

VAHEARUANNE

Projekti nimetus:

Veealuse müra mõju hindamine kalastikule

4. etapp (10. detsember 2019.a.)

Tellija: Keskkonnaministeerium

Projekti läbiviiv organisatsioon: Tallinna Tehnikaülikool

Vastutav täitja: Aleksander Klauson, uurimisrühma juht

E-mail: aleksander.klauson@taltech.ee

Tel.: +372 55 60 41 37

Tallinn 2019

1 Sissejuhatus

Aruandeperioodil on mõõdetud allvee ümbrusmüra Soome lahes ning modelleeritud allvee helikaarte Eesti majandusvööndis. Aruandes on esitatud mõõtmistulemuste analüüs, jälgitud allvee ümbrusmüra muutusi ja trende.

2 Projekti ettevalmistustegevused

Automaatse identifitseerimissüsteemi (AIS-i) laevaliikumise andmed, mis on vajalikud modelleerimiseks, on saadud Veeteede Ameti abil.

3 Katkestused ja häiringud tavapärasel tööl

Projekti täitmisel esines häiringuid, mis aeglustasid tööde käiku:

1. Tehnilise rikke tõttu lõpetas allveehelimõõtur salvestamise kavandatust varem.
2. Modelleeritud helikaartide mõõtmistulemustega kalibreerimine on aeganõudev protseduur, mis aeglustas helikaartide koostamist.
3. Mõned helikaardid ei ole kalibreeritud mõõtmistulemuste puudumise tõttu.

Nimetatud häiringud ei oma kriitilist tähtsust projekti eesmärkide saavutamisel, sest saadud mõõtmistulemuste abil sai kalibreerida helikaarte talveperioodil, kui kala traalipüük on kõigi intensiivsem. Lisaks modelleeriti helilevi pikemale perioodile, jaanuar-september 2019 ning modelleerimistulemused on piisavalt usaldusväärsed TÜ partneri ülesannete lahendamiseks.

