

Läviväärtuste kehtestamine Eesti mereala hindamiseks MSRD 11. tunnuse (veealuse müra) kriteeriumite järgi

TELLIJA: Keskkonnaministeerium

Andres Talijärv, kantsler

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

Aleksander Klauson, professor
e-mail: aleksander.klauson@ttu.ee

Janek Laanearu, dotsent
e-mail: janek.laanearu@ttu.ee

Mirko Mustonen, insener
e-mail: mirko.mustonen@ttu.ee

ESITATUD: 02. aprill 2018.a.

Tallinn 2018

SISUKORD

	Lk
Lühendid ja tähised	3
1. Uuringu taust ja eesmärgid	4
2. Veealuse akustika põhimõisteid	6
3. Helitundlikud mereloomad Eesti vetes	7
4. Mereimetajad	9
4.1 Hallhüljes	10
4.2 Viigerhüljes	13
5. Kalad	15
6. Läviväärtuse määramise metoodika: impulssheli	16
7. Läviväärtuse määramise metoodika: pidevheli	20
8. Kokkuvõte	25
9. Edasist uurimist vajavad küsimused	27
Tänuavaldused	27
Kasutatud kirjandus	28
LISA. 11. tunnuse kriteeriumid	30

Lühendid ja tähised

AIS	Automaatne laevade identifitseerimise süsteem
BIAS (2012-2016)	EL poolt rahastatud LIFE+ pideva heli monitooringu ja modelleerimise projekt
dB re 1µPa	detsibell - kümnendlogaritmiline mõõtühik vees, võrdlusrõhk on 1µPa
dB re 20µPa	detsibell - kümnendlogaritmiline mõõtühik õhus, võrdlusrõhk on 20µPa
EN-Noise	HELCOM-i veealuse müra ekspertrühm
EU TG-Noise	EL veealuse müra töörühm (EU Technical Group on Noise)
IA	isendite arv
HELCOM	Helsinki Komisjon
HKS	hea keskkonnaseisund
MSRD	Euroopa Parlamendi ja nõukogu merestrateegia raamdirektiiv
Mpa	Kaalufunktsioon mereimetajate kuulmistundlikkusega arvestamiseks õhus
Mpw	Kaalufunktsioon mereimetajate kuulmistundlikkusega arvestamiseks vees
MT	Mõjutegur
PTS	Permanent Treshold Shift – alaline kuulmisläve tõus
SEL	Sound Exposure Level – kokkupuute tase
SPL	Sound Pressure Level – helirõhu tase
TTS	Temporary Treshold Shift – ajutine kuulmisläve tõus

1. Uuringu taust ja eesmärgid.

2017.a mais uuendati merestrateegia raamdirektiivi (2008/56/EÜ, edaspidi *MSRD*) III lisa ning Euroopa Komisjoni otsust merealade hea keskkonnaseisundi määratlemise kohta. Vastavalt nimetatud dokumentidele tuleb 11 hea keskkonnaseisundi kvalitatiivset tunnust piiritleda MSRD III lisas esitatud **soovitusliku** nimekirja alusel ning määrata kasutatavad kriteeriumid, sh kriteeriumielemendid¹ ja vajaduse korral ka läviväärtused. Läviväärtus on väärtus või väärtuste vahemik, mille abil on võimalik hinnata kvaliteedikriteeriumi puhul saavutatud kvaliteedi taset ja hea keskkonnaseisundi saavutamise ulatust selles kriteeriumis. Seega kasutatakse läviväärtusi hea keskkonnaseisundi parameetrite kogumi kindlaksmääramiseks ja hea keskkonnaseisundi **saavutamise ulatuse** hindamiseks.

Kvaliteedi kriteeriumid jaotatakse 11 kvalitatiivse tunnuse alusel (vt MSRD lisa 1), võttes arvesse soovituslike loetelusi ökosüsteemielementidest, inimtekkelistest surveteguritest ja inimtegevuse liikidest (vt MSRD lisa 3).

Läviväärtused tuleks sätestada Euroopa Liidu, piirkondliku (HELCOM) või allpiirkondliku **koostöö kaudu**. Kuni selliseid läviväärtusi pole jõutud koostöö kaudu kehtestada, peaks asendajatena saama kasutada riiklikke läviväärtusi, väärtuste suunatrende või survepõhiseid läviväärtusi. Läviväärtused peaksid võimaldama eristada kvaliteeditaset, mis kriteeriumi puhul näitab mõne kahjuliku mõju olulisust, ja olema kehtestatud võrdlustingimusest lähtuvalt. Läviväärtused peavad olema kooskõlas EL õigusaktidega ning kehtestatud asjakohasel geograafilises piirkonnas, et võtta arvesse biotilisi ja abiootilisi tunnuseid. Seega võivad läviväärtused erinevate merealade kohta olla erinevad, arvestades piirkonna, allpiirkonna või alarajooni eripärasust.

Läviväärtused peavad olema kehtestatud ettevaatusprintsipiist lähtuvalt, arvestades võimalikke ohte merekeskkonnale. Läviväärtuste kehtestamisel võetakse arvesse mereökosüsteemi ja selle elementide dünaamilisust, st need võivad eri kohtades ja aegadel vee- ja kliimaolude vaheldumise, röövlooma-saaklooma suhte ning muude keskkonnategurite toimel muutuda.

Inimtegevusest tulenev koormus või surve tuleb hoida tasemel, mis võimaldaks saavutada head keskkonnaseisundit, ning tagada, et mereökosüsteemid suudaksid reageerida inimtegevusest tingitud muutustele. MSRD lubab, et teatavate survetegurite ja nendest tuleneva keskkonnamõjuga seotud läviväärtusi ei tule tingimata saavutada mereala kõigis piirkondades, kuid seda tingimusel, et see ei ohusta MSRD eesmärkide saavutamist.

Läviväärtused moodustavad osa MSRD hea keskkonnaseisundi piiritlemise parameetrite kogumist ning riik peab jälgima läviväärtuste saavutamise ulatust. Seega pole läviväärtused otseselt hea keskkonnaseisundi piiritlemine, vaid osa sellest, mille abil jälgitakse hea keskkonnaseisundi poole liikumist ning seisundi muutusi väljendatakse paranemisena, stabiilsena või halvenemisena eelmise aruandeperioodi suhtes. Hea keskkonnaseisundi saavutamise ulatust väljendatakse mereala või kvaliteedikriteeriumi elementide (liigid, saasteained jne) sellise osana, mille puhul on läviväärtused saavutatud.

HKS-i otsus lubab riikidel keskenduda peamistele surveteguritele ja neist ökosüsteemile tulenevale keskkonnamõjule, et seirata ja hinnata oma mereala tõhusalt ja tulemuslikult ning lihtsamalt prioriseerida hea keskkonnaseisundi saavutamise meetmeid. Seega on riikidel põhjendatud juhtudel õigus otsustada, et teatavaid kriteeriume ei ole asjakohane kasutada. Teiseks on riikidel õigus otsustada survetegurite ja nende mõjuga seotud riskihindamise põhjal teatavate kriteeriumielementide kasutamata

¹ Kriteeriumielemendid – ökosüsteemi olulised elemendid, eelkõige selle bioloogilised elemendid (liigid, elupaigad ja nende kooslused), või merekeskkonnale avalduva surve aspektid (bioloogilised, füüsilised, ained, prügi ja energia), mida iga kriteeriumi puhul hinnatakse.

jätmist, valida lisaelemente või keskenduda oma mereala teatavatele keskkonnaosadele või piirkondadele. Lisaks on eristatud ka esmaseid ja teiseseid kriteeriume:

Esmaseid kriteeriume kasutatakse kogu EL-s järjepidevuse tagamiseks (need on EL muudest õigusaktidest tulenevad nõuded).

Teisese kriteeriumi kasutusvajaduse otsustab riik ise – seda näiteks mõne esmase kriteeriumi täiendamiseks või juhul, kui on oht, et teatava kriteeriumi puhul ei suudeta saavutada või säilitada head keskkonnaseisundit.

Eesmärk

Töö eesmärk on välja töötada HKS otsuses loetletud veealuse müra esmaste kriteeriumite kohta teaduslikult põhjendatud läviväärtused, kirjeldada nende leidmise metoodika, arvestades HKS otsuses toodud metoodikastandardeid, spetsifikatsioone ja standardmeetodeid, samuti kirjeldada läviväärtuse seost surveteguri(te)ga. Kui põhjendatud asjaolude korral selgub, et ühte või mitut esmast kriteeriumi ei ole asjakohane Eesti ja Läänemere oludes kasutada, koostatakse selle kohta teaduslikult põhjendatud selgitus.

Läviväärtuste väljatöötamisel arvestatakse eelkõige HELCOMi koostöö raames kokku lepitud veealuse müra suhtes tundlike Läänemere liikidega, mis Eesti vetes asjakohased (viigerhüljes, hallhüljes, tursk, kilu, räim).

Tööde kirjeldus

HKS otsuses toodud esmaste läviväärtuste väljatöötamine ja põhjendamine: HKS otsuse I osas on veealuse müra surveteguri puhul (kriteerium D11) nimetatud 2 esmast hindamiskriteeriumit:

Inimtekkeline impulssheli vees.	D11C1 – Esmane kriteerium: Inimtekkelise impulssheli allikate ruumiline ulatus, kestus ja tase ei ületa taset, mis mõjuks mereloomade populatsioonidele kahjulikult.
Inimtekkeline pidev madalsagedusega heli vees.	D11C2 – Esmane kriteerium: Inimtekkelise pideva madalsagedusega heli ruumiline ulatus, kestus ning tase ei ületa taset, mis mõjuks mereloomadele populatsioonidele kahjulikult.

Vastavalt HKS otsuse artiklile 4 väljatöötatavad läviväärtused peavad vastama järgmistele nõuetele:

- **moodustavad osa parameetrite kogumist**, mille abil piiritletakse head keskkonnaseisundit;
- on kooskõlas EL õigusaktidega;
- võimaldavad eristada kvaliteeditaset, **mis näitab kahjuliku mõju (surveteguri) olulisust**, ja on kehtestatud võrdlustingimusest lähtuvalt;
- **kehtestatakse ettevaatusprintsipiist lähtuvalt**, arvestades võimalikke ohte merekeskkonnale;
- **põhinevad parimatel olemasolevatel teadusandmetel**;
- **põhinevad pika aegrea andmetel** (kui need on kättesaadavad);
- kajastavad ökosüsteemi looduslikku dünaamikat, sh **röövlooma-saaklooma suhet** ning vee- ja kliimaolude vaheldumist, arvestades, et halvenenud seisundiga ökosüsteem või selle osad võivad varasema seisundini taastumise asemel taastuda seisundini, mis kajastab praegu valitsevaid füsiograafilisi, geograafilisi, bioloogilisi ja kliimatingimusi;

- on kooskõlas Läänemere koostöö raames (HELCOM) **kokku lepitud asjakohaste väärtustega.**

2. Veealuse akustika põhimõisteid

Helirõhu tase (Sound Pressure Level, *SPL*)

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

Ruutkeskmine helirõhu tase *SPL* (root-mean square *SPL*) on ruutkeskmine rõhu tase antud sagedusribas ja ajaaknas *T*, mis näitab keskmist rõhku ajaperioodi *T* jooksul. Helirõhu tase mõõdetakse logaritmilisel skaalal ning esitatakse detsibellides dB. Veealuse helirõhu taseme valemis on kasutusel võrdlusrõhk $p_{ref} = 1 \mu\text{Pa}$. Õhus helirõhu taseme arvutustel kasutatakse võrdlusrõhuna $p_{ref} = 20 \mu\text{Pa}$, mis on inimese kuuldelävele vastav rõhk.

