

**EL merestrateegia raamdirektiivi (2008/56/EÜ) kohane merekeskkonna
seisundihinnang: tunnus D11 (veealune müra)**

Töö teostaja: Tallinna Tehnikaülikool

Autorid: Aleksander Klauson, Mirko Mustonen

Tallinn 2023

Sisukord

1. Eessõna.....	3
2. Indikaatori BALEED11C1.1 taustinformatsioon	3
2.1 Impulssheli kirjeldavad suurused.....	4
2.2 Eesti mereala müratundlikud indikaatorliigid ning kahjulike bioloogiliste mõjude avaldumise tase (impulssmüra).....	5
2.3 Impulssmüra MSRD läviväärtused	8
2.4 Impulssmüra indikaatori kirjeldus ja väärtuse määramise meetoodika.....	9
3. Impulssmüra indikaatori hindamine	10
4. Eesti mereala kriteeriumi D11C1 hinnang.....	12
5. Pidevmüra indikaatorite BALEED11C2.1 ja BALEED11C2.2 taustinformatsioon	13
5.1 Pidevheli kirjeldavad suurused	13
5.2 Eesti mereala müratundlikud indikaatorliigid ning kahjulike bioloogiliste mõjude avaldumise tase (pidev madalsageduslik müra).....	13
5.3 Pidevmüra seire andmed	15
5.4 Pidevmüra levi modelleerimine	15
5.5 Indikaatorite kirjeldus ja väärtuse määramise meetoodika.....	16
6. Pidevmüra indikaatorite BALEED11C2.1 ja BALEED11C2.2 hindamine	18
7. Eesti mereala kriteeriumi D11C2 hinnang.....	19
8. Kirjandus.....	20

1. Eessõna

2023. aastal on EL MSRD töörühm TG Noise avaldnud meetodite raamistikud veealuse impulss- ja pidevmüra mõju mereelustikule hindamiseks [Sigray 2023, Borsani 2023]. Kuna Euroopa vetes leidub palju erinevaid elupaiku ja liike, nähakse hindamismeetodite rakendamisel ette ka piirkondlike eripäradega arvestamist. See tähendab, et meetodite rakendamise üksikasjad peab määrama piirkondlikul tasandil, eelkõige piirkondlike merekonventsioonide, samuti piirkondlike asutuste ja piirkondlike ekspertrühmade poolt. Läänemere ja Eesti kontekstis tehakse seda HELCOMi koostööna.

Veealuse müra mõju hindamise raamistik eeldatakse, et kahjulikud mõjud liigi populatsiooni tasandil avalduvad juhul, kui teatud osa populatsiooni elupaigast puutub teatud aja jooksul kokku kas neile kahjulikku mõju avaldava impulss- või pideva heliga. Hea keskkonnaseisundi läviväärtused määratletakse elupaiga pindala osakaalu suurusena, milles helitase võib ületada kahjulike bioloogiliste mõjude avaldumise taset (BMAT) kindlaksmääratud aja jooksul. Veealuse müra suhtes tundlike indikaatorliikide, elupaikade, võrguruutude suuruste, talutava mõjuala osakaalu ja talutava kestuse valikud tehakse piirkondlikul tasandil, võttes arvesse piirkondlikke eripärasid.

Eesti mereala seisundihinnang veealuse müra (D11) suhtes anti kahe hindamiskriteeriumi alusel: D11C1 impulsshelid ja D11C2 pidevmüra. Müratundlike indikaatorliikidena kasutati hülgeid ning räime.

Uuringut rahastas Kliimaministeerium riigieelarvest ja kasvuhoonegaaside lubatud heitkoguse ühikutega kauplemise tulust.

Impulsshelid

2. Indikaatori BALEED11C1.1 taustinformatsioon

Indikaator BALEED11C1.1 – impulsshelide jaotus ja intensiivsus tagab, et inimtekkeline impulssmüra ei kahjustaks mereliikide elupaiku. Impulsshelid on helid, millel on lühikese kestuse

juures suhteliselt kõrge amplituud. Impulssmüra on seotud selliste tegevustega nagu vaiade löökrammimine, sonarite kasutamine, veealused lõhkamised ja mitmed teised.

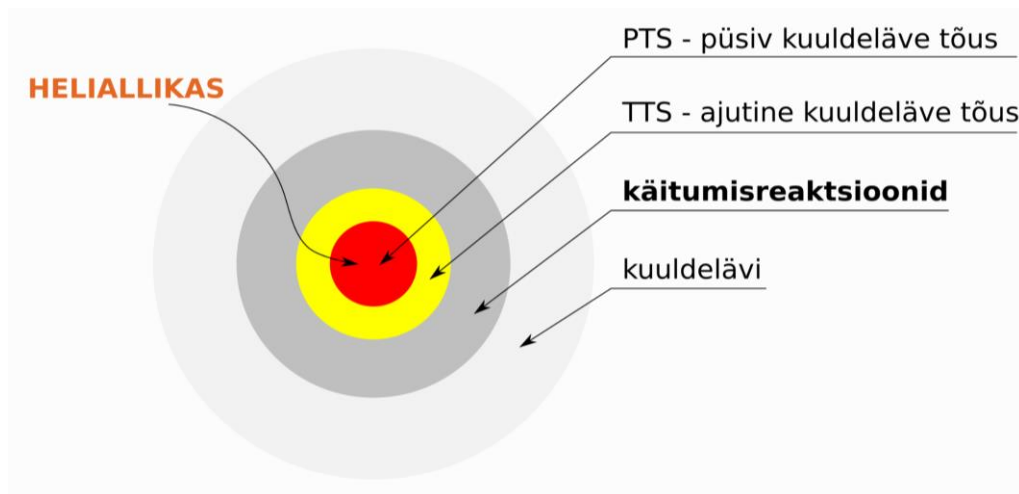
Impulssmüra keskkonnamõju piirideüleseks hindamiseks on OSPARi ja HELCOMi konventsioonide osaliste jaoks loodud ühine impulssmüra tekitavate tegevuste register mida haldab ICES (ICES Impulssmüra esinemiste register, <https://www.ices.dk/data/data-portals/Pages/impulsive-noise.aspx>). Registrisse kantavate tegevuste nimekirjas on välja toodud potentsiaalselt kõige kahjulikumad laialdaselt esinevad tegevused [Dekeling 2014]. Kuna tegevused tekitavad erineva intensiivsuse ja korduvusega impulssheliseid, on igale tegevusele seatud talle omane minimaalne intensiivsuse piir, millest alates antud tegevust registrisse peab raporteerima.

