enamasti on häälitsused madalsageduslikud ning seega võivad olla varjatavad laevade tekitatud müra poolt.

3. Testiti pidevmüra mõju hindamist viigerhüljeste asurkonnale vastavalt 2018.a aruandes „Läviväärtuste kehtestamine Eesti mereala hindamiseks MSRD 11. tunnuse (veealuse müra) kriteeriumite järgi“ toodud metoodikale. Metoodika täiendati ning häirutuseks peetakse hüljeste pikaajalist kuulmisulatuse vähenemist tertsribas 125 Hz 50% võrra. Selline vähenemine tekib loodusliku fooni ületamisel 5-6 dB re 1uPa võrra. Asurkonna tasemel on HKS-i piirolukorraks pakutud häritust, mis mõjutab 40% asurkonnast 40% ajast. Koostatud esialgse hinnangu alusel on Liivi lahes häiritud 30% viigerhüljeste asurkonnast 30% ajast, ehk HKS D11C2 kriteeriumi järgi on täidetud.

4. Siiski vajaks täpsem hinnang paremat sisendandmete kvaliteeti, mida kasutades võivad Liivi lahes ilmneda probleemsetena näiteks tiheda reisiparvlaevade liiklusega piirkonnad. Selle tagamiseks oleks soovitav seiret jätkata, et veel lisaks:
   - kalibreerida helilevi modelleerimist,
   - tuvastada bioloogilisi helisid ajavahemikus aprill - juuli,
   - uurida Läänemere helilevi ja looduslike helitasemete iseärasusi jää esinemise perioodil.

Tänuavaldused
Uuringu autorid tänavad Keskkonnaministeeriumi ja Keskkonnainvesteeringute Keskust rahalise toetuse eest, ning Ivar ja Mart Jüssit väärtuslike soovituste ja abi eest.

Kirjandus

Asselin S,. , Hammill M,. O., Barrette C., (1993). Underwater vocalizations of ice breeding grey seals. Can. J. Zool. 71: 221 1-2219.

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: VerfußU.K.,Sigray P.

Bioacoustics Research Program. (2014). Raven Pro: Interactive Sound Analysis Software (Version 1.5) [Computer software]. Ithaca, NY: Cornell Lab of Ornithology. Available from http://www.birds.cornell.edu/raven.

F.Chen, G.I.Shapiro, K.A.Bennett, D.Thompson,C.Vincent,D.J.F.Russell,C.B.Embling. Shipping noise in a dynamic sea: a case study of grey seals in the Celtic Sea. Mar. Pollut. Bull. 114, 372–383 (2016).

Esther L. Jones, Gordon D. Hastie, Sophie Smout, Joseph Onoufriou, Nathan D. Merchant, Kate L. Brookes and David Thompson. Seals and shipping: quantifying population risk and individual exposure to vessel noise. J. of Applied Ecology. 1-11 (2017). doi: 10.1111/1

HELCOM (2018) Distribution of Baltic seals. HELCOM core indicator report. Online.

HELCOM (2016) Noise Sensitivity of Animals in the Baltic Sea. 14-15 December 2016

Jones, J. M., B. J. Thayre, E. H. Roth, et al. 2014. Ringed, bearded, and ribbon seal vocalizations north of Barrow, Alaska: Seasonal presence and relationship with sea ice. Arctic 67:203–222.

Jüssi, I.; Jüssi, M. Viigerhülge (Phoca hispida) kaitse tegevuskava, (2015-2019).

Klauson, A., Laanearu J., Mustonen M. Läviväärtuste kehtestamine Eesti mereala hindamiseks MSRD 11. tunnuse (veealuse müra) kriteeriumite järgi. Aruanne. TTÜ 2018.

Lin, T.H., Fang, S.H. & Tsao, Y. 2017. Improving biodiversity assessment via unsupervised separation of biological sounds from long-duration recordings. Sci. Rep. 7: 4547.

Mizuguchi,D., Tsunokawa,M., Kawamoto,M., Kohshima,S. (2015).”Underwater vocalizations and associated behaviour in captive ringed seals (Pusa Hispida),” Polar Biol. 39, 659-669.

Pine MK, Hannay DE, Insley SJ, Halliday WD, Juanes F. (2018) Assessing vessel slowdown for reducing auditory masking for marine mammals and fish of the western Canadian Arctic. Mar Pollut Bull 2018;135:290–302. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.07.031.

Putland R.L, Merchant N.D, Farcas A, Radford C.A. (2017). ”Vessel noise cuts down communication space for vocalizing fish and marine mammals”Glob Change Biol. 00:1–14.

J. M. Sills, B. L. Southall and C. Reichmuth. Amphibious hearing in ringed seals (Pusa hispida): underwater audiograms, aerial audiograms and critical ratio measurements. The Journal of Experimental Biology (2015) 218, 2250-2259 doi:10.1242/jeb.120972

Stirling, I. (1973). Vocalization in the ringed seal (Phoca hispida). J. Fish. Res. Board Can. 30: 1592-1594.

Teilmann, J., Galatius, A. & Sveegaard, S. 2017. Marine mammals in the Baltic Sea in relation to the Nord Stream 2 project. - Baseline report. Aarhus University, DCE –Danish Centre for Environment and Energy, 52 pp. Scientific Report from DCE –Danish Centre for Environment and Energy No. 236.
http://dce2.au.dk/pub/SR236.pdf

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.