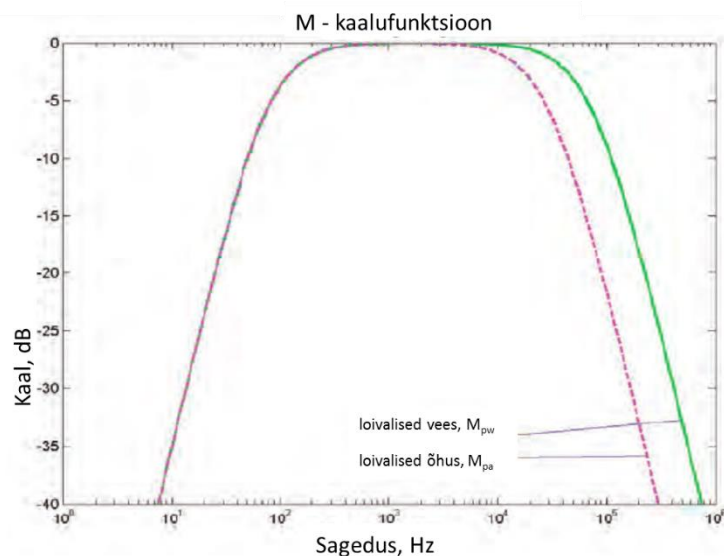
Helirõhu taseme mõõtühikud on vastavalt dB re 1 μPa vees ja dB re 20 μPa õhus.

Kokkupuute tase (Sound Exposure Level, *SEL*) on proportsionaalne heli kogu energiaga ning on seotud helirõhu tasemega järgneva valemiga:

$$SEL = SPL + 10 \log_{10} T,$$

Kokkupuute tase mõõtühikuteks on vastavalt dB re 1 $\mu\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$ vees ja dB re 20 $\mu\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$ õhus.

Kuna loomad ei kuule kõikidel sagedustel sama hästi ning nende erinevuste arvestamiseks kasutatakse *kaalufunktsioone*. Inimese kuulmise eripära kirjeldavad kaalufunktsioonid *A* ja *C*. Mereimetajate kaalufunktsioone tähistatakse tähega *M*. Kaalufunktsioon lubab arvestada just selle akustilise energia spektri osaga, mida mereloomad kuulavad kõigi paremini ning analüüsist välja jätta neid sagedusi, mida nad kuulavad halvemini.



3. Helitundlikud mereloomad Eesti vetes

HELCOM EN-Noise ekspertrühm [4-7 HELCOM 308-17] on loetlenud mõjureid, millel on potentsiaali hea keskkonnaseisundi ohustamiseks. Kuna iga riik vastutab eeskätt oma majandusvööndis toimuva eest, tuleb adekvaatselt hinnata survet just nendes alades elavatele mereimetajatele ning töönduslikele kalaliikidele. Õige hinnangu andmiseks on olulised nii surve ajaline esinemine kui ka esinemise koht. Erinevate Läänemere mereliikide jaoks kriitilisi ajaperioode on loetletud tabelis 1. Mõned kõrgete helirõhutasemete suhtes tundlike mereliikide elupaigad ning kudemiskohad on toodud joonisel 1, kuid täiusliku pildi saamiseks on vaja täiendavaid uuringuid.

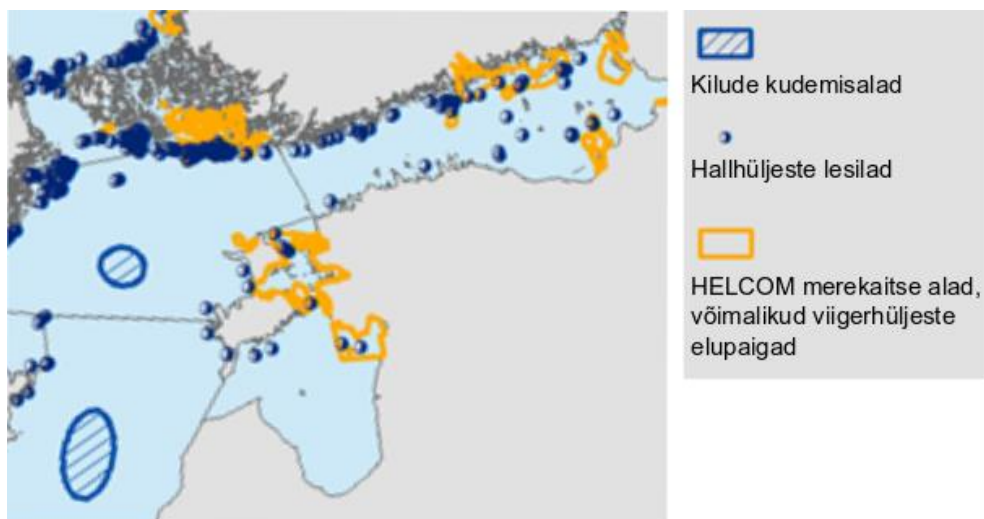
Mereliikide kriitilistes asupaikades ning kriitilistel ajaperioodidel peavad olema täidetud järgnevad tingimused:

1. Mereimetajad: loivalised (hallhüljes, viigerhüljes). Inimtekkelise heli tase ei tohi:
 - põhjustada kahjustusi (alalist kuulmisläve tõusu, vt. tabel 3) üksikutele loomadele;
 - põhjustada elupaikade hävimist läbi väljatõrjumise pikemaks ajaperioodiks või elupaikade hävimist sellisel määral, mis mõjutab loomade kaitsestaatust;
 - ohustada üksikute loomade energia käivet (ehk toitumist) või sigimisvõimekust sellisel määral, mis mõjutab loomapopulatsiooni arvukust ning selle kaitsestaatust;
 - takistada liigisisest suhtlust ning teiste oluliste helisignaalide maskeerimist tasemel, mis viib loomapopulatsiooni arvukuse vähenemiseni.
2. Töönduslikud kalaliigid (tursk, kilu, räim). Inimtekkelise heli tase ei tohi:
 - põhjustada kalade surma või vigastusi sellisel määral, mis mõjutaks kalavarusid kudemisaladel kriitilistel aegadel (tabel 1);
 - põhjustada elupaikade hävimist ehk põhjustada kalade ümberpaiknemist pikemaks ajaperioodiks määral, mis kahandab kalavarusid;
 - põhjustada käitumuslikke häireid või kommunikatsiooniruumi kadu määral, mis kahandab kalavarusid.

Liik	Poegimise periood	Paaritumise/kudemise periood	Põetamise periood	Karvaajamise periood
Pringlid* (<i>Phocoena phocoena</i>)	Juuni-juuli	August	Juunist/juulist kuni sügiseni	ei kohaldata
Randalhüljes* (<i>Phoca vitulina</i>)	Juuni	Juuli-august	4 nädalat	August
Viigerhüljes (<i>Phoca hispida botnica</i>)	Veebruar-märts	Arvatakse esinevat kohe pärast poegade võõrutamist	4-6 nädalat	Aprilli keskpaik – mai algus
Hallhüljes (<i>Halichoerus grypus</i>)	Veebruar-märts	Märts -aprill	2 nädalat	Juuni
Tursk (<i>Gadus morhua</i>)	ei kohaldata	Märtsist augustini, kõrgaeg mais-juunis	ei kohaldata	ei kohaldata
Heeringas/räim (<i>Clupea harengus</i>)	ei kohaldata	Kevad ja sügis	ei kohaldata	ei kohaldata
Kilu (<i>Sprattus sprattus</i>)	ei kohaldata	Märts - juuli	ei kohaldata	ei kohaldata

*liigid, mis pole Eesti merealal seisundi hindamisel asjakohased.

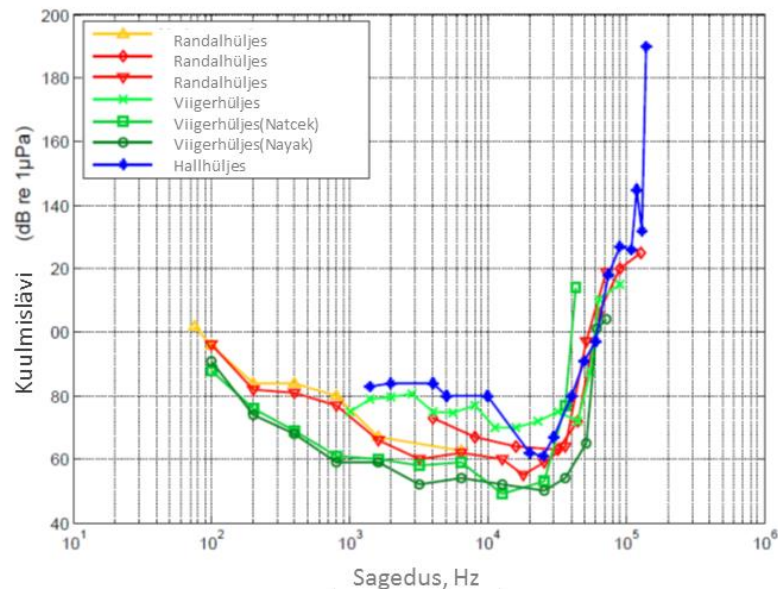
Tabel 1. Populatsioonide arenguks olulised kriitilised ajaperioodid [4-7 HELCOM 308-17].



Joonis 1. Mõnede helitundlike liikide elupaigad ja kriitilise tähtsusega alad [4-7. HELCOM 308-17].

4. Mereimetajad

Läänemeres elavad hülged on helitundlikud loomad, kes kasutavad häälelist suhtlust nii õhus kui vees. Kuulmine õhus ja vees on loomadele oluline rööv- ja saakloomade hääle kuulmiseks ning orientatsiooniks [Sauthall et al, 2000]. Kuna nende elukeskkonnas esineb rohkesti looduslike helisid, siis loomadel on tähtis terav kuulmine segava müra taustal. Hülged on amfiibsed loomad ning nende kõrvad on väga tundlikud nii õhus kui ka vees (kuigi vees on kuulumistundlikus laiemas sagedusribas kui õhus). On täheldatud, et hülged kasutavad oma teravat kuulumist nii kiskjate vältimiseks (Läänemeres neil kiskjad praktiliselt puuduvad) kui ka saagi leidmiseks piiratud nähtavuse tingimustes. Mereimetajate helitundlikkuse diagrammid (audiogrammid) on toodud joonisel 2 [HELCOM 2016].



Joonis 2. Mereimetajate audiogrammid. **Randalhüljes** (kollased kolmnurgad [Kastak and Schusterman, 1998], punased kolmnurgad [Møhl, 1968] ning punased rombikud [Reichmuth et al. 2013]), **viigerhüljes** (helerohelised ristid [Terhune, 1988] ning tumerohelised jooned kahe looma kohta – noor emane Nayak ja vanem isane Natcek [Sills et al., 2015], **hallhüljes** (sinine joon, [Ridgway, Joyce, 1975]). Audiogrammide miinimumid vastavad suurimale kuulumistundlikkusele.

Inimtekkeline müra, näiteks laevamüra võib teatud tingimustel oluliselt ületada loodusliku heli taset ning sellega maskeerida loomadele olulisi akustilisi signaale seeläbi rikkudes populatsiooni elutähtsate toimingute kulgu, nagu toidu otsing, territooriumi kaitse jmt. Samas on teada, et tugev heli, mis sageli esineb impulsshelina, võib hüljestel esile kutsuda ajutist (Temporal Threshold Shift, TTS), või alalist kuulumisläve tõusu (Permanent Threshold Shift, PTS). Loivalistele omased sagedusribad ja kriitilised helitasemed on esitatud järgnevas tabelites 2-4. Arvvärtuste leidmisel rakendatakse kaalufunktsioone, mis arvestasid loomaliikide helitundlikkusega (vt. jaotist 2).

mereimetajate rühm	kuuldav sagedusriba	Liigid	kasutatavad kaalufunktsioonid
Loivalised vees	75 Hz kuni 75 kHz	<i>Arctocephalus</i> , <i>Callorhinus</i> , <i>Zalophus</i> , <i>Eumetopias</i> , <i>Neophoca</i> , <i>Phocarcos</i> , <i>Otaria</i> , <i>Erignathus</i> , <i>Phoca</i> , <i>Pusa</i> , <i>Halichoerus</i> , <i>Histiophoca</i> , <i>Pagophilus</i> , <i>Cystophora</i> , <i>Monachus</i> , <i>Mirounga</i> , <i>Leptonychotes</i> , <i>Ommatophoca</i> , <i>Lobodon</i> , <i>Hydrurga</i> , and <i>Odobenus</i> (41 liiki)	Mpw (pw: pinnipeds in water)
Loivalised õhus	75 Hz kuni 30 kHz	Samad liigid	Mpa (pa: pinnipeds in air)

Tabel 2. Mereimetajate kuuldavad sagedusribad. Sauthall et al. (2007).