2.1 Impulsheli kirjeldavad suurused

Kuna paljudel juhtudel korduvad impulsshelid erinevate ajavahedega ja erineval arvul kasutatakse nende kumulatiivse mõju arvestamiseks heli kokkupuutetaset (SEL). Seetõttu on SEL suurus, mida kasutatakse näiteks pringlite [Tougaard 2015] ja kalade [Popper 2014] kuulmiskahjustuse tekkimise lävede väljendamiseks. Vaiade löökrammimise korral defineeritakse lisaks $SEL_{(ss)}$, mis väljendab üksiklöögi kokkupuutetaset ja $SEL_{(cum)}$, mis väljendab kumulatiivset kokkupuutetaset ehk mitme löögi kumulatiivset väärtust teatud aja jooksul. Nendel kahel suurusel on erinev kasutusotstarve. $SEL_{(ss)}$ on kergesti mõõdetav ja sellel on loomadele kahjuliku mõju tekitamisel suur tähtsus. See ei ole aga mõõdik, mis kirjeldaks looma poolt tajutava heli kogu “energiat”. Tavapäraselt määratakse (mõõdetakse või modelleeritakse) $SEL_{(cum)}$ mingis kindlas punktis ja seetõttu ei ole ta samuti vastavuses akustilise energiaga mida tajub reaalne loom. Tajutava helitaseme määramise teeb keerulisemaks loomade liikumine ja kokkupuute muutumine kaugusega. Üksiku punkti $SEL_{(cum)}$ võib olla samas oluline näiteks kalamarja, vastsete ja paljude paiksete selgrootute loomade korral. Uuringud näitavad, et tihti on ühe läviväärtuse asemel asjakohasem kasutada mitut erinevat läve, kuna impulssmürast tekkinud häiringu (vigastuse) ulatust mõjutavad nii summaarne löökide arv kui ka üksikute löökide helitasemed. Seega võib piirväärtuste määramisel kasutada samaaegselt mitmeid erinevaid suuruseid.

2.2 Eesti mereala müratundlikud indikaatorliigid ning kahjulike bioloogiliste mõjude avaldumise tase (impulssmüra)

Valju veealuse müra mõju tõsidus sõltuvalt kaugusest heliallikani on esitatud joonisel 1. Antud joonis näitab, et kõrge amplituudiga heliallika vahetus läheduses võib loomadel tekkida püsiv kuuldeläve tõus, millest teatud maad kaugemal tekib ajutine kuuldeläve tõus. Olles allikast veel kaugemal, saab täheldada looma käitumisreaktsioone. Leidub veel kaugus, kus loom helile ei reageeri, kuid peaks olema võimeline heli kuulma ehk heli ületab nende kuuldeläve.



Joonis 1. Veealuse müra võimalikud mõjud elustikule sõltuvana kaugusest heliallikani.

Mereimetajate käitumisreaktsioonidele vastavad helitasemed (üksik või korduv kokkupuude 24 tunni ehk ühe ööpäeva jooksul) on toodud artiklis [Southall 2008].

Ajutise kuuldeläve tõusu esinemine sõltub sellest, kas kuulmine jõuab peale üksikute impulsside esinemist taastuda. Tugevate impulsside jada avaldab suure tõenäosusega mereimetajate kuulumisele negatiivset mõju kumulatiivselt, mida kõige paremini kirjeldab kokkupuutetase. Konkreetne mõju loomale sõltub tema kaugusest rammimise asukohast (impulssheli allikast) ning teatud aja jooksul võib tekkida nii ajutine kui ka püsiv kuuldeläve tõus. Põhjalik ülevaade veealuse heli mõjudest mereimetajatele esitatakse artiklis [Southall 2019], kus on analüüsitud mitme autori katsetulemusi. Artiklis on esitatud ajutise ning püsiva kuuldeläve tõusule vastavad kaalutud kokkupuutetasemed ning kaalumata helirõhu taseme tippväärtused.

Läänemere helitundlikke liike ja nende liikide kuulmise eripärasid on põhjalikumalt käsitletud aruandes [HELCOM 2019] ning siin on esitatud vaid lühiülevaade. Vastavalt aruandele on kõikidel Läänemere imetajatel: hall-, randal- ja viigerhülgel ning pringlil terav veealune kuulmine. Seejuures on mereimetajad nagu maismaaimetajadki tundlikud just helirõhu suhtes.

Kalade kuulmine on mereimetajatest erinev. Kalad tajuvad enam heliosakeste liikumist kui helirõhku. Läänemere kalaliikidest on tursal ja heeringal madalatel sagedustel kõrge kuulumistundlikkus [Enger 1967, Sand 1973], tekitades samas ka ise helisid [Wahlberg 2003, Wilson 2004, Hawkins 1978] ning reageerides helidele [Wilson 2002, Thomsen 2012A]. Teiste Läänemere kalaliikide ja suurema enamuse selgrootute kuulumistundlikkuse ja helide kasutamise kohta leidub senini üsna vähe usaldusväärseid andmeid. Samas võib eeldada, et helidel on enamus liikide jaoks vähemalt osal nende elutsüklist oluline roll [Popper 2001, Tolimieri 2000].

Müra mõjude hindamises lähtutakse tihti erinevatele loomaliikidele bioloogiliste mõjude avaldumise tasemed (BMAT) ehk tasemed, mille ületamisel võib antud loomaliigil avalduda bioloogiliselt kahjulik mõju. Lähtudes aruande [HELCOM 2019] soovitustest, on Tabelis 1 esitatud kuulumisgruppide PCW (hülged vees) ning VHF (väga kõrgetele sagedustele tundlikud vaalalised - pringlid) BMAT väärtused. Osa esitatud helitasemetest on kaalutud ning vastavad kaalufunktsioonid on toodud töös [Southall 2019].

Siinses peatükis esitatud BMAT väärtused on esitatud ka teistes Läänemere riikides indikaatorliikideks peetud ja teadaolevalt kõige helitundlikemate kalaliikide jaoks. Samas võib tabelites 1 ja 2 toodud väärtusi konservatiivselt kasutada ka teiste, vähem tundlike kalaliikide jaoks. Samuti on märgitud BMAT väärtused peale Eesti merealade vajadusel rakendatavad ka meie siseveekogudel.