4 Lühikokkuvõtte saadud tulemustest (4. etapp)

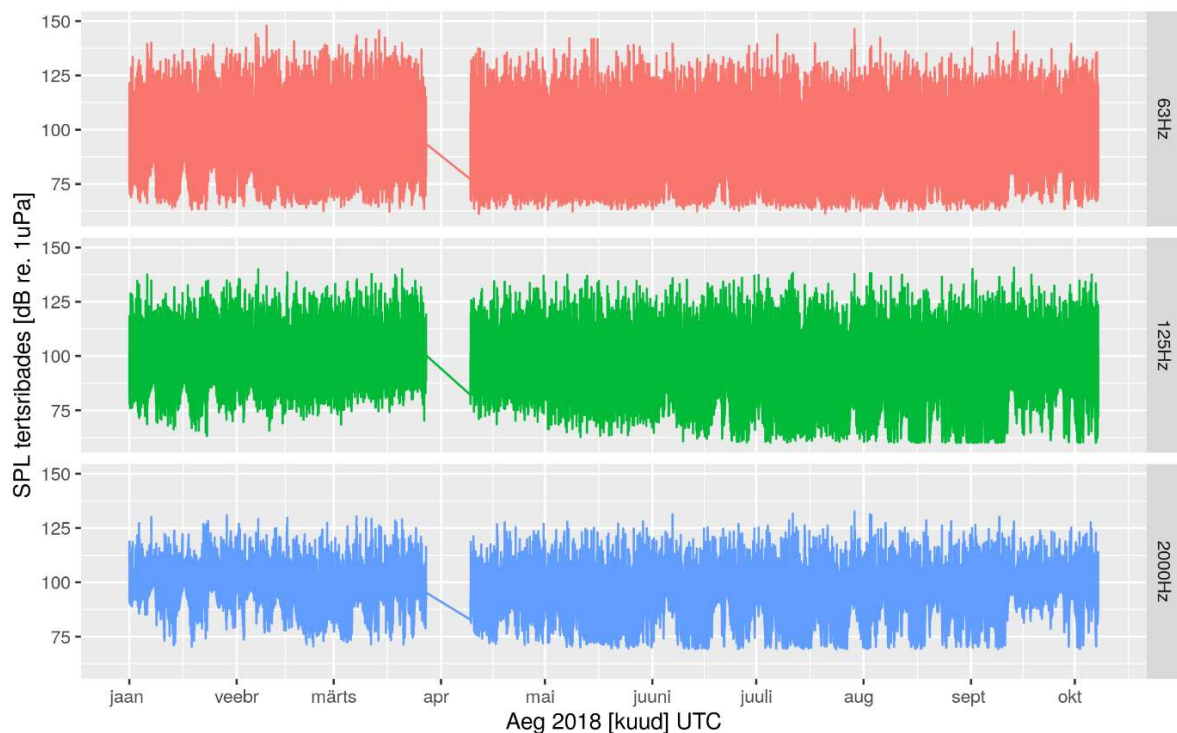
4.1 2019.a. allveeheli mõõtmistulemused

Soome lahe mõõtmispunkti BIAS20 lähedal sukeldati ümbrusmüra mõõtmiseks allveesalvestaja Wildlife Acoustics SM2M+ HTI standardhüdrofoniga. Salvestamine algas 22. jaanuaril 2019 ning salvestamise lõpp oli planeeritud 30. augustile 2019.a. Allveesalvestaja

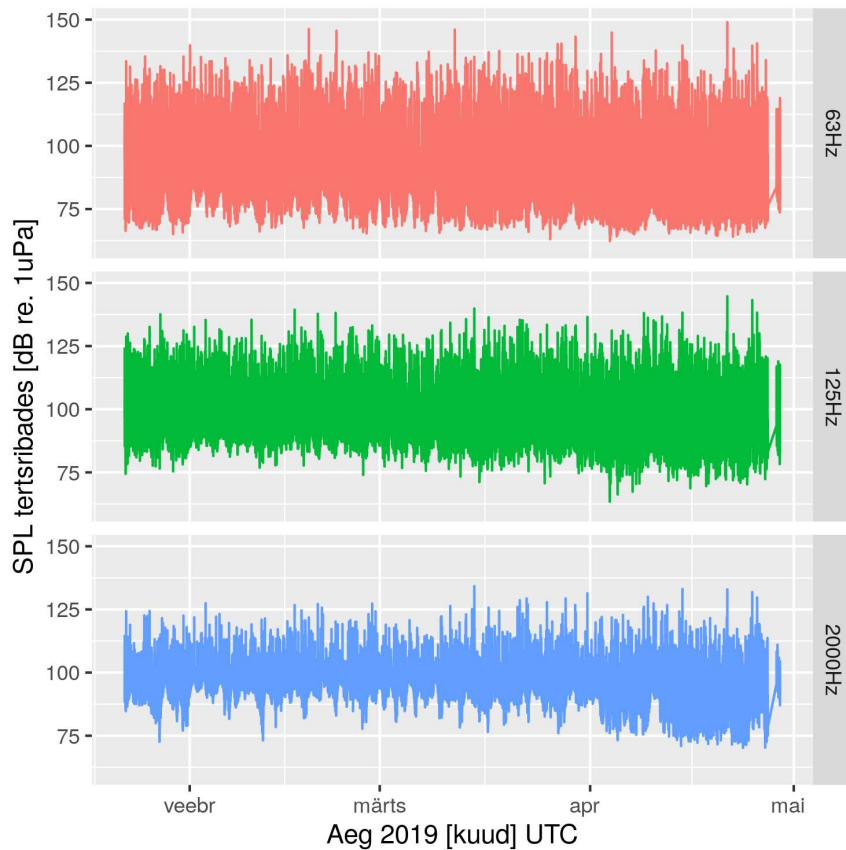
veest välja võtmine toimus 24. septembril 2019.a. Viivis oli tingitud merereisi planeerimise raskustest. TTÜ laev „Salme“ oli remondis ning merevägi oli nõus meid abistama oma laevaga, mis väljus 24. septembril. Sel päeval toimus merereis ning TTÜ allveesalvestaja võeti veest välja. Samas paigaldati uus seade mõõtmiste jätkamiseks.

Veest välja võetud seadme vaatlusega tuvastati, et salvestamine lõppes planeeritust 3 kuud varem tehnilise rikke tõttu. Selgus, et osa liitumpatareidest ei püsinud seadme kontaktides. Madala pinge tõttu osutus salvestuste lõpposa rikutuks ning kasutatavad olid andmed kuni 28. aprillini 2019.