Mereimetajate rühm	Heli liik		
	Üksik impulss	Impulssite jada	Pidev signaal
Loivalised (vees)			
Helirõhu tase	218 dB re: 1 µPa (peak) (flat)	218 dB re: 1 µPa (peak) (flat)	218 dB re: 1 µPa (peak) (flat)
Kokkupuute tase	186 dB re: 1 µPa ² s (Mpw)	186 dB re: 1 µPa ² s (Mpw)	203 dB re: 1 µPa ² s (Mpw)
Loivalised (õhus)			
Helirõhu tase	149 dB re: 20 µPa (peak) (flat)	149 dB re: 20 µPa (peak) (flat)	149 dB re: 20 µPa (peak) (flat)
Kokkupuute tase	144 dB re: 20 µPa ² s (Mpa)	144 dB re: 20 µPa ² s (Mpa)	144.5 dB re: 20 µPa ² s (Mpa)

Tabel 3. Mereimetajate alalise kuulmisläve tõusule vastavad helitasemed (üksik või korduv kokkupuude 24 tunni jooksul) Southall et al. (2007).

Mereimetajate rühm	Heli liik		
	Üksik impulss	Impulssite jada	Pidev signaal
Loivalised (vees)			
Helirõhu tase	212 dB re: 1 µPa (peak) (flat)	160-200 dB re: 1 µPa	110 dB re: 1 µPa Kastelein et al.(2006)
Kokkupuute tase	171 dB re: 1 µPa ² s (Mpw)	Ei kohaldata	Ei kohaldata
Loivalised (õhus)			
Helirõhu tase	109 dB re: 20 µPa (peak) (flat)	-	-
Kokkupuute tase	100 dB re: 20 µPa ² s (Mpa)	Ei kohaldata	Ei kohaldata

Tabel 4. Mereimetajate käitumisreaktsioonidele vastavad helitasemed (üksik või korduv kokkupuude 24 tunni jooksul) Southall et al. (2007).(<https://tethys.pnnl.gov/publications/marine-mammal-noise-exposure-criteria-initial-scientific-recommendations>)

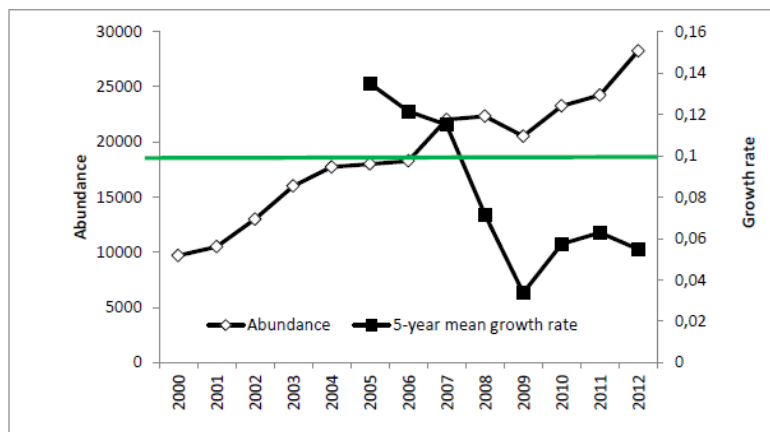
4.1 Hallhüljes

Hallhüljestel (*Halichoerus grypus*) on teada mitu eri tüüpi hüüet, mida nad kasutavad omavahelises suhtlemises, eriti paaritumisajal. Need hüüded jäävad peamiselt sagedusvahemikku 100-300 Hz, kuid üksikute hüüete sagedused tõusevad 4000-5000 Hz-ni.

Nagu näitavad märgistatud hallhüljeste telemeetrilised andmed asustavad nad kogu Läänemerd, kuid kitsamas mõttes käsitletakse nende levilana pidevaid kogunemis- ja puhkealasid. Tänapäeval asuvad need alad valdavalt Läänemere kesk- ja põhjaosas. Ajalooliselt on hallhüljes olnud väga arvukas - 20. sajandi alguses ulatus asurkonna suurus umbes 80 000 - 100 000 isendini, kuid inimtegevuse otsese või kaudse tulemusena on see langenud sajandi lõpuks vaid 5 - 7 protsendini sajandialguse populatsioonist [Jüssi, I.; Jüssi, M. 2001].

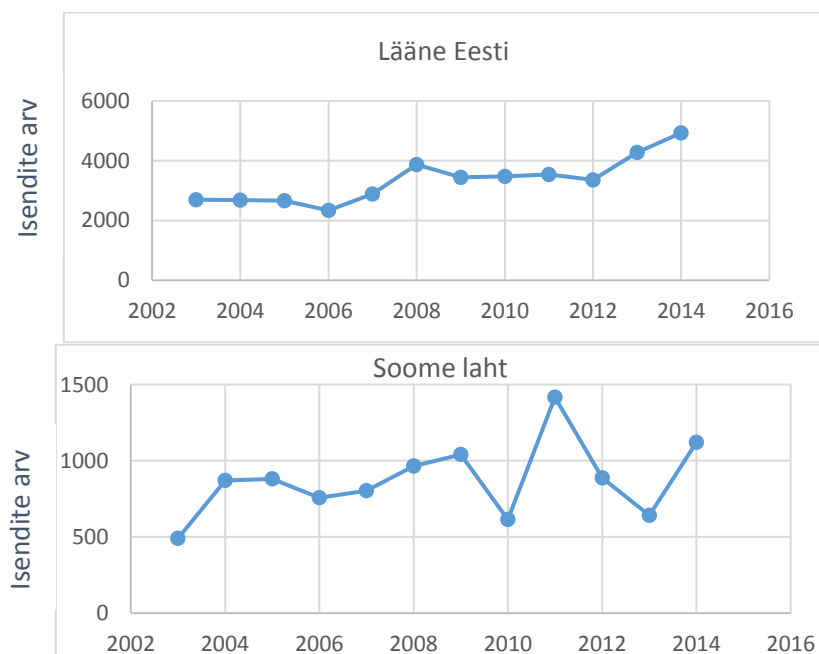
Hallhülgeasurkond on lähiminevikus kasvanud kiiresti (üle 10% aastas). Alates aastast 2007 aga vähenes see ligi 6% -le protsendile, kuid populatsioon hakkas uuesti kasvama ja 2012. aasta arvukus oli see kõige suurem (Joonis 3). 2008.-2009. aasta languse tõttu ei ulatu hüljeste populatsiooni kasvumäär HKS piiridesse [Härkonen et al. 2013]. Autoritel puuduvad värskemad andmed hallhülgeasurkonna kasvumäära kohta.

Tänapäeval kasutatavad meetodid ei võimalda Läänemere hallhülgeasurkonna suuruse piisavalt täpset määramist. Sellepärast kasutatakse seires kokkuleppeliselt suhtelist arvukust. Arvukushinnangu aluseks võetakse karvavahetusaegseid loendusi, mis viiakse läbi sünkroonselt Eestis, Soomes, Venemaal ja Rootsis. Teistes Läänemere maades hallhülgelesilaid ei ole. Sellise arvukuse hindamise meetodi aluseks on eeldus, et lesilatele koguneb mingi kindel proportsioon asurkonnast ja karvavahetuse ajal on lesilatele olevate hüljeste arv aasta lõikes suurim, kuna loomadel on karvavahetuse käigus nahas toimuvate füsioloogiliste protsesside toimimiseks vajalik soojus ja päikesest saadav UV kiirgus. Arvukushinnangus ei arvestata samakevadisi poegi, kuna need esimesel eluaastal karva ei vaheta. Sellise meetoodika järgi saab anda hinnangu minimaalsele populatsiooni suurusele. Loendusandmetele toetudes saab tuvastada muutusi hüljeste arvukuses pikema ajaperioodi vältel [Jüssi, I.; Jüssi, M. 2001].



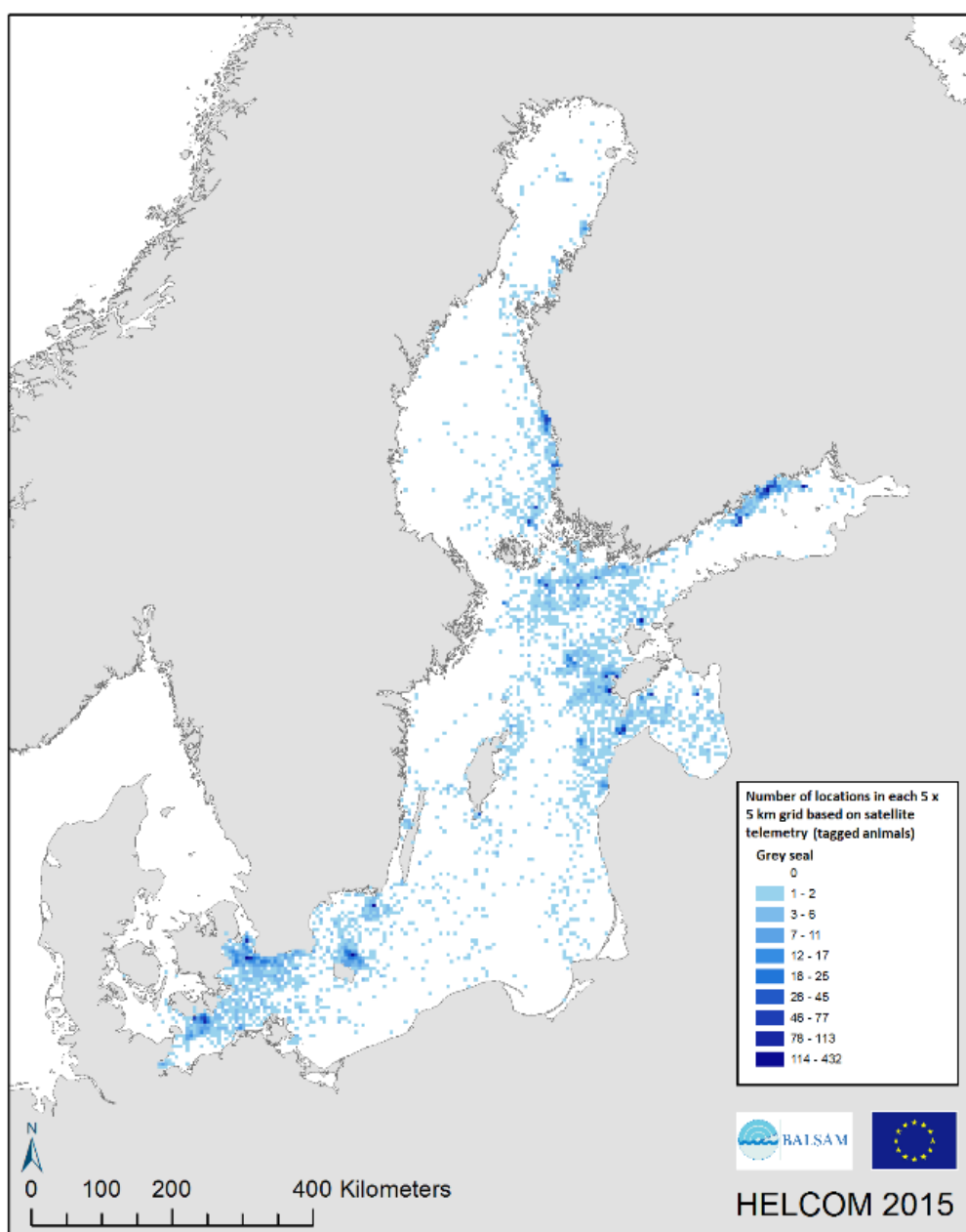
Joonis 3. Läänemere hallhülgeasurkonna kasv (mustad ruudud) ja arvukus (teemandid). Kasv on arvutatud 5 aasta liikuva keskvaertusena. Roheline joon näitab HKS-ile vastavat kasvumäära. [Härkonen et al. 2013].

Informatsioon hallhülgeasurkonna arvukuse kohta on saadav HELCOM-i veebilehel (<http://www.helcom.fi/baltic-sea-trends/data-maps/biodiversity/seals>). Arvukuse trendid Eesti mereala piires on toodud joonisel 4 ja tabelis 5.