Tabelis 1 on esitatud ka kalade ajutist kuuldeläve tõusu tekitavad helitasemed. Püsiva kuuldeläve tõusu taset üldjuhul kaladel ei määrata ning pigem esineb kirjanduses kalale surmavalt mõjuvad helitasemed [Andersson 2016]. Vastavad surmavad helirõhutasemed on toodud tabelis 2. Kuigi kalade siseorganeid vigastavad soovituslikud müratasemed põhinevad mitmete anatoomiliste ja morfoloogiliste erinevustega liikide uuringutel, leidub katsetatud liike suhteliselt vähe. Enamus katseid on teostatud laboratoorses tingimustes, kus kala ei saa allikast eemale põgeneda. Looduslikes tingimustes võib kaladel olla võimalus kahjuliku müratasemega alast eemale ujuda. Sel juhul võib eeldada, et kokkupuuteaeg kahjuliku müraga on lühem.

Kalamarjale ja vastsetele kahjulik müratase esineb ainult heliallika läheduses. Kuna looduses on kalamarja ja vastsete suremus suhteliselt suur, osutavad mitmed autorid, et kõrge impulsiivsest

mürast põhjustatud suremus on hinnanguliselt populatsioonile ebaolulise mõjuga [Andersson 2016].

Tabel 1. Kahjulike bioloogiliste mõjude avaldumise tasemed (BMAT) mereimetajatel ja kaladel.

Mereliigid	Reageerimistase, SEL, dB re 1 μ Pa ² s (M)	Reageerimistase SPL(peak), dB re 1 μ Pa	Ajutine kuuldeläve tõus (TTS) SEL(cum), dB re 1 μ Pa ² s	Püsiv kuuldeläve tõus (PTS)
Hülged	171 [Southall 2008]	212 [Southall 2008]	193 SEL [Kastelein 2018], 170 dB SEL PCW kaalutud või 212 dB SPL(peak) [Southall 2019]	185 dB SEL PCW kaalutud või 218 dB SPL(peak) [Southall 2019]
Pringel	183 [Southall 2008]	224 [Southall 2008]	175 (> 1h) [Kastelein 2015], [Tougaard 2015] 140 dB SEL VHF kaalutud või 196 dB SPL(peak) [Southall 2019]	155 dB SEL VHF kaalutud või 202 dB SPL(peak) [Southall 2019]
Räim, heeringas			186 [Popper 2014]	
Tursk			186 [Popper 2014]	

Tabel 2. Surmavad helirõhutasemed kaladel [Andersson 2016]

	Kala	Kalamari ja vastsed
Suremus ja siseorganite vigastused	SPL(peak) 207 dB re 1 μ Pa SEL(ss) 174 dB re 1 μ Pa ² s SEL(cum) 204 dB re 1 μ Pa ² s	SPL(peak) 217 dB re 1 μ Pa SEL(ss) 187 dB re 1 μ Pa ² s SEL(cum) 207 dB re 1 μ Pa ² s

2.3 Impulssmüra MSRD läviväärtused

Võimalike väljatõrjuvate häirivate mõjude ajalise kestvuse paremaks arvestamiseks on esitatud kahele erinevale ajavahemikule vastavad impulssmüra läviväärtused. Esimene neist on lühiajaline ehk 1-päevane läviväärtus ning teine pikaajaline ehk aastane läviväärtus. Läviväärtuse üldise põhimõtte järgi võib lühiajalise kestusega impulssmüra mõjuda suuremale osale asurkonnast, kui pikaajalise kestusega impulssmüra korral. Vastavalt antud põhimõttele ja olemasolevatele bioloogilise mitmekesisuse vähenemise ärahoidmiseks määratavate läviväärtuste seadmise põhimõtetele pakuti järgnevaid läviväärtusi:

- Lühiajalise kokkupuute (1 päev ehk päevane kokkupuude) korral ei tohi valitud hindamisalast või liigi elupaiga pindalast impulssmüra tase ületada BMAT-i enam kui 20 % suurusel alal kogu hinnatavast pindalast/elupaigast ($\leq 20\%$).
- Pikaajalise kokkupuute (1 aasta) korral ei tohi valitud hindamisala või liigi elupaiga pindala päevaste osakaalude keskmine, milles impulssmüra tase ületab BMAT-i ületada 10 % kogu hinnatavast pindalast/elupaigast ($\leq 10\%$).

Pakutud läviväärtused määravad ülemisi piire ning riigid võivad vajadusel määrata rangemaid tingimusi. Täpsed BMAT väärtused määravad riigid, kuid kohustusega määratud väärtusi kooskõlastada merekonventsioonide tasemel. Eesti puhul peavad BMAT väärtused kooskõlastama Läänemere riike hõlmava HELCOM-i tasemel, need on juba heaks kiidetud Helcom müraekspertide poolt (EG Noise).

2.4 Impulssmüra indikaatori kirjeldus ja väärtuse määramise metoodika

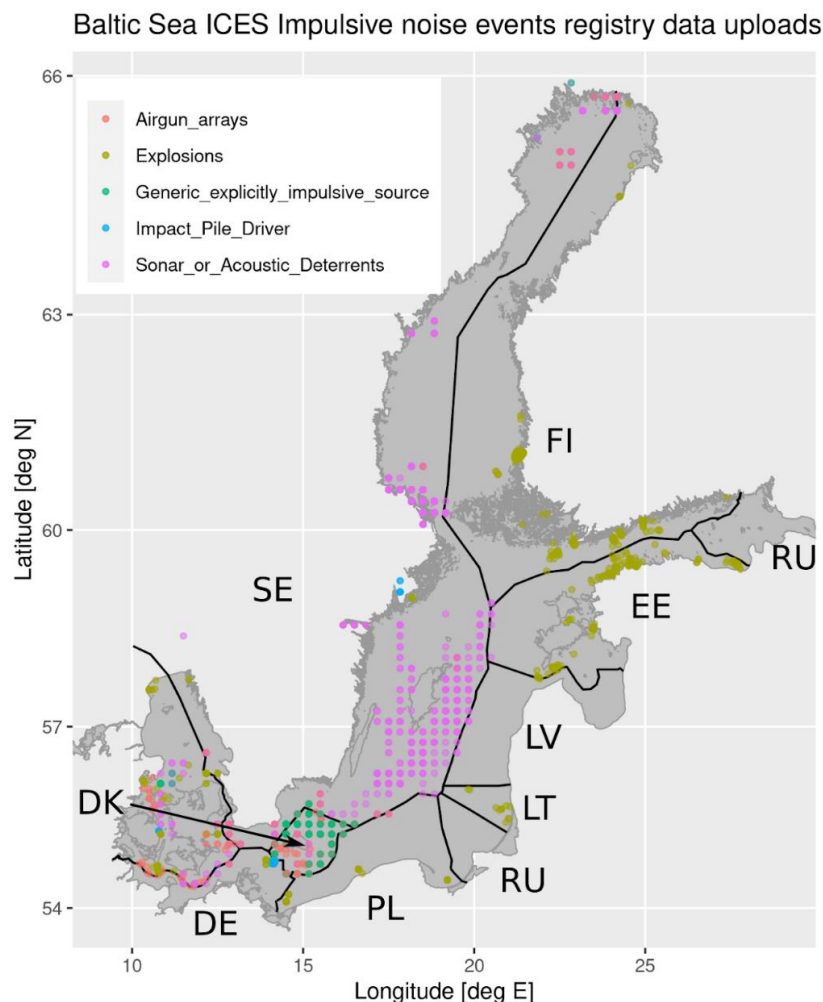
Lühiajalise kokkupuute (1 päev ehk päevane kokkupuute) korral ei tohi valitud hindamisüksuse pindalast impulssmüra tase ületada bioloogiliste mõjude avaldumise taset enam kui 20 % suurusel alal kogu hindamisüksuse pindalast ($\leq 20\%$).