Mõõtmistulemuste aegread aastast 2018 on toodud joonisel 1 ning aastast 2019 joonisel 2. Mõõtmised ja andmetöötlus on sooritatud vastavalt asjakohastele BIAS standarditele [Verfuß et al 2016, Betke et al 2015]. Kõik esitatud helirõhutasemed on 20 sekundi ajakeskmised ajaakendes. Helirõhutasemete (SPL) väärtused on toodud tertsribades 63, 125 ja 2000 Hz. Kahe erineva aasta aegridades võib kuude lõikes märgata sarnasusi: samade kuude suurimad ja väiksemad SPL-ide väärtused on lähedased. Esimese kvartali tertsriba 2000 Hz helirõhutaseme alumine piir on ilmselt kõrgem talviste tormide tõttu.



Joonis 1. Helirõhutasemete mõõtmiste aegread 2018. aastal. Ühikud dB re 1μPa.



Joonis 2. Helirõhutasemete mõõtmiste aegread 2019. aastal. Ühikud dB re 1μPa.

Mõõtmistulemuste statistiline analüüs on esitatud tabelites 1 ja 2, kus on toodud kuude keskmistatud helirõhu tasemed tertsribades 63 Hz ja 125 Hz. 2018. aasta kümne kuu veealuste helirõhutasemete statistilistest arvarakteristikutest on esitatud protsendilised ületamise määrad: L05, L50 (mediaan) ja L95. Protsendilise ületamise määra mõistet võib selgitada järgmise näite abil: kui L95 väärtus on 70 dB, siis see tähendab, et 95% mõõtmisajast oli veealune helirõhutase madalam kui 70 dB (ehk 5% ajast 70 dB-st kõrgem). Seega iseloomustab L95 pikaajalisi ning vaiksemaid helitasemeid, mis on seotud looduslike heliallikega nagu tuuletekkelised merelainetusest tulenevad helitasemed. L05 iseloomustab helivälja lühiajalist valjemat osa, mida tüüpiliselt tekitab laevaliiklus.

%- ületamise määr	2018-01	2018-02	2018-03	2018-04	2018-05	2018-06	2018-07	2018-08	2018-09	2018-10
L95	69	68	69	67	67	67	66	67	68	68
L50	83	82	86	80	77	78	76	76	79	79
L05	114	115	115	112	111	110	110	110	110	112

%- ületamise määr	2019-01	2019-02	2019-03	2019-04
L95	70	73	70	68
L50	80	84	82	80
L05	111	111	111	112

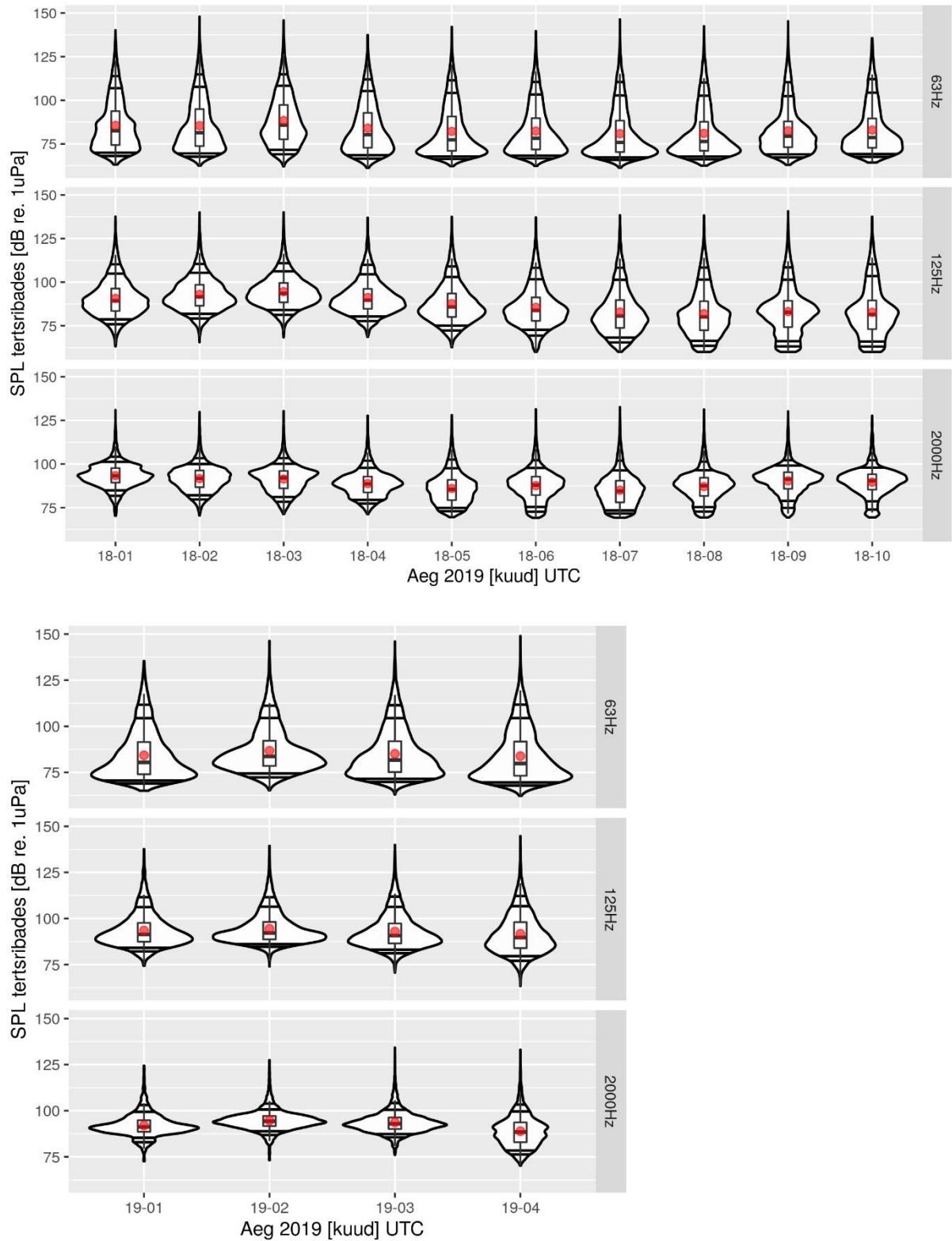
Tabel 1. Mõõdetud 63 Hz tertsriba helirõhutasemete protsendilised ületamise määrad kuude lõikes, ühikutes dB re 1 μ Pa.