Joonis 4. Läänemere hallhülgeasurkonna arvukus aastate lõikes Lääne Eestis ja Soome lahes (allikas <http://www.helcom.fi/baltic-sea-trends/data-maps/biodiversity/seals>)

On oluline määrata hüljeste merepiirkonna eri osade kasutust. Selles on abiks telemeetria, kus märgistatud isendite käitumise põhjal võib teha üldistusi erinevate mereosade olulisuse osas, näiteks selle järgi kui palju loomad individuaalselt ja summaarselt (kõik märgistatud isendid kokku) ühes või teises mereosas viibivad. Eeldusel, et ruumi kasutuse mustrid on üle aastate püsivad, võib määratleda millised alad on populatsioonis kasutusel puhkamiseks, toitumiseks, sigimiseks või liikumiseks neid funktsioone toetavate ruumiosade vahel [M. Jüssi, privaatvestlus]. Hallhüljeste telemeetrilisi andmeid on toodud joonisel 5. Märgistatud isendite arv selles uuringus ei olnud suur ning sellist kaarti ei saa veel kasutada täpse infoallikana mereosade kasutamise kohta hallhüljeste poolt. Tulevikus on telemeetrilistel uuringutel väga tähtis roll olemasolevate lünkade täitmiseks, ning tervikliku pildi loomiseks, nagu seda oli tehtud hiljutises uuringus Suurbritannias [Jones, 2017].



Joonis 5. Hallhüljeste telemeetrilised andmed Läänemeres.

4.2 Viigerhüljes

Viigerhüljes (*Pusa hispida*) kuulub II kaitsekategooria kaitstavate liikide hulka. Eestis esineb tänapäeval viigerhülgeid Väinameres, Liivi lahes ja Soome lahe idaosas. Läänemeres on liigi arvukus ajaloolises madalseisus. Kokku hinnatakse praeguseks liigi arvukuseks umbes 5000 isendit, kellest viiendik asustab Eesti rannikut. Viigerhüljeste peamiseks ohuteguriks on sigimiseks kriitiliselt vajaliku elupaiga kvaliteedi langus. Selle tõttu väheneb sigimise üldine edukus ning suureneb ohtlikult kisklus. Kuna kliima soojenemise tõttu halvenenud elupaiga kompenseerimine ei ole inimese poolt võimalik, on oluliseks kaitsemeetmeks abitusse olukorda sattunud viigripoegade rehabilitatsioon ja kalapüügiga kaasneva lisasuremuse (kaaspüügi) viimine miinimumini [Viigerhülje kaitse tegevuskava 2015-2019].

Informatsioon viigerhülgeasurkonna arvukuse kohta on saadav HELCOM-i veebilehel (<http://www.helcom.fi/baltic-sea-trends/data-maps/biodiversity/seals>). Arvukuse andmed Eesti mereala piires on toodud tabelis 5.

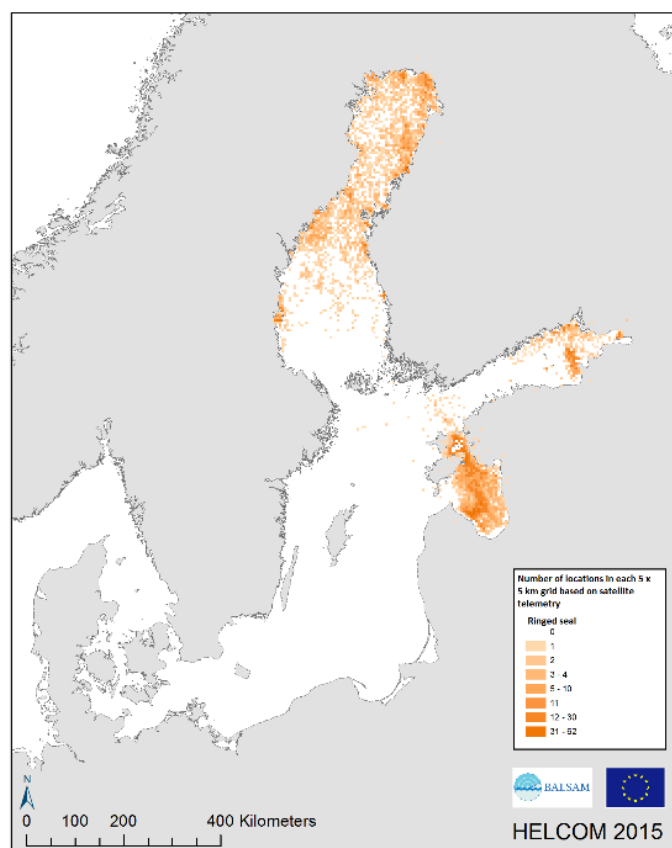
	Soome laht	Liivi laht
Loenduse aasta	arv	arv
2006		1475±440
2007		
2008		
2009		
2010	45	
2011		
2012	94	
2013		1077±450
2014		

Tabel 5. Viigerhülgeasurkonna arvukus aastate lõikes.

Viigerhüljeste telemeetrilised andmed on toodud joonistel 6 - 7. Märgistatud isendite arv nendes uuringutes ei olnud piisavalt suur, et seda saaks kasutada täpse infoallikana mereosade kasutamise kohta viigerhüljeste poolt. Samas on selgelt näha, et puhkealadeks on peamiselt Väinamere laiud ja toitumisalad paiknevad Liivi lahe lõunaosas.



Joonis 6. Viigrite suvine elupaigakasutus GPS märgistega mõõdetuna. Ajavahemik mai – september, 8 isendit, 183975 asukohta. [Viigerhülje kaitse tegevuskava 2015-2019].



Joonis 7. Viigerhüljeste telemeetrilised andmed Läänemeres.

Loivaliste hääleline kommunikatsioon toimub küllalt laias sagedusvahemikus nii õhus kui ka vees. See sagedusvahemik langeb kokku ka laevamüra sagedusvahemikuga. Uuringutes on tuvastanud heli läviväärtused, mis toovad kaasa viigerhüljeste kommunikatsiooni varjutamist (maskeerimist) [Sills et al 2015]. Tabel 6 toob varasemate viigerhüljeste uuringutest saadud kriitilisi suhtarvu, mis iseloomustavad maskeerimist. Näiteks, 100 Hz signaali puhul on kuulmislävendiks 125 dB re 1 μ Pa, kui häiriv heli on intensiivsusega 109 dB re 1 μ Pa. Seega, kui inimtekkeline heli ületab loodusliku fooni 20 dB re 1 μ Pa võrra, on tal võimalus kommunikatsiooni või teiste tähtsate akustiliste signaalide maskeerimiseks.

Frequency (kHz)	Natchek				Nayak			
	Masked threshold (dB re. 1 μ Pa)	Masker level [dB re. (1 μ Pa) ² Hz ⁻¹]	Critical ratio (dB)	FA rate	Masked threshold (dB re. 1 μ Pa)	Masker level [dB re. (1 μ Pa) ² Hz ⁻¹]	Critical ratio (dB)	FA rate
0.1	125	109	16	0.15	118	104	14	0.22
0.2	106	89	17	0.20	104	88	16	0.17
0.4	102	82	20	0.12	97	81	16	0.20
0.8	93	74	19	0.23	93	72	20	0.16
1.6	93	74	19	0.29	93	72	20	0.20
3.2	95	71	24	0.19	88	64	23	0.15
6.4	93	72	21	0.22	89	67	22	0.20
12.8	90	61	29	0.10	90	64	26	0.23
25.6	96	64	31	0.29	103	71	31	0.28

Tabel 6. Viigerhüljeste kommunikatsiooni maskeerimine eri sagedustel [Sills et al 2015]. Katseloomad: noor emane Nayak ja vanem isane Natchek, Teises tulpas on esitatud heli tasemed millest alates hakkab loom kuulma juhul kui esineb kommunikatsiooni varjatav müra (masker level, kolmas tulp). Kriitiline suhe näitab mitme detsibelli võrra peab signaal ületama varjatava müra taseme, et kuuldavaks saada ning FA (False Alarm) näitab valehäirete esinemise määra.

5. Kalad

Kaladel on kaks meele- ehk sensorset süsteemi, mis saavad vastu võtta helisid. Lisaks kõrvale on neil ka küljejooneelund, mille abil nad „kuulevad“ madalaid helisid. Samuti saavad kalad küljejoone kaudu informatsiooni teiste kalade liikumisest ja paiknemisest vees. Küljejooneelund on spetsialiseerunud vastu võtma pigem lähedalt pärinevaid, enamasti madalama sagedusega (1–200 Hz) helisid. Seevastu kala sisekõrv saab lisaks madalatele vastu võtta ka kõrgemaid ja kaugemalt lähtuvaid helisid. Hea kuulmise eelduseks on see, et kalas on õhku. Enamasti on see ujupõies ja peamine gaas on seal hapnik. Kui ujupõis on ühenduses sisekõrvaga, siis see suurendab oluliselt kala kuulmistundlikkust.

Kalu jagatakse kuulmisvõime alusel kuulmisgeneralistideks ja kuulmisspetsialistideks. Kuulmisgeneralistidel enamasti pole ujupõit ja kui ongi, siis ei ole see ühenduses sisekõrvaga. Siia gruppi kuuluvad näiteks haug, ahven, angerjas, lest, lõhe ja forell. Need kalad kuulevad küll hästi madalaid helisid, sh infrahelisid, kuid kõrgete helide piiriks jääb neil umbes 1000 Hz.

Üldiselt kuulevad kuulmisspetsialistid palju kõrgemaid ja nõrgemaid helisid kui kuulmisgeneralistid. Kuulmisspetsialistidel on ujupõis mingil moel ühenduses sisekõrvaga. Karpkalastel ja sägalastel on selleks ühenduslülilik Weberi aparaat, mille moodustavad nelja esimese selgroolüli omavahel ühenduses olevad jätked. Heeringal ja tema sugulastel ulatub ujupõiest välja peenike kapillaar, mis lõpeb sisekõrvas väikese õhumulliga. Ujupõie jätkeid esineb ka tursklastel, sealhulgas Atlandi tursal, kuid need on suhteliselt lühikesed ega ulatu sisekõrva lähedale [A. Tuvike, 2016].

Majanduslikult produktiivse kalanduse kasvu võimalused on otseses sõltuvuses kalavaru, kui ökosüsteemi teenuse looduslikust taastumisvõimest. Meretranspordi poolt tekitatav madalasageduslik pidev veealune müra on merekeskkonna oluliseks surveteguriks, mille mõju ja ulatuse väljaselgitamiseks toimuvad uuringud. Veealuse inimtekkelise müraga seonduvaid probleeme on eeskätt uuritud seoses mereimetajatega. Samas on viimase aastakümneni uuringud näidanud, et helitundlikus on omane mitte ainult mereimetajatele vaid ka kaladele ja selgrootutele loomadele. Hea valdkonna uuringute ja vajaduste ülevaade on antud artiklis [Slabbekoorn et al. 2010], kus märgitakse, et piiratud nähtavuse tingimustel on mereloomadel enamasti arenenud võimekus akustilise rõhu ja vedeliku võnkumiste tundmise osas. Samas artiklis soovitatakse otsida sarnasusi kala- ja linnuparvede reaktsioonides, kuna viimaste kohta on kogutud rohkesti uurimistulemusi.

Uurides kalade käitumuslike reaktsioone seoses inimtekkelise müraga, tekib küsimus: „Kas kalad püüavad vältida laeva lähedust?“ Norra teadlased [Vabø et al., 2002] on näidanud heeringa parvede liikumisi müra allikast eemale. Mõnede teiste kalaliikide puhul on aga täheldatud, et nad eelistavad oma territooriumile jäämist isegi tugeva impulssmüra tingimustes [Wardle, 2001]. Tihti peavad kalad toitumiseks viibima merealadel, kus domineerib inimtekkeline veealune müra. Pikaajalise mõju tõttu tekib kaladel stress, mille märgiks on kortisooli ehk stressihormooni kõrgendatud tase veres. Uuringud on näidanud [Sierra-Flores et al., 2015], et laiaribalise müra toimel on tursal tõusnud kortisooli tase ning samas langeb kalamarja viljastamise edukuse määr.

Inimtekkelisel müral on ka maskeerimise mõju kuulmisspetsialistidest kaladele nagu Atlandi tursk ja kilttursk [Stanley et al. 2017], kes paaritumise ajal kasutavad madalasageduslike akustilisi signaale. Uuringus on näidatud, et laevamüra otsene mõju seisneb kalade kommunikatsiooniraadiuse vähenemises ning sellega kaasneva reproduktiivsuse langemisega.