Pikaajalise kokkupuute (1 aasta) korral ei tohi valitud hindamisüksuse päevaste osakaalude keskmine, milles impulssmüra tase ületab bioloogiliste mõjude avaldumise taset, ületada 10 % kogu hindamisüksusest ($\leq 10\%$).

Määratakse ICES alamruutude arv, milles impulssmüra ületab kahjulike bioloogiliste mõjude avaldumise taset (BMAT), ning arvutatakse mõjutatud võrguruutude protsent kogu elupaigast või hindamisüksusest.

3. Impulssmüra indikaatori hindamine

Impulssheli sündmused HELCOMi registrist on toodud joonisel 2. On näha, et Eesti majandusvööndis on registri andmetel toimunud ainult veealused plahvatused. Indamisel on kasutatud HELCOM HOLAS 3-e raames saadud tulemusi, kuid . indikaatorliigiks on valitud pringlite asemel hülged, kuivõrd pringlite levikuala on väljaspool Eesti mereala ning müratundlikest liikidest levivad meil hülged. See asendus tähendas mõjuulatuse vähenemist, kuna hülged on impulsiivse müra suhtes vähem tundlikud kui pringlid. Tabel 1 näitab, et kui pringlite puhul toimub ajutine kuuldeläve tõus 175 dB SEL juures, siis hüljeste puhul 193 dB SEL juures. Hüljeste elupaigaks on loetud iga hindamisüksus (Helcomi alambassein) tervikuna.



Joonis 2. ICESi impulssmüra registrisse üleslaetud sündmuste asukohad ajavahemikul 2016-2021. Mustad jooned tähistavad riikide majandusvööndi piire.

Hindamine toimus neljas hindamisüksuses (Helcomi III taseme hindamisüksused):

BAL-EE-GR Liivi (Riia) lahe mereala (sisaldab ka Väinamere ala)

BAL-EE-GF Soome lahe mereala

BAL-EE-EGB Ida-Gotlandi basseini mereala

BAL-EE-NBP Läänemere avaosa põhjabasseini mereala

Maksimaalsed päevased impulssmüra mõjutatud ICES-i alamruutude arvud on toodud tabelis 3.

On näha, et maksimaalsed päevased impulssmüra mõjutatud mereala osad, kus BMAT on ületatud, jäid alla 20%-lise lävendi.

Kuna impulssmüra esines vaid üksikutel päevadel, siis päevaste osakaalude keskmine väärtus aastate lõikes on kõikide hindamisalade jaoks ligilähedane 0%, mis jääb selgelt alla 10%-lise aastase lävendi. Kuigi hinnangu andmiseks on indikaatorliigina kasutatud hülgeid, võib impulssmüra sündmuste vähesuse tõttu laiendada seisundihinnangut ka teistele müratundlikele liikidele (nt räim), sh katab seisundihinnang hüljeste suhtes kogu Eesti mereala, kus esinevad ka muud liigid.

Tabel 3. Maksimaalsed päevased mereala mõjutatud osad (BMAT on ületatud).

Mereala	Mereala ICES alamruutude arv	Maksimaalne päevane mõjutatud ICES alamruutude arv						Kogu perioodi maksimaalne päevane mereala mõjutatud osa
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	
BAL-EE-GR	31	0	1	0	0	0	3	10%
BAL-EE-GF	24	1	4	3	1	3	1	16%
BAL-EE-EGB	16	0	0	0	0	0	1	6%
BAL-EE-NBP	34	0	0	0	0	0	0	0%

Tabel 4. BALEED11C1.1 Impulsshelide jaotus ja intensiivsus

Indikaatori kood ja nimetus eesti keeles			
BALEED11C1.1 Impulsshelide jaotus ja intensiivsus			
Hindamisühik		% Protsent hüljeste elupaigast lubamatutes tingimustes või protsent hindamisüksuse alast mitte-HKS-is	
Hindamisüksus (nimi eesti k.)	Hea keskkonnaseisundi lävend hindamisüksuse kohta	Indikaatori väärtus hindamisüksuse kohta (2016-2021)	Seisundihinnang (2016-2021)
BAL-EE-GR Liivi (Riia) lahe mereala	<10% merealast päevane <20% merealast aastane	Maks. päevane 10% Maks. aasta keskmine 0%	HKS saavutatud
BAL-EE-GF Soome lahe mereala	<10% merealast päevane <20% merealast aastane	Maks. päevane 16% Maks. aasta keskmine 0%	HKS saavutatud
BAL-EE-EGB Ida-Gotlandi basseini mereala	<10% merealast päevane <20% merealast aastane	Maks. päevane 6% Maks. aasta keskmine 0%	HKS saavutatud
BAL-EE-NBP Läänemere avaosa põhjabasseini mereala	<10% merealast päevane <20% merealast aastane	Maks. päevane 0% Maks. aasta keskmine 0%	HKS saavutatud

4. Eesti mereala kriteeriumi D11C1 hinnang

Eesti mereala oli ajavahemikul 2016-2021 impulsiivse müra osas heas keskkonnaseisundis (kriteerium D11C1). Enim oli impulssmüra sündmusi Soome lahes, kogu hindamisperioodi jooksul (2016-2021) ei tuvastatud impulssmüra Läänemere avaosa põhjabasseinis.

Pidevmüra

5. Pidevmüra indikaatorite BALEED11C2.1 ja BALEED11C2.2 taustinformatsioon

Indikaatorid BALEED11C2.1 ja BALEED11C2.2 – Veealuse madalsagedusliku pidevmüra jaotus ja intensiivsus detsidekaadides vastavalt 125 Hz ja 500 Hz, tagab, et inimtekkeline pidevmüra ei kahjustaks mereliikide elupaiku. Madalsageduslik pidevmüra on seotud peamiselt laevaliiklusega, kuid pidevmüra saavad genereerida ka avameretuuepargid ning süvendustööd.