%- ületamise määr	2018-01	2018-02	2018-03	2018-04	2018-05	2018-06	2018-07	2018-08	2018-09	2018-10
L95	76	79	82	78	72	70	65	63	62	62
L50	89	92	94	90	86	84	81	80	83	81
L95	110	110	111	110	109	108	108	108	108	110

%- ületamise määr	2019-01	2019-02	2019-03	2019-04
L95	82	85	81	78
L50	91	92	91	90
L05	112	111	112	112

Tabel 2. Mõõdetud 125Hz tertsriba protsendilised ületamise määrad kuude kaupa, dB re 1 μ Pa.

Hea ülevaate aastasest tertsribades mõõdetud veealustest helirõhutasemetest annavad empiirilised tihedusfunktsiooni graafikud [Klauson et al 2017], mis on toodud joonisel 3. Tihedusfunktsiooni alune pindala on võrdne ühega ja suurem väärtus tihedusfunktsioonis vastab helirõhutaseme tihedamale esinemiste arvule mõõtmistulemustes. Märkides tihedusfunktsiooni graafikule erinevate statistiliste arvkarakteristikute punkthinnangud, saab aastastest mõõtmistulemustest veel parema ülevaate. Joonisel 3 toodud tihedusfunktsioonid näitavad ümbrusheli sesoonsust, mida põhjustab aastane veetemperatuuride muutus veesamba pindmistes kihtides. On näha, et suvekuudel tekkiv veesamba ülemiste kihtide temperatuuri gradient muudab helilevi selliselt, et tertsribades 125 Hz ja 2 kHz muutub madalamate helitasemete mõõtmine probleemseks mõõtmistel kasutatud hüdrofoni madala tundlikkuse tõttu. Tihedusfunktsioonil ebapiisav hüdrofoni tundlikkus paistab viulgraafiku alumise otsa lamedaks muutmisel.