6. Läviväärtuse määramise metoodika: impulssheli

Hetkel Euroopa Liidus veel puudub üldtunnustatud metoodika impulssmüra läviväärtuste määramiseks. Varasematest uuringutest [Southall, 2007] on teada helitasemeid, mis tekitavad loomade kuulmiskahjustusi. Siiski ei ole see piisav merealale keskkonnahinnangu andmiseks. EU TG-Noise koosolekul oli välja pakutud mitu metoodikat, millest käesolevas aruandes on esitatud saksa teadlase A. Liebschneri oma [EU TG-NOISE 2017], kuna see on selge ülesehitusega ning lihtsasti rakendatav. Metoodika edukaks rakendamiseks on vaja teada:

- a) Loomade keskmistatud arvukuse kaarti, mis saab olla koostatud loomade loenduste ja telemeetrilise informatsiooni abil.
- b) Impulssheli allikate võimsust, paiknemist ja esinemise aega.

Metoodika näeb ette, et määratakse mereloomade ja mürarikaste inimtekkeliste sündmuste kaas-esinemist antud **hindamisalal** ning **ajaperioodi jooksul** (häiritud päevad).

Impulssheli puhul oleks otstarbekas hindamisalana käsitleda kogu asurkonna poolt kasutatava mereala kus loomad liiguvad, kuna tegu on lokaalse nähtusega. Ajaperioodina aga paremini sobiksid elustiku suhtes kriitilised perioodid (vt tabel 1).

Indikaator näitab mereloomade ala kasutamise intensiivsust ajas ja ruumis (isendpäevi) ning selle inimtekkelise müraga kaas-esinemise astet, mida kasutatakse keskkonnaseisundi kvaliteedi mõõdikuna.

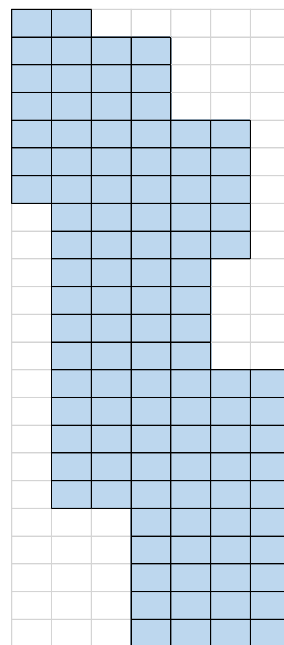
Lubatav läviväärtus sõltub loomade tundlikkusest, hinnatavast ajaperioodist ja selle tähtsusest loomade taastootmiseks.

ILLUSTREERIV MÕJUTEGURI ARVUTUS

1. **Määratletakse hindamisala** (majandustsoon, kaitseala jne). Ala on otstarbekas jagada 5 x 5 km või 1 x 1 km ruudustikuks, sõltuvalt sellest, millise täpsusega on antud loomastiku arvukuse andmed. Selline ruudustiku suurus tagab seda, et ruudus olevad loomad on allika poolt mõjutatud sarnasel viisil.

Hindamine toimub hindamisalas tervikuna, kuid vajaduse korral võib olla rakendatud väiksematele aladele ja ka iga ruudu jaoks eraldi. Joonisel on toodud üks näitlik hindamisala.

2. **Hindamisperioodi valik.** Selleks sobib paremini mereloomade kriitiline periood jmt. Näiteks, **valime hindamisperioodiks 120 päeva.**



3. **Loomade keskmise arvukus** hindamisalas hindamisperioodi jooksul, juhul kui tegemist on mereimetajatega. (Kui tegemist on kudealadega, siis piisab alade ära märkimisest [Merchant et al, 2017])

Pildil on toodud mereloomade keskmistatud isendite arv (IA) igas ruudus. Loomade arvukuse andmed saadakse loenduste ning telemeetriliste andmete sünteesi tulemusena, kuid selleks on vaja küllalt palju telemeetrilisi mõõtmisi. Kuna hülged liiguvad gruppideks ning neile on omased ajas korduvad käitumuslikud mustrid, siis on võimalik hinnata loomade kohtamise sagedust. Selline töö on näiteks edukalt läbi viidud Suurbritannias [Jones et al., 2017].

Isendite arv kokku IA=1100

8	40					
8	30	80	120			
5	10	20	80			
5	8	20	70			
5	5	20	50	70	30	
5	5	15	50	40	10	
0	5	15	20	10	8	
	4	5	15	5	2	
	3	5	10	2	2	
	0	3	5	1		
	0	1	2	0		
	0	0	1	0		
	0	0	0	0		
	0	0	0	0	30	70
	0	0	0	2	10	10
	0	0	0	2	10	10
	0	0	0	1	2	10
	0	0	0	0	2	5
			0	0	0	2
			0	0	0	1
			0	0	0	0
			0	0	0	0
			0	0	0	0

4. **Isend-päevade arv** leitakse korrutades loomade arvukuse hindamisperioodi pikkusega päevades. Näiteks, kui hindamisperiood on 120 päeva, siis

Isendpäevi IP= 132000

960	4800					
960	3600	9600	14400			
600	1200	2400	9600			
600	960	2400	8400			
600	600	2400	6000	8400	3600	
600	600	1800	6000	4800	1200	
0	600	1800	2400	1200	960	
	480	600	1800	600	240	
	360	600	1200	240	240	
	0	360	600	120		
	0	120	240	0		
	0	0	120	0		
	0	0	0	0		
	0	0	0	0	3600	8400
	0	0	0	240	1200	1200
	0	0	0	240	1200	1200
	0	0	0	120	240	1200
	0	0	0	0	240	600
			0	0	0	240
			0	0	0	120
			0	0	0	0
			0	0	0	0
			0	0	0	0

- Häiritud päevi kokku HP= 260

[illegible]

- Kokku HIP=3760

[illegible]

- $$\text{MT} = \text{HIP/IP} \times 100\% = 3760/132000 \times 100\% = 2,85\%$$

8. **Mõjutegur** võib olla arvutatud ka iga ruudu jaoks eraldi, nagu on näha järgmisest tabelist:

0	0					
0	0	0	0			
0	0	0	0			
0	8.33	16.67	0			
0	8.33	16.67	8.33	0	0	
0	8.33	8.33	8.33	0	0	
0	8.33	8.33	8.33	0	0	
	8.33	8.33	8.33	0	0	
	0	8.33	0	0	0	
	0	0	0	0		
	0	0	0	0		
	0	0	0	0		
	0	0	0	0		
	0	0	0	0	16.67	0
	0	0	0	8.33	16.67	0
	0	0	0	8.33	8.33	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0
			0	0	0	0
			0	0	0	0
			0	0	0	0
			0	0	0	0

9. **Mõjuteguri läviväärtus** väljendub häiritud päevade lubatava määrana, mille väärtust tuleks hinnata koostöös bioloogidega. Konservatiivselt võiks pidada lubatavaks piiri, kus oleks häiritud alla 20-25% isendpäevadest.

Näiteks:

- kui mereimetajateks on hall- ja viiherhüljes ja tegevus toimub veebruarist aprillini (vt. tabel 1), mis vastab hüljeste poegimise ja paaritumise perioodile, siis häiritud päevade määr on liiga suur ja planeeritud tegevusi tuleb edasi lükata hilisemale ajaperioodile.
- kui tegevus toimub juulist augustini, siis häiritud päevade määr võib olla aktsepteeritud juhul, kui töötaja rakendab leevendusmeetmeid.

HKS otsuses (2017/848/EL) toodud kriteeriumi D11C1 puhul soovitatakse kasutada impulssheli allikate kestus kalendriaastas, nende jaotumine hindamispiirkonnas aasta jooksul ja ruumiliselt ning teave selle kohta, kas kehtestatud läviväärtused on saavutatud. Esitatud metoodika lubab kontrollida läviväärtuse saavutamist nendes alades, kus impulssheli esineb.

Eesti vetes on impulssmüra tekke peamiselt seotud veealuste lõhkamistega. Aastal 2016 on impulssmüra registri kohaselt Eesti vetes toimunud 5 väikese võimsusega veealust plahvatust Tallinna ja Kunda lahes, mis ei avalda märgatavat mõju merekeskkonnale.

Läviväärtuse määramise metoodika: pidev heli

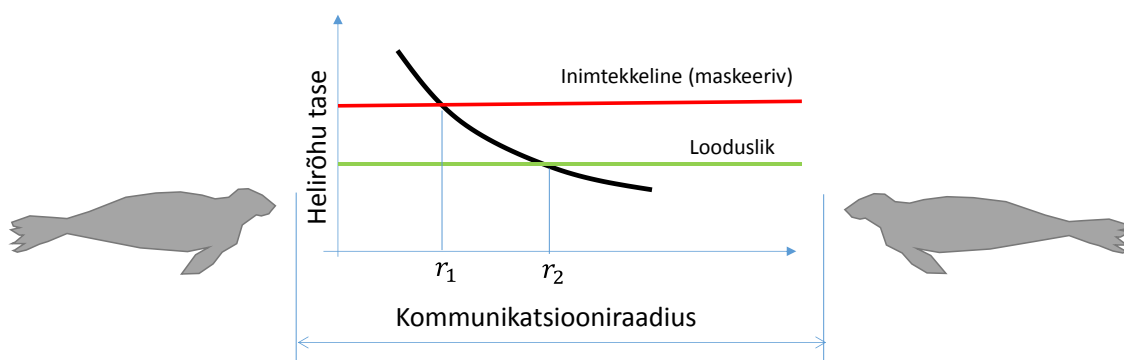
Hetkel Euroopa Liidus puudub üldtunnustatud metoodika pideva heli kahjuliku mõju arvestamiseks ning läviväärtuste määramiseks. Pideva heli kahjulikeks mõjudeks peetakse:

1. loomade vokaalse kommunikatsiooni ning teiste oluliste akustiliste signaalide **maskeerimist** (ehk varjestamist) ning sellega rikutud populatsiooni elutähtsate toimingute kulgu, nagu toidu otsing, territooriumi kaitse jmt.
2. pikaajalist stressi, mis häirib loomade kohanemisvõimet.

Järgnevas näites analüüsitakse laevamürast tuleneva akustilise maskeerimise riski olemasolu Väinamere ja Liivi lahe viiherhülge asurkonna jaoks.

Lähtehüpoteesid:

- Maskeerimine raskendab loomadevahelist veealust kommunikatsiooni ja toidu otsimist (röövloma-saaklooma suhet). Kommunikatsiooniraadiuse vähenemine mürataseme tõusul on selgitatud Joonisel 8.
- Maskeerimine tekib siis kui inimtekkeline heli tõstab loodusliku fooni helitaset 20dB re 1 μ Pa võrra (Tabel 6).
- Kuna viigri madalaim kuulmisläve (60dB re 1 μ Pa) on kõrgematel sagedustel (vt. audiogrammid Joonisel 2), siis BIAS laevamüra kaartidest kasutame neid, mis vastavad kolmandikoktaavile 2kHz.
- Eeldatakse, et on olemas asurkonna arvukuse kaart 5 x 5 km ruudustikus (kalade puhul piisab pindalalisest hinnangust kaardistatud kudealade põhjal).



Joonis 8. Helirõhu kasvades kommunikatsiooniraadius väheneb.

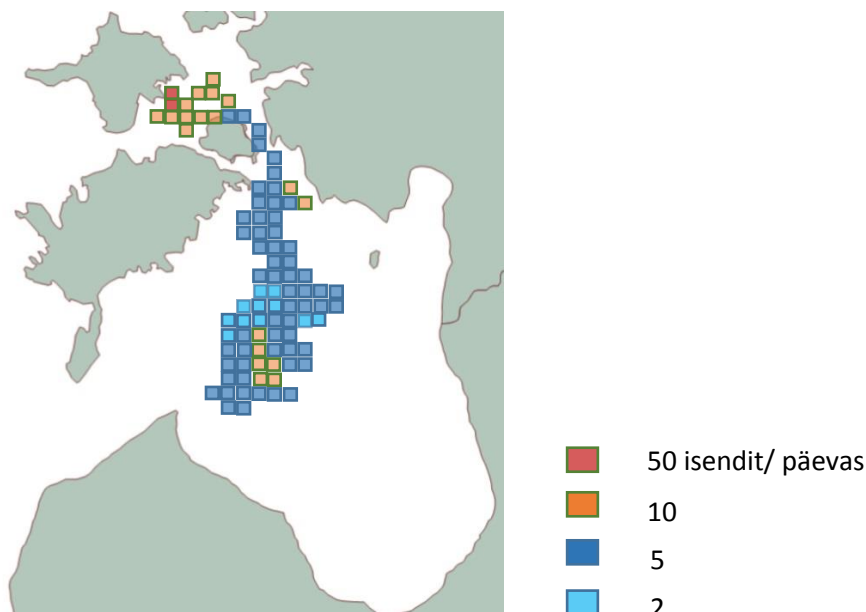
ILLUSTREERIV MÕJUTEGURI ARVUTUS

1. **Määratletakse hindamisala** (majandustsoon, kaitseala jne). Joonisel 9 on hindamisalana valitud Väinameri ja Liivi laht.