Veealust pidevmüra seiratakse hindamisperioodi jooksul, mõõtes pidevmüra paiksetes poijaamades vastavalt TG Noise suunistele [Dekeling 2014]. Mõõtmistulemusi kasutatakse helimaastiku mudeli valideerimiseks. Hindamisel võetakse aluseks modelleeritud helirõhutasemeid võrguruutudes.

5.1 Pidevheli kirjeldavad suurused

Peamine füüsikaline suurus, mida kasutatakse helide kirjeldamiseks, on helirõhu ruutude keskmine tase ehk helirõhutase. Seirejaamades salvestatud helidest on võimalik arvutada erinevate sagedus- ja ajavahemikele vastavaid helirõhutasemeid. Ajavahemikud, milles helirõhutaset arvutati, olid 20-sekundilised. Sagedusvahemikud, milles helirõhutasemeid arvutati, olid tertsribad (alus 10) ehk detsidekaadid. Peamised detsidekaadid, milles helirõhutasemeid leiti, olid nimiväärtustega 63 Hz, 125 Hz ja 500 Hz. Tertsribad nimiväärtustega 63 Hz ja 125 Hz on EL Merestrateegia Raamdirektiivis (MSRD) inimtekkelise helitaseme indikaatorsagedusvahemikeks. Kuna mereimetajad on tundlikumad kõrgemate sageduste suhtes, siis on vaatluse alla võetud täiendavalt ka detsidekaad nimiväärtusega 500 Hz.

5.2 Eesti mereala müratundlikud indikaatorliigid ning kahjulike bioloogiliste mõjude avaldumise tase (pidev madalsageduslik müra)

Mereimetajatest on Eesti merealal levinud kaks hülglaste liiki - hallhüljes ja viigerhüljes. Mõlemad liigid on väga helitundlikud nii õhus leviva kui veealuse müra suhtes, kusjuures mõlemad liigid on vähem tundlikud madalsageduslike helide suhtes nagu MSRD indikaatorsagedusvahemikud tertsribad 63 Hz ja 125 Hz. Samas helisid tertsribas 500 Hz kuulevad hülged oluliselt paremini.

Seejuures on ka hüljeste eneste hääliksused sarnaste sagedustega ja samal sagedusel esineb ka inimtekkelist müra, mis võib varjestada ehk maskeerida hüljeste omavahelist kommunikatsiooni. Maskeerimise ohtu loeme kõrgeks, kui looduslik helitase on ületatud 20 dB võrra [Sills 2015, Prawirasasra 2021].

Teiseks võib pidev kõrge tasemega müra sõltuvalt intensiivsusest esile kutsuda kuulmishäireid või häirida loomade tavapärast elurütmi. Helide kõrget taset ja selle taseme ajalist kestvust iseloomustab füüsikaline suurus heli kokkupuutetase. Häiring, mis esineb suurel merealal ning pikema aja kestel, võib seada ohtu terve loomade asurkonna. Mitmes uuringus on püütud selgitada, milliste veealuste helitasemete korral hülged reageerivad ning ilmutavad vältimise reaktsioone. Loomade reageerimise intensiivsust on püütud kvantifitseerida, kuid vastavaid helitasemete numbrilisi väärtusi on teaduskirjanduses toodud äärmiselt vähe. Randalhüljeste uuringus [Kastelein 2009] näidati, et tugevad reaktsioonid esinevad tasemel 110 dB. Viimane väärtus on edaspidi käsitletud kui reageerimistasemele vastav Bioloogiliste mõjude avaldumise taseme (BMAT) väärtus sagedusel 500 Hz.

On teada, et viigerhüljeste peamiseks elupaigaks Eestis on Väinameri ja Liivi laht. Hallhüljeste elupaigaks võib pidada kogu Läänemere ala, kuna nende migratsioonid on viigritest palju suurema ulatusega. Eestis on mitmed laidudel asuvad hüljeste püsielupaigad kaitse all. Püsielupaikade ümbruses koguneb loomi kokku rohkem ja seda eriti sigimisperioodi ajal. Seega on veealuse müra kahjuliku mõju riskid püsielupaikade läheduses suuremad. Kuna igas Eesti mereala osas leidub mõni hülgeliik (eelkõige hallhüljes, Liivi lahes ka viigerhüljes), siis lihtsustatult loeme, et hüljeste elupaigaks on iga hinnatav mereala tervikuna.

Kalade indikaatorliigiks on Läänemeres valitud räim [HELCOM 2019]. Heeringa ja tema alamliigi räime ujupõis on ühenduses sisekõrvaga, mis teeb nende kuulmise paljudest teistest kalaliikidest teravamaks. Ühendatud ujupõie ja sisekõrva korral tajub kalaliik kombineeritult nii helirõhu kui ka heliosakese liikumist.

Kahjulike bioloogiliste mõjude avaldumise tasemed (BMAT) on toodud tabelis 5 eraldi reageerimistase ning maskeerimist esile kutsuv ületamise tase.

Tabel 5. Kahjulike bioloogiliste mõjude avaldumise tasemed (BMAT) mereimetajatel ja kaladel.

Mereliik	Detsidekaad	Reageerimine	Maskeerimine	Viited
	Hz	dB re 1µPa		
		helitase	ületamise tase	
Hülged	500	110	20	[Kastelein et al. , 2006]
Räim	125	110	20 (reageerimistase)	[Kastelein et al. 2008] [Olsen, 1971]