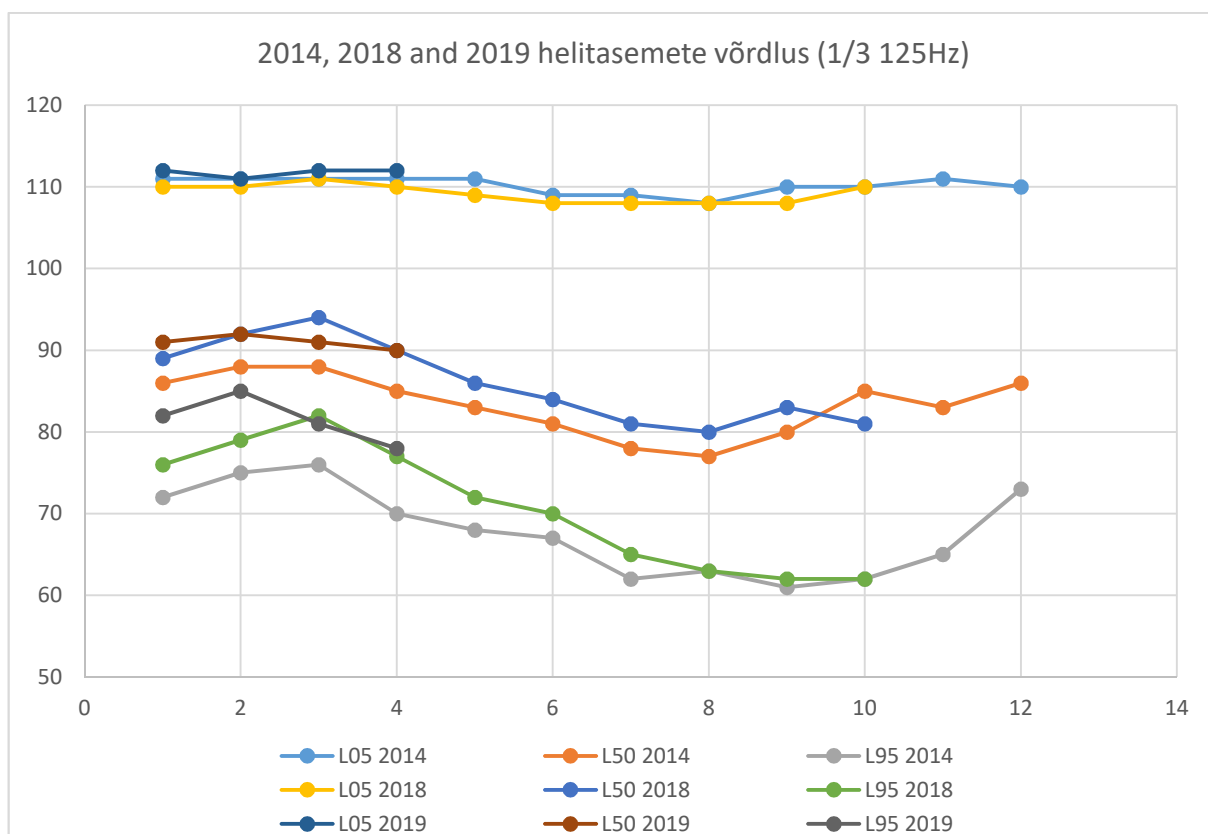
Joonis 3. Mõõdetud helitasemete empiirilised tihedusfunktsioonid. Vertikaaltelg – helirõhutase, mida laiem graafik, seda sagedamini antud helirõhutase esineb. Punane punkt – aritmeetiline keskmine, horisontaaljooned ülevalt alla L05, L10, L25, L50, L75, L90, L95.

4.2 Kolme mõõtmisperioodi tulemuste võrdlus

Joonisel 4 on toodud kolme mõõtmisperioodi võrdlus. Esimene periood – 2014.a. on BIAS projekti aasta, teiseks perioodiks on 2018.a jaanuarist oktoobrini ning kolmandaks 2019.a. periood jaanuarist aprillini. Andmed on esitatud kuude kaupa ning neile vastavad numbrilised väärtused on toodud tabelis 3.

Saadud mõõtmistulemused lubavad teha järgmisi järeldusi:

1. Kõige tugevamad ja lühiajalised mürasündmused (L05), mis on eeskätt seotud laevaliiklusega, ei ole erinevatel mõõtmisperioodidel oluliselt muutunud.
2. Madalama intensiivsusega pikaajalised müraallikad (L95), mis on seotud tuule ja lainetusega, on 2018.a talveperioodil ligi 5 dB kõrgemad ning 2019.a talvekuudel ligi 10 dB kõrgemad. Selline erinevus on ilmselt põhjustatud ilmastiku muutustest.
3. Madalaima protsendilise ületamise taseme (L95) graafikute lainelisus viitab sesoonsusele, sest suvekuude ümbrusmüra kustub kiiremini termokliini mõju tõttu [Mustonen et al., 2019].