Joonis 9. Hindamisala kaart.

1. **Hülgeasurkonna arvukuse kaart**, mis koostatakse telemeetria andmete põhjal. Kaardil peavad olema märgitud lisaks lesilatele ka merealad, mida loomad kasutavad toitumiseks, sigimiseks jmt. Oletame, et on antud järgneval joonisel olev kaart, kus 5x5km ruudustikus on märgitud keskmine ala kasutamise intensiivsus ehk loomade kohtamise sagedus (encounter rate), mis on väljendatud isendite arvuna ajaperioodi kohta (näiteks päevas) [Jones et al, 2017].



Joonis 10. Eeldatav asurkonna tiheduse kaart. Kokku 607 isendit.

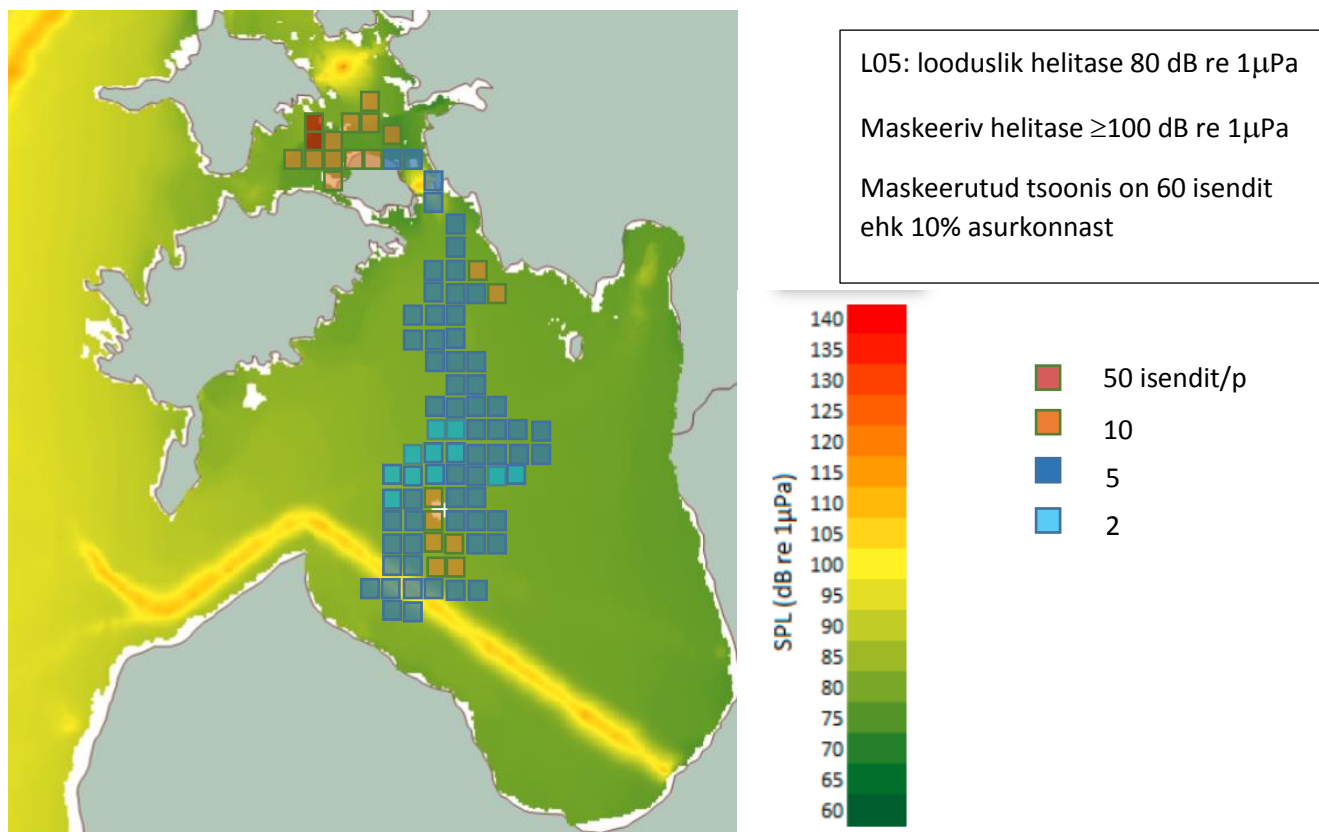
2. Laevamüra ja mereloomade kaas-esinemine.

Helikaartidele on asendatud mereloomade eeldatava arvukuse informatsioon. Iga ruudu värv vastab teatud isendite kohtamise sagedusele päevas.

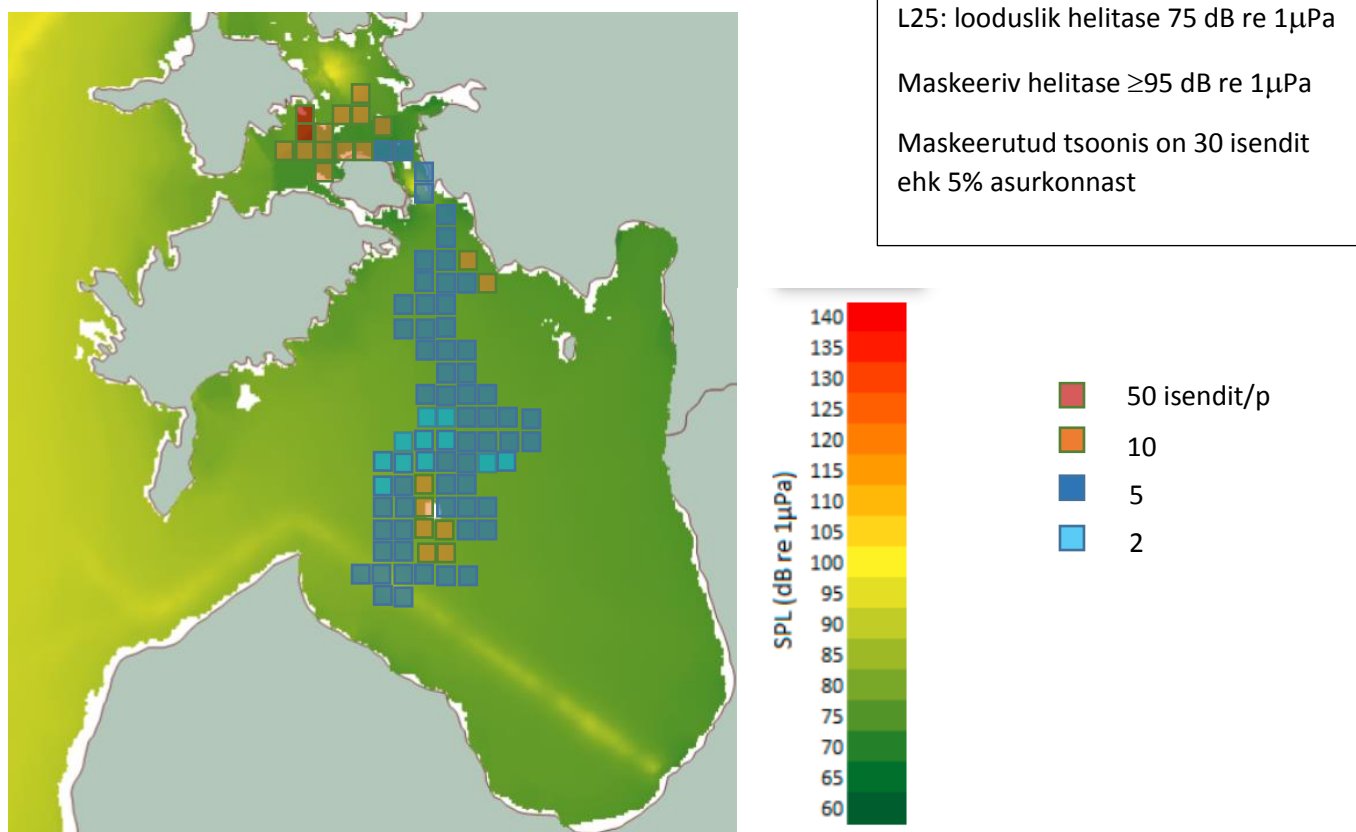
- joonisel 11 on esitatud helirõhu tasemete kaart ületamise määraga 5% (ehk sellest tasemest kõrgem tase esineb 5% ajast). Hinnatava ala kuu keskmine loodusliku heli tase on 80 dB re 1µPa, seega maskeerimine esineb aladel, kus kaas-esinevad mereloomad ja helitase ületab 100 dB re 1µPa. Isendite arvuks maskeeritud tsoonis on hinnanguliselt 60, mis on 10% asurkonnast.
- joonisel 12 on esitatud helirõhu tasemete kaart ületamise määraga 25% (ehk sellest tasemest kõrgem tase esineb 25% ajast). Hinnatava ala loodusliku heli tase on 75 dB re 1µPa, seega maskeerimine esineb aladel, kus kaas-esinevad mereloomad ja helitase üle 95 dB re 1µPa. Isendite arv maskeeritud tsoonis on 30, mis on 5% asurkonnast.
- joonisel 13 on esitatud helirõhu tasemete kaart ületamise määraga 50% (ehk sellest tasemest kõrgem tase esineb 50% ajast). Hinnatava ala loodusliku heli tase on 75 dB re 1µPa, seega maskeerimine esineb aladel, kus kaas-esinevad mereloomad ja helitase üle 95 dB re 1µPa. Võib näha, et 50% ajast maskeerimist ei esine.
- Sama analüüs võib olla tehtud ka teiste ületamise määradega kaartidel (näiteks L10).
- Konservatiivselt eeldame, et helitase L0 (modelleeritud helitaseme absoluutne maksimum) mõjutab 50% asurkonnast.
- Saadud tulemused lubavad koostada graafiku (Joonis 14), mis näitab seost aja ületamise määra ja mõjutatud asurkonna määra vahel. Kõvera all olev pindala A teisendatakse logaritmilisele skaalale ning normeeritakse [Merchant 2017], nii et

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

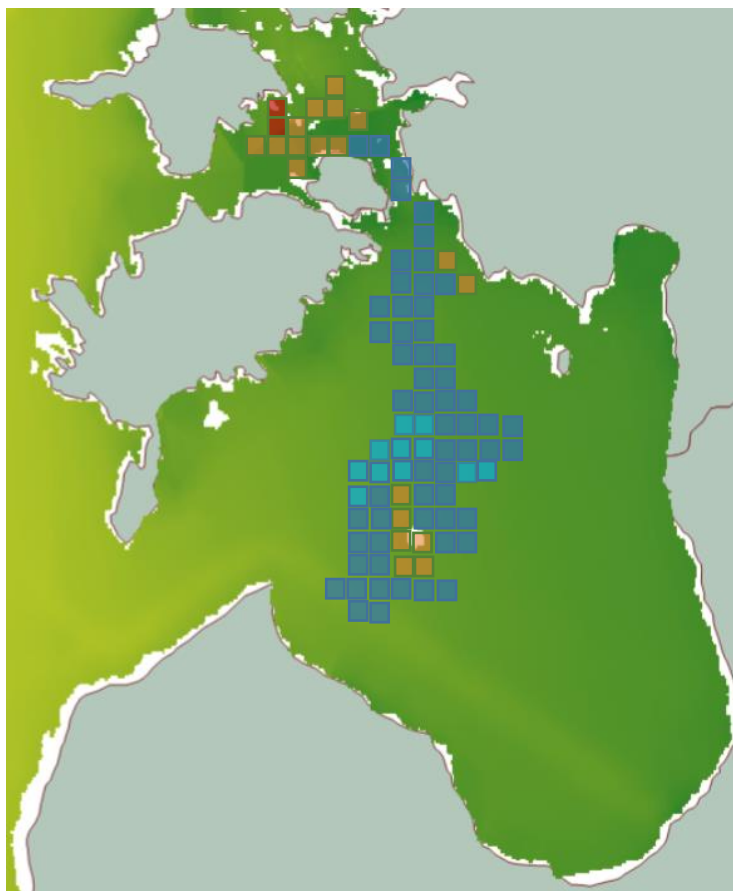
- Saadud mõjutegur (MT=6.00) näitab antud asurkonna maskeerimise riskiastet. Antud näitest võib järeldada, et umbes 15% asurkonnast võivad kannatada kommunikatsiooni signaalide maskeerimise ja kommunikatsiooniraadiuse vähenemise tõttu 15% ajast. Lubatava mõjuteguri suurust tuleks määrata koostöös bioloogidega, kuid esialgsete hinnangute järgi võiks selleks väärtuseks valida MT=7.00, mille puhul alla 25% asurkonnast 25% ajast võiks kannatada kommunikatsiooniraadiuse vähenemise pärast.