5.3 Pidevmüra seire andmed

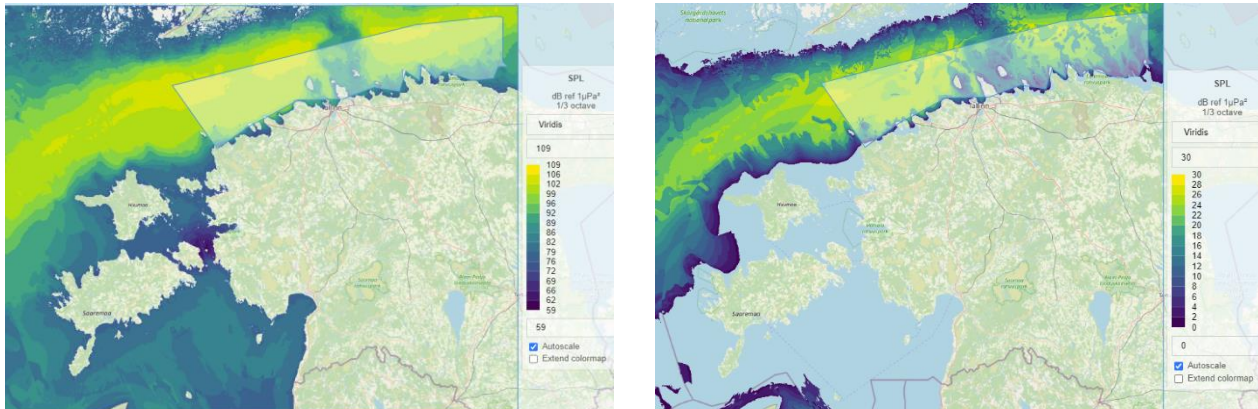
Kokku salvestati Eesti merealal allveehelisid kahes seirejaamas, millest üks asus Soome lahes (BIAS20) ja teine Väinameres (LIIVI02). Salvestatud helifailidest on saadud detsidekaadide aegread, mis on üles laetud ICES pidevmüra andmebaasi (<https://www.ices.dk/data/data-portals/Pages/Continuous-Noise.aspx>) hdf formaadis. Keskageduste 63, 125 ja 500Hz detsidekaadide aegread on kasutatud helilevi mudeli kalibreerimiseks.

5.4 Pidevmüra levi modelleerimine

Helirõhutasemete modelleerimiseks laiematel merealadel kasutati QUONOPS modelleerimistarkvara. QUONOPS kasutab modelleerimises erinevates andmebaasides leiduvat helilevi keskkonda kirjeldavaid andmeid (veesamba temperatuurid, merepõhja geoloogia jne), automaatse identifitseerimissüsteemi (AIS) laevaliikluse andmeid ning tuulte kiirusi. Laevaliikluse andmete põhjal modelleeritakse laevade ehk peamise inimtekkelise müra tekitajate helide levi allveekeskkonnas. Tuulte kiiruste põhjal modelleeritakse peamisi looduslikke helisid ehk tuuletekkelist helirõhutaset.

Helirõhutasemeid modelleeriti kolmes detsidekaadis: 63, 125 ja 500 Hz. Modelleeritud helirõhutasemetest koostati helikaardid protsendilise ületamise määrade jaoks L05, L10, L25, L50, L75, L90, L95. Ületamise määr L05 tähistab helirõhutaset, millest kõrgemaid tasemeid esineb 5% ajast. Ületamise määr L50 on võrdne helitasemete mediaanväärtusega. Helikaartidel näidatakse modelleeritud looduslikud, inimtekkelised ja nende summaarse helirõhutasemed (joonis 3).

Käesolevas hinnangus on kasutatud 2018. aasta modelleerimistulemused, mis on valminud HELCOM BLUES projekti raames [BLUES].



Joonis 3. Soome laht, detsidekaad 125 Hz. Vasakul helirõhutase mediaan (summaarne helirõhutase), paremal - inimtekkelise müra ületamistaseme mediaan (summaarne miinus looduslik helirõhutase).

5.5 Indikaatorite kirjeldus ja väärtuse määramise metoodika

Elupaik või hindamisüksus võivad kokku puutuda inimtekkelise madalsagedusliku heliga, mille tase ületab bioloogiliste mõjude avaldumise taset (BMAT) 50% ajast mitte rohkem kui 20% ulatuses elupaiga või hindamisüksuse pindalast. Määratakse hindamisüksuse pindala protsent, kuu mediaanhelitas ületab BMAT-i.

Kui on võimalik määrata elupaiga geograafilisi piire, siis sama metoodika on rakendatav ka elupaikade korral.

BALEED11C2.1: Veealuse madalsagedusliku pidevmüra jaotus ja intensiivsus detsidekaadis 125 Hz

Hindamine põhineb kahel kriteeriumil, mida rakendatakse kala (räime) elupaikade (hindamisala) suhtes võttes arvesse detsidekaadi 125 Hz:

Kriteerium K1-125: BMAT on kala reageerimistas,

Kriteerium K2-125: BMAT on kaladele mõjuv akustilise rõhu ületamistas.

BALEED11C2.2: Veealuse madalsagedusliku pidevmüra jaotus ja intensiivsus detsidekaadis 500 Hz

Hindamine põhineb kahel kriteeriumil, mida rakendatakse hüljeste elupaikade (hindamisala) suhtes, võttes arvesse detsidekaadi 500 Hz:

Kriteerium K1-500: BMAT on hüljeste reageerimistase,

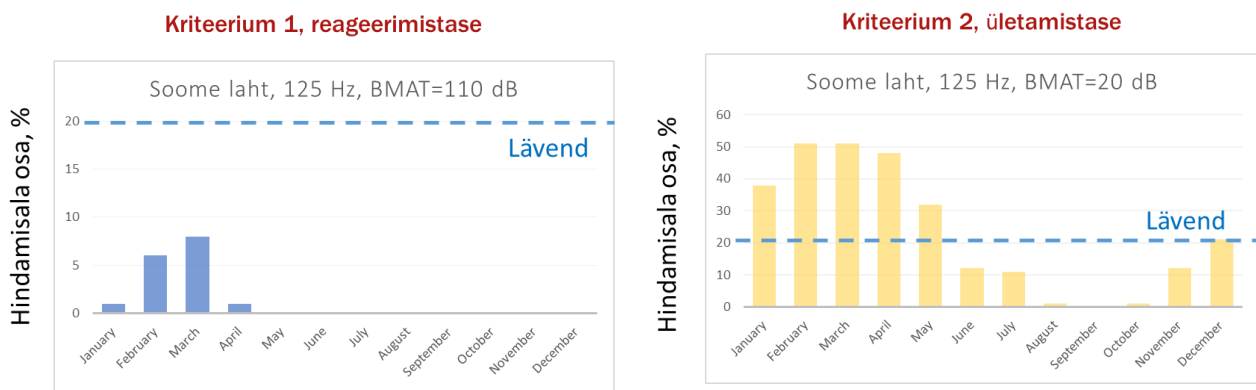
Kriteerium K2-500: BMAT on hüljestele mõjuv akustilise rõhu ületamistase.

Ruumiline lävend: 20% elupaiga või hindamisüksuse pindalast ei tohi ületada ühelgi kuul.