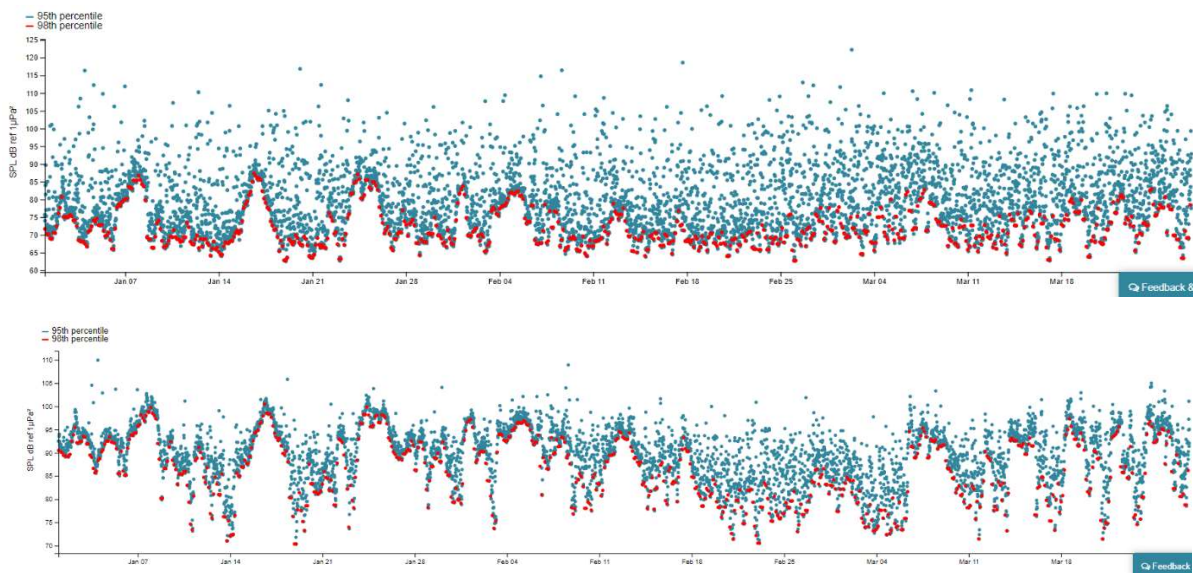
Joonis 4. Helitasemete võrdlus 2014., 2018. ja 2019. aastal.

%- ületamise määr	jaanuar	veebru	märts	aprill	mai	juuni	juuli	august	september	oktoober	november	detsember
L05 2014	111	111	111	111	111	109	109	108	110	110	111	110
L50 2014	86	88	88	85	83	81	78	77	80	85	83	86
L95 2014	72	75	76	70	68	67	62	63	61	62	65	73
L05 2018	110	110	111	110	109	108	108	108	108	110		
L50 2018	89	92	94	90	86	84	81	80	83	81		
L95 2018	76	79	82	77	72	70	65	63	62	62		
L05 2019	112	111	112	112								
L50 2019	91	92	91	90								
L95 2019	82	85	81	78								

Tabel 3. Mõõdetud 1/3 oktaavi 125Hz protsendilised ületamise määrad kuude kaupa kolmel mõõtmisperioodil.

4.3 Helirõhutaseme ööpäevased muutused

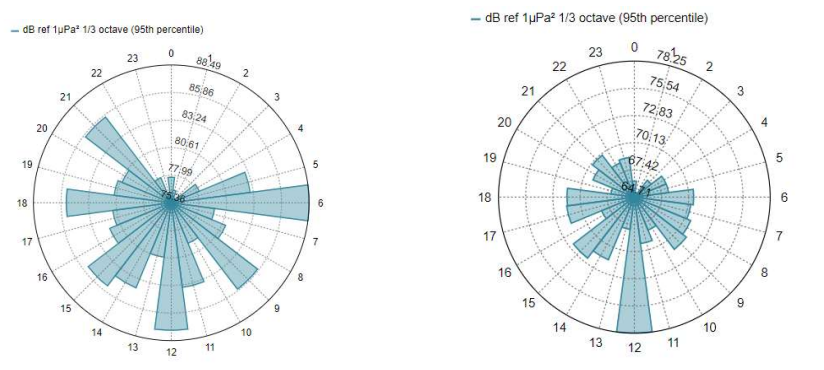
Vaadeldi helirõhutasemete mõõtmistulemuste ööpäevaseid muutusi ajaperioodil jaanuar-märts 2018.a. Helirõhutasemetest valiti madalaim protsendilise ületamise tase (L95), mis vastab enamasti looduslikku päritolu allveeheli komponendile. Sagedusribadeks valiti tertsriba 63 Hz (inimtekkelise heli indikaator) ning tertsriba 2 kHz, mille helirõhutasemed on rohkem mõjutatud tuulekiirusest ja merepinna lainetusest.