Joonis 11. Helitase ületamise määr 5%. Heli ja viigrite kaas-esinemine.



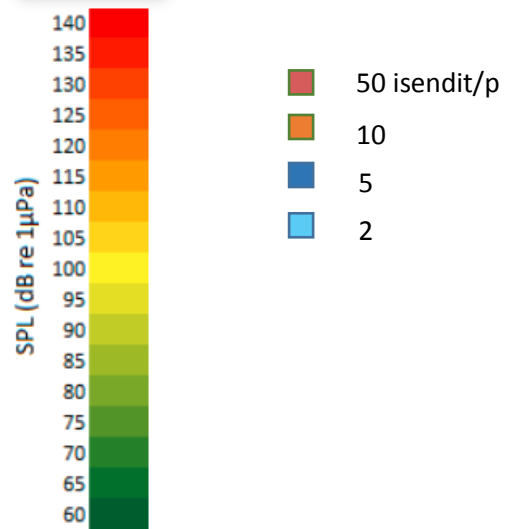
Joonis 12. Helitase ületamise määr 25%. Heli ja viigrite kaas-esinemine.



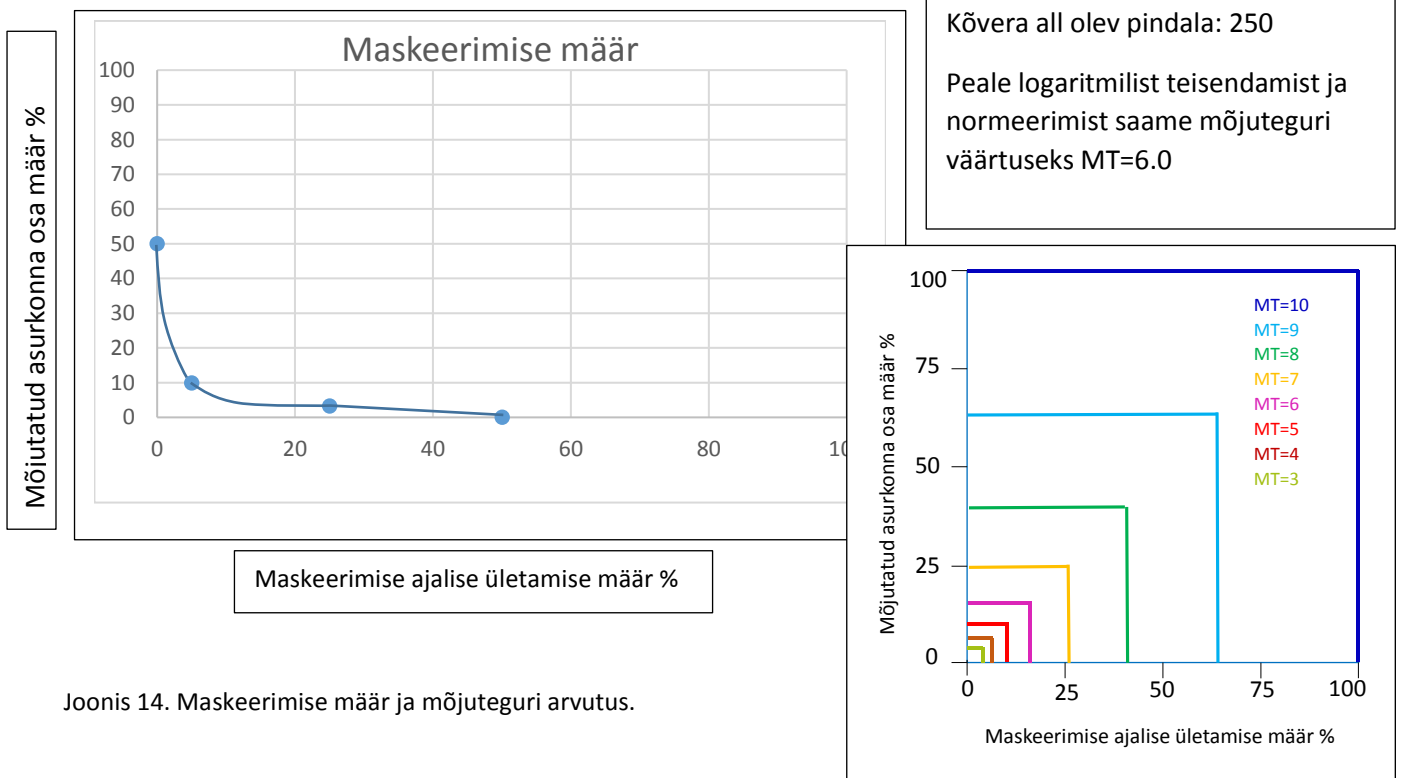
L50: looduslik helitase 75 dB re 1μPa

Maskeeriv helitase ≥ 95 dB re 1μPa

Maskeerutud tsoonis on 0 isendit



Joonis 13. Helitase ületamise määr 50%. Heli ja viigrite kaas-esinemine.



Joonis 14. Maskeerimise määr ja mõjuteguri arvutus.

7. Kokkuvõte

Inimtekkelise heli mõju mereloomadele on aktuaalne teema, mida tunnistab suur arv publikatsioone mitmes rahvusvahelises teadusajakirjas. MSRD on võtnud eesmärgiks hea keskkonnaseisundi saavutamist, mida hinnatakse püstitatud kriteeriumite järgi. Kriteeriumite täitmiseks arendatakse spetsiifilised meetodikad, mille abil kontrollitakse, kas kehtestatud läviväärtused on saavutatud.

Inimtekkeline heli on tunnistatud keskkonna saasteks, samal määral nagu seda on kemikaalid ja mereprügi. Seejuures on inimtekkelisel helil selged iseärasused, mis tulenevad sellest, et:

- heli näol on tegemist energia liigiga, mis levib keskkonda ning avaldab mõju mitte ainult ruumis, vaid on ka kindla ajalise kestvusega;
- Mõju määramisel on oluline helitundlike loomade ja heliallikate (näiteks laevade) kaas-esinemiste kindlaks tegemine nii ruumis kui ajas.
- Kaas-esinemise tuvastamiseks on abiks mereliikide käitumuslike mustrite olemasolu, mis võimaldavad asurkonna arvukuse kaartide valmistamist. Kaartide koostamisel kasutatakse nii loomade loendusi kui ka telemeetrilised uuringud, mille abil määratakse loomade kohtamise sagedust.
- Kalade puhul arvukuse andmete asemel võib kasutada kudemisalade kaarte.
- Kuna bioloogiline hüdroadustika on veel arengujärgus, siis puudub tihti ammendav informatsioon heli mõjudest mereloomadele, eriti krooniliste mõjude osas.
- Hindamisala valikul tuleb arvestada sellega, et asurkonna piirid võivad ületada riigipiire, ning sellega võivad kaasneda täiendavad raskused, nagu näiteks kalapüügi reguleerimisel. Meie arvates oleks õigem hindamisalana käsitleda asurkonna poolt kasutatava mereala, sest siis saab täpsemini määrata asurkonnaga seotud riske. Mida suurem on valitud hindamisala, seda väiksemaks jääb häiritud alade määr, mis võib varjata probleemide olemasolu. Samas, kui tegemist on väga mobiilse elustikuga (hallhüljes), siis on õigustatud ka suuremate merealade käsitlemine.

Inimtekkelise müra mõju hinnanguteks tihti kasutatakse kahte tegurit – **survetegurit** (pressure index) ja **mõjutegurit** (impact index). **Survetegur** väljendab hindamisala saaste määra. Kuna tegemist on inimtekkelise müraga, mis on peamiselt laevamüra, siis survetegurit on mõistlik arvutada kolmandikoktaavi 125 Hz jaoks, mis on ühtlasi ka indikaatorsagedus, mille mõõtmist nõuab MSRD. Oma praegusel kujul survetegur näitab laevamüra intensiivsust hindamisalal, kuid ei luba teha järeldusi loomastiku käekäigust, kuna selleks on väljalik keerukam analüüs (Joonis 15).

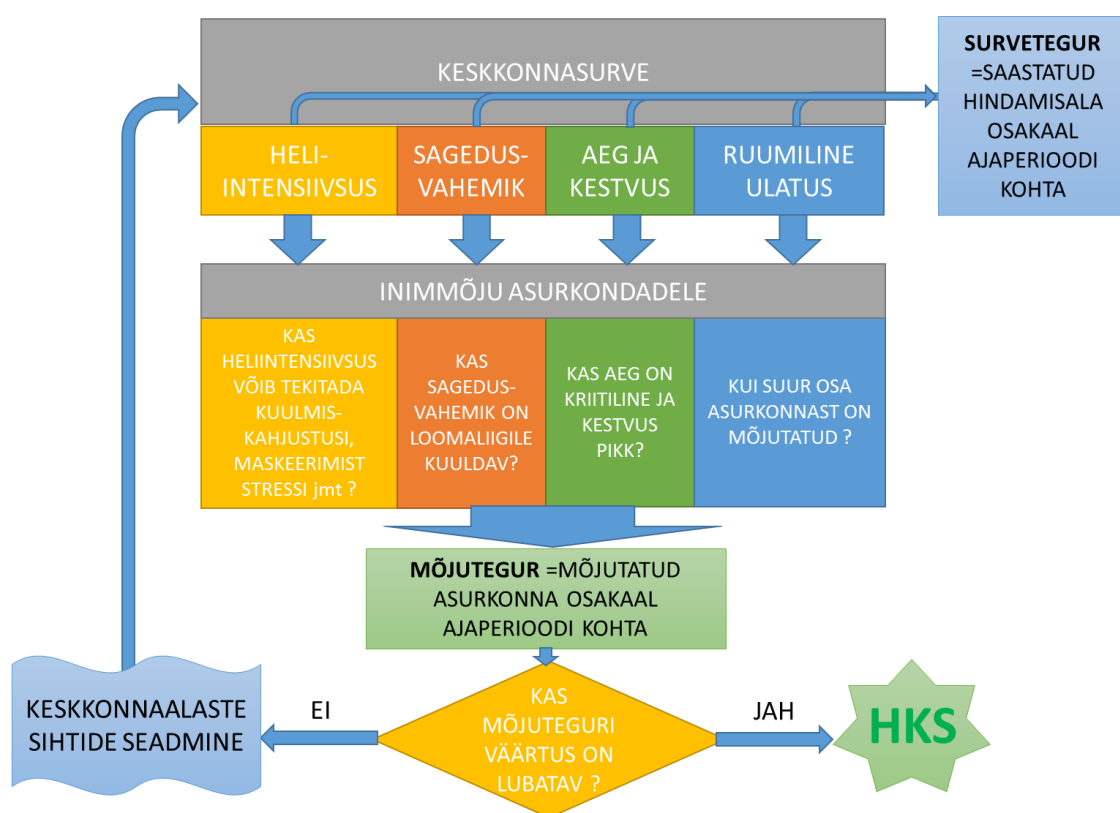
Mõjutegur peab meie arvates olema mereliigi spetsiifiline ning arvestama iga konkreetse liigi kuulmistundlikkusega. Ideaalis peaks arvestama laiaribalise M-kaalutatud heli kokkupuute tasemega, kuid praktiliste arvutuste jaoks sobivad ka BIAS projekti raames saadud Läänemere helikaardid. Kaardid mis on arvutatud kolmandikoktaavis 2kHz peaks hästi sobima mereimetajate mõjuteguri määramiseks.