Näiteks on joonisel 4 näidatud Soome lahe lävendi igakuine kontroll mõlema kriteeriumi puhul 125 Hz juures. On näha, et esimene kriteerium (reageerimistase) on täidetud ja et räime reageerimistase esineb kuni 8% Soome lahe pindalast Teine kriteerium (ületamistase) ei ole aga 6 kuu jooksul aastas täidetud. Järelikult on ületamistaseme kriteerium täitmata ning räime jaoks Soome lahes HKS ei ole saavutatud.

Tulemuste analüüs näitas, et kriteeriumid K1-125 ja K1-500 osutusid üsna nõrgaks ning on alati ja kõikjal täidetud. Seetõttu hinnati indikaatoreid rangemate kriteeriumide K2-125 ja K2-500 alusel.

Indikaatorite hindamise tulemused on esitatud tabelites 5 ja 6.



Joonis 4. Keskkonnaseisundi hindamine Soome lahes, detsidekaad 125 Hz.

6. Pidevmüra indikaatorite BALEED11C2.1 ja BALEED11C2.2 hindamine

Hindamine toimus neljas hindamisüksuses:

BAL-EE-GR Liivi (Riia) lahe mereala, 10680 km²

BAL-EE-GF Soome lahe mereala, 8335 km²

BAL-EE-EGB Ida-Gotlandi basseini mereala, 5416 km²

BAL-EE-NBP Läänemere avaosa põhjabasseini mereala, 11780 km²

Tabel 6. BALEED11C2.1 Veealuse madalsagedusliku pidevmüra jaotus ja intensiivsus detsidekaadis 125 Hz

Indikaatori kood ja nimetus eesti keeles			
BALEED11C2.1 Veealuse madalsagedusliku pidevmüra jaotus ja intensiivsus ddek 125 Hz			
Hindamisühik		Ühikuta (indeks)	
Hindamisüksus (nimi eesti k.)	Hea keskkonnaseisundi lävend hindamisüksuse kohta	Indikaatori väärtus hindamisüksuse kohta (2016-2021)	Seisundihinnang (2016-2021)
BAL-EE-GR Liivi (Riia) lahe mereala	Bioloogiliste mõjude avaldumise tase (BMAT) sagedusel 125 Hz on ületatud kuni 50% ajast mitte üle 20% mereala pindalast	kalad, K2-125, 0%<20%	HKS saavutatud
BAL-EE-GF Soome lahe mereala		kalad, K2-125, 75%>20% märtsis	HKS saavutamata
BAL-EE-EGB Ida- Gotlandi basseini mereala		kalad, K2-125, 76% >20% märtsis	HKS saavutamata
BAL-EE-NBP Läänemere avaosa põhjabasseini mereala		kalad, K2-125, 86% >20% märtsis	HKS saavutamata

Tabel 7. BALEED11C2.2 Veealuse madalsagedusliku pidevmüra jaotus ja intensiivsus detsidekaadis 500 Hz

Indikaatori kood ja nimetus eesti keeles			
BALEED11C2.2 Veealuse madalsagedusliku pidevmüra jaotus ja intensiivsus ddek 500 Hz			
Hindamisühik		Ühikuta (indeks)	
Hindamisüksus (nimi eesti k.)	Hea keskkonnaseisundi lävend hindamisüksuse kohta	Indikaatori väärtus hindamisüksuse kohta (2016-2021)	Seisundihinnang (2016-2021)
BAL-EE-GR Liivi (Riia) lahe mereala	Bioloogiliste mõjude avaldumise tase (BMAT) sagedusel 500 Hz on ületatud kuni 50% ajast mitte üle 20% mereala pindalast	mereimetajad, K2- 500, 0%<20% märtsis 2018	HKS saavutatud
BAL-EE-GF Soome lahe mereala		mereimetajad, K2- 500, 19%<20% märtsis 2018	HKS saavutatud
BAL-EE-EGB Ida- Gotlandi basseini mereala		mereimetajad, K2- 500, 0%<20% märtsis 2018	HKS saavutatud
BAL-EE-NBP Läänemere avaosa põhjabasseini mereala		mereimetajad, K2- 500, 1%<20% märtsis 2018	HKS saavutatud

7. Eesti mereala kriteeriumi D11C2 hinnang

Arvestades müratundlikke indikaatorliike (hülged, räim), polnud Eesti merealal ajavahemikul 2016-2021 saavutatud head keskkonnaseisundit madalsagedusliku pideva müra osas (kriteerium D11C2). Pidevmüra suhtes oli D11C2 hea seisund saavutatud Liivi lahes, muudes hindamisüksustes mitte.

Kokkuvõte: Eesti merealal jäi ajavahemikul 2016-2021 tunnuses 11 hea keskkonnaseisund saavutamata pidevmüra osas (D11C2), hea keskkonnaseisund oli saavutatud impulsshelide suhtes (D11C1).

8. Kirjandus

[Andersson 2016] Andersson, M.H., Andersson, S., Ahlsén, J., Andersson, B.L., Hammar, J., Persson, L.K.G., Pihl, J., Sigray, P., Wikström, A. 2016. A framework for regulating underwater noise during pile driving. A technical Vindval report, ISBN 978-91-620-6775-5, Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm, Sweden.

[BLUES] <https://blues.helcom.fi/>

[Borsani 2023] Borsani, J.F., Andersson M., André M., Azzellino A., Bou M., Castellote M., Ceyrac L., Dellong D., Folegot T., Hedgeland D., Juretzek C., Klauson A., Leaper R., Le Courtois F., Liebschner A., Maglio A., Mueller A. , Norro A., Novellino A., Outinen O., Popit A., Prospathopoulos A., Sigray P., Thomsen F., Tougaard J., Vukadin P., and Weilgart L., Setting EU Threshold Values for continuous underwater sound, Technical Group on Underwater Noise (TG NOISE), MSFD Common Implementation Strategy, Edited by Jean-Noël Druon, Georg Hanke and Maud Casier, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023, doi:10.2760/690123, JRC133476

[Dekeling 2014] Dekeling, R.P.A., Tasker, M.L., Van der Graaf, A.J., Ainslie, M.A., Andersson, M.H., André, M., Borsani, J.F., Brensing, K., Castellote, M., Cronin, D. and Dalen, J., 2014. Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas, Part I: Executive Summary. A guidance document within the Common Implementation Strategy for the Marine Strategy Framework Directive by MSFD Technical Subgroup on Underwater Noise.

[Enger 1967] Enger, P.S. 1967. Hearing in herring. *Comp. Biochem. Physiol.*, 22:527-538.

[Hawkins 1978] Hawkins, A.D., Rasmussen, K.J. 1978. The calls of gadoid fish. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.* 58: 891-911.