Joonis 5. Helirõhutase 2018. aasta esimeses kvartalis (jaanuar-märts), tertsriba 63Hz (üleva) ning 2kHz (all). Sinised punktid L95 ja punased L98 ületamise tase.

Joonisel 5 on toodud esimese kvartali helirõhutasemed tertsribades 63 Hz ja 2000 Hz. Punaste punktidega piiratud tõusud vastavad tugevnevatele tuultele ja tormidele. Joonistelt on näha, et tormide ajal tõuseb helirõhutase mõlemas tertsribas, kuid tugevamalt muutub helirõhutase tertsribas 2kHz.

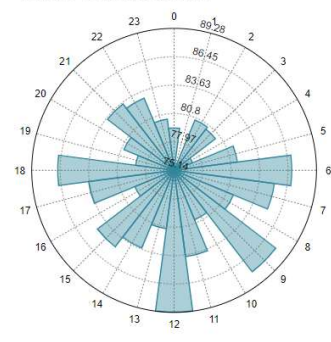
Järgmiselt vaatleme helirõhutasemete ööpäevase muutuse statistikat. Teaduskirjanduses leidub viiteid, et mereelustikuga seotud helitasemed muutuvad tavaliselt ööpäeva jooksul perioodiliselt. Näiteks teatakse, et soojades meredes tekitavad allveehelised mereloomad päikesetõusul, mis põhjustab märgatava ümbrusmüra helirõhutaseme tõusu. Läänemeres on heli tekitavaid mereloomi oluliselt vähem, kuid vastavalt mõnede uurimistöödele [Klusek, 2016] võib pelaagiliste kalakoondiste vertikaalne ööpäevane migratsioon mõjutada ümbrusmüra taset. Nimelt on märgatud, et öösel, kui mitmed kalakoondised tõusevad merepinna lähedale, moodustavad nad kihi, kus merepinnalt tulenev lainetuse müraenergia võib teatud sagedusribades neelduda. Seetõttu on ümbrusmüra salvestistest võimalik märgata ööpäevaseid muutusi. Öösel nendes sagedusribades ümbrusheli tase langeb ning päeval tõuseb. Autori selgitusel on muutused suurimad sagedusribades, mis langevad kokku kalade ujupõie resonantssagedustega. Näiteks on kilu ujupõie resonantssageduseks keskmiselt 2 kHz.



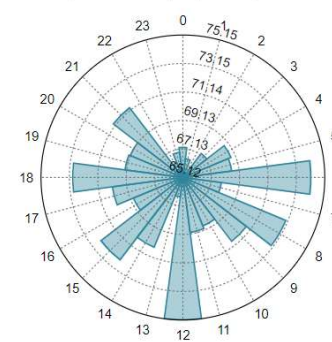
Joonis 6 a. Helirõhutaseme muutlikkus tundide kaupa, jaanuarikuu keskmised 2018, päike tõuseb 7:00 ning loojub 14:00 UTC (EET=UTC+2). Vasakul: tertsriba 2kHz, paremal: tertsriba 63Hz

Järgnevalt uurime madalama ületamistaseme L95 ümbrusmüra muutlikkust sõltuvalt ööpäevasest kellaajast. Joonisel 6a on näidatud 2018.a jaanuari keskmistatud helirõhutasemed tertsribades 2 kHz ja 63 Hz. Joonis näitab, et ajavahemikus 22:00 kuni 4:00 UTC väheneb ümbrusmüra helirõhutase tertsribas 2kHz keskmiselt 3-5 dB võrra, kuid sarnast dünaamikat võib märkida ka tertsribas 63Hz. Sarnaseid ööpäevaseid ümbrusmüra muutusi võib näha ka veebruaris ja märtsis (joonised 6 b, c), kus öisel ajal on märgata helirõhutaseme vähenemist. Esialgu on seda nähtust raske põhjuslikult seostada kalakoondiste liikumisega. Seose olemasolu kinnitamiseks peab ilmselt tegema uuringuid väiksematel ajaskaaladel nagu üks päev ja üks nädal.