[HELCOM 2019] HELCOM. 2019, "Noise sensitivity of animals in the Baltic Sea." *Baltic Sea Environment Proceedings* N° 167

[Kastelein 2006] Kastelein, R.A., van der Heul, S., Terhune, J.M., Verboom, W.C., Triesscheijn, R.J.V. Deterring effects of 8-45 kHz tone pulses on harbour seals (*Phoca vitulina*) in a large pool. (2006). *Marine Environmental Research*, 62 (5), pp. 356-373. doi: 10.1016/j.marenvres.2006.05.004.

[Kastelein 2008] Kastelein, R.A., van der Heul, S., Verboom, W.C., Jennings, N., van der Veen, J. and de Haan, D. (2008). Startle response of captive North Sea fish species to underwater tones between 0.1 and 64 kHz. *Marine Environmental Research*, 65(5), pp.369-377. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2008.01.001>

[Kastelein 2009] Kastelein, R. A., Wensveen, P. J., Hoek, L., Verboom, W. C., and Terhune, J. M. (2009a). “Underwater detection of tonal signals between 0.125 and 100 kHz by harbor seals (*Phoca vitulina*),” *J. Acoust. Soc. Am.* 125, 1222–1229

[Kastelein 2015] Kastelein, Ronald A., Jessica Schop, Lean Hoek, and Jennifer Covi. 2015. “Hearing Thresholds of a Harbor Porpoise (*Phocoena Phocoena*) for Narrow-Band Sweeps.” *The Journal of the Acoustical Society of America* 138 (4): 2508–12. <https://doi.org/10.1121/1.4932024>.

[Kastelein 2018] Kastelein, Ronald A, Lean Helder-Hoek, and Aimée Kommeren. 2018. “Effect of Pile-Driving Sounds on Harbor Seal (*Phoca Vitulina*) Hearing.” *J. Acoust. Soc. Am.*, 13.

[Olsen 1971] Olsen, K., 1971. Influence of vessel noise on behaviour of herring. *Modern fishing gear of the world*, 3, pp.291-294.

[Popper 2001] Popper, A.N., Salmon, M., Horch, K.W. 2001. Acoustic detection and communication by decapod crustaceans. *Journal of Comparative Physiology A*, 187: 83-89.

[Popper 2014] Popper, Arthur N., Anthony D. Hawkins, Richard R. Fay, David A. Mann, Soraya Bartol, Thomas J. Carlson, Sheryl Coombs, et al. 2014. “Sound Exposure Guidelines.” In *ASA S3/SC1.4 TR-2014 Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles: A Technical Report Prepared by ANSI-Accredited Standards Committee S3/SC1 and Registered with ANSI*, by Arthur N. Popper, Anthony D. Hawkins, Richard R. Fay, David A. Mann, Soraya Bartol, Thomas J. Carlson, Sheryl Coombs, et al., 33–51. *SpringerBriefs in Oceanography*. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06659-2_7.

[Prawirasasra 2021] Prawirasasra, M.S.; Mustonen, M.; Klauson, A. The Underwater Soundscape at Gulf of Riga Marine-Protected Areas. *J. Mar. Sci. Eng.* 2021, 9, 915. <https://doi.org/10.3390/jmse9080915>

[Sand 1973] Sand, O. and Enger, P.S. 1973. Evidence for an auditory function of swimbladder in cod. *Journal of Experimental Biology*, 59: 405-414.

[Sigray 2023] Sigray P., Andersson M., André M., Azzellino A., Borsani J.F., Bou M., Castellote M., Ceyrac L., Dellong D., Folegot T., Hedgeland D., Juretzek C., Klauson A., Leaper R., Le Courtois F., Liebschner A., Maglio A., Mueller A , Norro A., Novellino A., Outinen O., Popit A., Prospathopoulos A., Thomsen F., Tougaard J., Vukadin P., Weilgart L., Setting EU Threshold Values for impulsive underwater sound, Technical Group on Underwater Noise (TG NOISE), MSFD Common Implementation Strategy, Edited by Jean-Noël Druon, Georg Hanke and Maud Casier, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023, doi:10.2760/60215, JRC133477

[Sills 2015] 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

[Southall 2008] Southall, B.; Bowles, A.; Ellison, W.; Finneran, J.; Gentry, R.; Greene, C. Jr.; Kastak, D.; Ketten, D.; Miller, J.; Nachtigall, P.; Richardson, W.; Thomas, J.; Tyack, P. 2008. Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations. *Aquatic Mammals*, 33(4), 273-275. <https://doi.org/10.1080/09524622.2008.9753846>

[Southall 2019] Southall, Brandon L., James J. Finneran, Colleen Reichmuth, Paul E. Nachtigall, Darlene R. Ketten, Ann E. Bowles, William T. Ellison, Douglas P. Nowacek, and Peter L. Tyack. 2019. "Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Updated Scientific Recommendations for Residual Hearing Effects." *Aquatic Mammals* 45 (2): 125–232. <https://doi.org/10.1578/AM.45.2.2019.125>.

[Thomsen 2012A] Thomsen, F., Mueller-Blenkle, C. Gill, A., Metcalfe, J., McGregor, P.K., Bendall, V., Andersson, M.H., Sigra, P., Wood, D. 2012. Effects of pile-driving on the behavior of cod and sole. In: A.N. Popper and A. Hawkins (eds.), *The Effects of Noise on Aquatic Life, Advances in Experimental Medicine and Biology* 730. Springer Science+Business Media, LLC, p 387-388.

[Tolimieri 2000] Tolimieri, N., Jeffs, A. G., Montgomery, J. C. 2000. Ambient sound as a cue for navigation by the pelagic larvae of reef fishes. *Marine Ecology-Progress Series*, 207: 219-224

[Tougaard 2015] Tougaard, Jakob, Andrew J. Wright, and Peter T. Madsen. 2015. "Cetacean Noise Criteria Revisited in the Light of Proposed Exposure Limits for Harbour Porpoises." *Marine Pollution Bulletin* 90 (1–2): 196–208. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.10.051>.

[Wahlberg 2003] Wahlberg, M., Westerberg, H. 2003. Sounds produced by herring (*Clupea harengus*) bubble release. *Aquatic Living Resources*. 16: 271-275.

[Wilson 2002] Wilson, B., Dill, L.M. 2002. Pacific herring respond to simulated odontocete echolocation sounds. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 59: 542–553.

[Wilson 2004] Wilson, B., Batty, R.S., Dill, L.M. 2004. Pacific and Atlantic herring produce burst pulse sounds. *Proc. R. Soc. Lond.* 271: 95-97.