— dB ref 1 μ Pa² 1/3 octave (95th percentile)

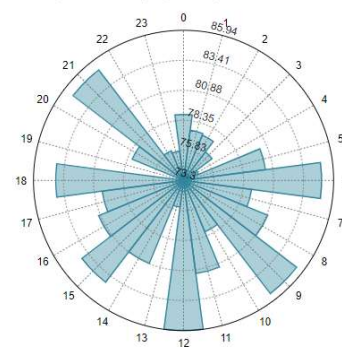


— dB ref 1 μ Pa² 1/3 octave (95th percentile)

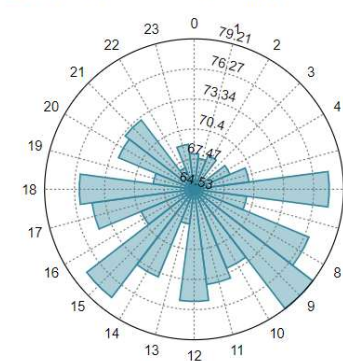


Joonis 6 b. Helirõhutase tundide kaupa, veebruar 2018; päike tõuseb 6:00 ning loojub 15:00 UTC (EET=UTC+2)
Vasakul: tertsriba 2kHz, paremal: tertsriba 63Hz

— dB ref 1 μ Pa² 1/3 octave (95th percentile)



— dB ref 1 μ Pa² 1/3 octave (95th percentile)



Joonis 6 c. Helirõhutase tundide kaupa, märts 2018; päike tõuseb 4:30 ning loojub 16:30 UTC (EET=UTC+2).
Vasakul: tertsriba 2kHz, paremal: tertsriba 63Hz.

4.4 Modelleerimine

Modelleerimise tulemusena on arvatud 2019.a esimese 9 kuu allveeheli kaardid. Helikaardid on arvatud kuude kaupa erinevate ajaliste ületamiste määrade jaoks ning ka erinevate veesambaosade jaoks eraldi. Helirõhutasemeid modelleeriti tertsribas 125 Hz. Teaduskirjanduse kohaselt on see sagedusvahemik hästi kuuldav Eesti majandusvööndis esinevatele kalaliikidele (räim, kilu). Ületamismääraks valiti L05, mis tähendab, et 5% ajast oli veealune helirõhutase antud helitasemest kõrgem.

5 Järgmiseks vahearuaande perioodiks kavandatavad tegevused

- Viiakse lõpuni allvee ümbrusmüra modelleerimine 2019. aasta andmetega, tehes helikaartide kalibreerimist mõõtmistulemustega.
- Jätkatakse allvee ümbrusmüra seiret Soome lahes mõõtmispunktis BIAS 20.

6 Võimalikud riskid ja tegevused riskide maandamiseks

Riskid on seotud eeskätt meretööde läbiviimisega ning mõõtmisaparatuuri võimalike riketega. Mõõtmisaparatuuri rikete tekkimise riske maandatakse seadmete õigeaegse hooldamise ning standardite järgimisega. Meretööde läbiviimisega seotud riskide maandamiseks järgitakse ja täiustatakse protseduurilisi reegleid.

7 Asjaolud, millega pole arvestatud lepingu sõlmimisel ja ettepanekud nende lahendamiseks

Projekti neljandal etapil on ilmnunud häiringuid (vt. punktis 3), mis aga ei ole kriitilise tähtsusega projekti eesmärkide täitmiseks. Seireandmetes tekkiv lünk ei avalda suurt mõju projektis tehtavale statistilisele analüüsile.

8 Kasutatud kirjandus

Klauson.A., Laanearu J., Mustonen M. (2017)Veealuse akustilise müra seire Soome lahes. Aruanne. KIK.

Mustonen, M., Klauson, A., Andersson, M., Clorennec, D., Folegot, T., Koza, R., Pajala, J., Persson, L., Tegowski, J., Tougaard, J., Wahlberg, M. and Sigray P. 2019. Spatial and Temporal Variability of Ambient Underwater Sound in the Baltic Sea. Scientific reports, 9(1), pp.1-13.

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.

Verfuß, U.K., Andersson, M., Folegot, T., Laanearu, J., Matuschek, R., Pajala, J., Sigray, P., Tegowski, J., Tougaard, J. (2015). BIAS Standards for noise measurements. Background information, Guidelines and Quality Assurance. Amended version.

Klusek, Z., Lismenka A., 2016. Seasonal and diel variability of the underwater noise in the Baltic Sea. Journal of the Acoustical Society of America 139 (4), 1537-1547.

Aruande koostaja: Aleksander Klauson
/digitaalselt allkirjastatud/

Esitamise kuupäev: 13.12.2019.a.