Hetkel ei eksisteeri üldtunnustatud meetodikat inimtekkelise heli läviväärtuste määramiseks. Samas on kokku lepitud hindamismetoodika põhiprintsiibid: inimtekkeline heli

ei tohi mereloomade asurkondi oluliselt kahjustada [TG-Noise, 2017, HELCOM EN-Noise, 2017]. Sellest lähtudes peab metoodika hindama asurkonna mõjutamise määra ruumis ja ajas, milleks on hädavajalik informatsioon loomade võimalike paiknemiste kohta antud hindamispiirkonnas.

Käesolevas uuringus pakutud uued metoodikad näitavad arvutusliku hindamise käiku juhul, kui on olemas piisav lähteinformatsioon. Hinnangute tulemusena saadakse mõjutegurid, mis väljendavad asurkonna mõjutamise määra. **Mõjutegurite piirväärtusteks on läviväärtused**, ehk sellised mõjutamise määrad, mis ei hävita loomade asurkondi.

Hetkel teadaolevast informatsioonist ei piisa konkreetsete mõjutegurite läviväärtuste arvutamiseks, kuid lähtudes ettevaatlikkuse printsiibist võib konkreetsete olukordade hindamiseks kasutada helitaseme lubatavaid arvvaartusi, mis on toodud tabelitest 3 ja 4.



Joonis 15. HKS hindamisprotsess inimtekkelisele helile.

Kui impulssheli korral (D11C1) hinnatakse ühekordse või mitme päeva kestel toimunud tegevuse mõju, siis helitaseme lubatavaid väärtusi valitakse selliselt, et vältida mereloomade kuulumiskahjustuste teket.

Pideva heli puhul (D11C2) tuleb vältida mereloomade kommunikatsiooni ja kuulmise maskeerimist. Uuringud lubavad määrata helitasemed, mis võivad häälelist suhtlust raskendada. Pikaajalise kroonilise mõju kohta on hetkel veel vähe informatsiooni ning siin on vajalikud täiendavad bioakustilised uuringud.

Edasist uurimist vajavad küsimused

Käesolev uuring näitab, et mereala HKS analüüsiks 11. tunnuse järgi on vaja lahendada teatud tehnilisi ja teadusprobleeme:

- Puuduvad andmed helitasemetest, mis avaldavad mõju mereliikidele. Tabelist 7 võib näha, et kui imetajate kohta on andmed olemas, siis kalaliikide kohta on andmed puudulikud. Mõned uuringud käsitlevad lähedasi kalaliike, kuid tuleb lähemalt uurida, millised andmed on asjakohased Läänemere kalaliikide korral.

Loomaliigid	Helirõhu tase, dB re 1µPa			
	alaline kuulmisläve tõus	ajutine kuulmisläve tõus	käitumis-reaktsioonid	maskeerimine
Hallhüljes	218*	212*	110**	olemas, kuid vähe uuritud
Viigerhüljes	218*	212*	110**	looduslik + 20***
Tursk	AP	AP	VU	olemas, kuid vähe uuritud
Kilu	AP	AP	AP	võib esineda, kuid vähe uuritud
Räim	AP	AP	AP	võib esineda, kuid vähe uuritud
AP	andmed puuduvad		* vt tabel 3.	
VU	andmeid on vähe		** vt tabel 4.	
	andmed vajavad kinnitust		*** vt tabel 6.	
	andmed olemas			

Tabel 7. Kirjandusest saadavad andmed loomaliikidele mõju avaldatavatest helitasemetest.

- Tuleb koostada mereliikide asurkondade kaarte, kust oleks võimalik määrata mereloomade poolt kasutatavad merealad ning teha statistiliselt õigustatud oletusi loomade arvukuse kohta antud piirkonnas. Hüljeste puhul sobivad selliste andmete kogumiseks hästi telemeetrilised uuringud. Need uuringud oleks abiks ka hüljeste käitumuslike reaktsioonide tuvastamiseks seoses inimtekkeliste allikate mõjuga.

- Täpsustamist vajavad kalade kudealade kaardid, kuna olemasolevad andmed on poolikud ja ebapiisavad analüüsi tegemiseks.

- Heliallikate informatsioon ja helikaardid peavad arvestama mereloomade kuulmise eripäraga. Paremini sobiksid laiaribalise heli kaardid, mis on kaalutatud mereloomade kuulmise tundlikkusega (M-kaalutatud).

Tänuavaldused

Uuringu autorid tänavad Keskkonnainvesteeringute Keskust (KIK) rahalise toetuse eest.

KASUTATUD KIRJANDUS

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).

EU TG-NOISE (EU Technical Group on Underwater Noise), Thematic workshop: Towards thresholds for underwater noise. Torrelodones, Spain, 9-10 November 2017.

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

Halvorsen, M.B., B.M. Casper, C.M. Woodley, T.J. Carlson, and A.N. Popper. 2011. Predicting and mitigating hydroacoustic impacts on fish from pile installations. National Cooperative Highway Research Program Research Results Digest 363 October. <http://www.trb.org/Publications/Blurbs/166159.aspx>

A. D. Hawkins, A. N. Popper. Effects of Noise on Fish, Fisheries, and Invertebrates in the U.S. Atlantic and Arctic from Energy Industry Sound-Generating Activities. Literature Synthesis. U.S. Department of the Interior. Bureau of Ocean Energy Management. February 13, 2012.

Tero Härkönen, Anders Galatius, Stefan Bräeger, Olle Karlsson & Markus Ahola. Population growth rate, abundance and distribution of marine mammals. In co-operation with the HELCOM SEAL expert group and the JASTARNIA group. HELCOM. 2013.

HELCOM, Noise Sensitivity of Animals in the Baltic Sea. Baltic Boost. 2016.

HELCOM Guidelines for establishing environmental targets for underwater noise. Outcome of PRESSURE 6-2017, Annex 6.

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

JASCO Applied Sciences 2011, Underwater Acoustics: Noise and the effects on marine mammals. A pocket handbook, 3rd Edition.

Jüssi, I.; Jüssi, M. 2001. Tegevuskava hallhüljeste kaitse korraldamiseks Eestis aastatel 2001–2005. Eesti Ulukid 7.

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

Kastak, D., Schusterman, R. J. 1998. Low-frequency amphibious hearing in pinnipeds: Methods, measurements, noise and ecology. Journal of the Acoustical Society of America 103(4): 2216-2228.

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

Nathan D. Merchant , Rebecca C. Faulkner, & Roi Martinez. Marine Noise Budgets in Practice. Conservation Letters, October 2017, 1–9.

Møhl, B. 1968. Auditory sensitivity of the common seal in air and water. The Journal of Auditory Research 8: 27-38.

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

Reichmuth, C., Holt, M.M., Mulsow, J., Sills, J.M., Southall, B.L. 2013. Comparative assessment of amphibious hearing in Pinnipeds. J. Comp. Physiol. A. DOI 10.1007/s00359-013-0813-y.

Ridgway, S. H., Joyce, P. L. 1975. Studies on seal brain by radiotelemetry. *Rapp. P.-v. Reun. Int. Explor. Mer.* 169: 81-91.

Sierra-Flores, R., Attack, T., Migaud, H., Davie, A. Stress response to anthropogenic noise in Atlantic cod *Gadus morhua* L. *Aquacultural Engineering* 67 (2015) 67–76.

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

Hans Slabbekoorn, Niels Bouton, Ilse van Opzeeland, Aukje Coers, Carel ten Cate and Arthur N. Popper. A noisy spring: the impact of globally rising underwater sound levels on fish. *Trends in Ecology and Evolution* 25 (2010) 419–427.

Southall, B.L., Schusterman, R.J., Kastak, D. (2000) Masking in three pinnipeds: Underwater, low-frequency critical ratios. *Acoustical Society of America* 108(3):1322 – 1366. 365-2664.12911

Southall, B.L., Bowles, A.E., Ellison, W.T., Finneran, J.J., Gentry, R.L., Greene, C.R. Jr., Kastak, D., Ketten, D.R., Miller, J.H., Nachtigall, P.E., Richardson, W.J., Thomas, J.A., Tyack, P.L. (2007). Marine mammal noise exposure criteria: initial scientific recommendations. *Aquatic Mammals* 33(4): 411 – 521.

Jenni A. Stanley, Sofie M. Van Parijs & Leila T. Hatch. Underwater sound from vessel traffic reduces the effective communication range in Atlantic cod and haddock. *Scientific Reports. Nature* | 7: 14633 | DOI:10.1038/s41598-017-14743-9

Terhune, J.M. 1988. Detection thresholds of a harbour seal to repeated underwater high-frequency, short-duration sinusoidal pulses. *Can. J. Zool.*, 66:1578-1582.

Tuvikene, Arvo (2016). Kui hästi kalad kuulevad? *Kalale!*, 20, 14–21.

Vabø, R. et al. (2002) The effect of vessel avoidance of wintering Norwegian spring-spawning herring. *Fish. Res.* 58, 59–77.

Wardle, C.S. et al. (2001) Effects of seismic air guns on marine fish. *Cont. Shelf Res.* 21, 1005–1027.

LISA 1.

11. tunnus Energia keskkonda juhtimine, sealhulgas veealune müra, on tasemel, mis ei kahjusta merekeskkonda

Asjakohased survetegurid: inimtekkelise heli mõju; muud liiki energia mõju

Kriteeriumid, sealhulgas kriteeriumielemendid ja metoodikastandardid

Kriteeriumid	Metoodikastandardid
D11C1 – Esmane kriteerium: Inimtekkelise impulssheli allikate ruumiline ulatus, kestus ja tase ei ületa taset, mis mõjuks mereloomade populatsioonidele kahjulikult. Liikmesriigid kehtestavad sellise taseme läviväärtused liidu tasandil tehtava koostöö kaudu, võttes arvesse piirkondade ja allpiirkondade eripära.	<i>Hindamistasand:</i> Piirkond, allpiirkond või alarajoon. <i>Kriteeriumide kasutamine:</i> Seda, mil määral on saavutatud hea keskkonnaseisund, väljendatakse iga hinnatava piirkonna puhul järgmiselt: a) kriteeriumi D11C1 puhul impulssheli allikate kestus kalendriaastas, nende jaotumine hindamispiirkonnas aasta jooksul ja ruumiliselt ning teave selle kohta, kas kehtestatud läviväärtused on saavutatud; b) kriteeriumi D11C2 puhul aasta keskmine (või muu sobiv ajaline mõõtühik, mis on kokku lepitud piirkonna või allpiirkonna tasandil) helitase pindalaühiku kohta ja heli ruumiline jaotumine hindamispiirkonnas ning sellise hindamispiirkonna ulatus (% km ²), kus kehtestatud läviväärtused on saavutatud. Kriteeriumide D11C1 ja D11C2 kasutamine hea keskkonnaseisundi hindamiseks 11. tunnuse alusel lepitakse kokku liidu tasandil. Kõnealuste kriteeriumide hindamise tulemused toetavad ka 1. tunnusega seotud hindamisi.
D11C2 – Esmane kriteerium: Inimtekkelise pideva madalsagedusega heli ruumiline ulatus, kestus ning tase ei ületa taset, mis mõjuks mereloomadele populatsioonidele kahjulikult. Liikmesriigid kehtestavad sellise taseme läviväärtused liidu tasandil tehtava koostöö kaudu, võttes arvesse piirkondade ja allpiirkondade eripära.	

Seire ja hindamise spetsifikatsioonid ja standardmeetodid

1. Kriteeriumiga D11C1 seotud seire puhul:

- ruumiline lahutusvõime: geograafilised asukohad, mille kuju ja piirkonnad määratakse kindlaks piirkondlikul või allpiirkondlikul tasandil näiteks direktiivi 2008/56/EÜ III lisas loetletud näitajate põhjal;
- impulssheli, mida kirjeldatakse kui domineeriva energiaallika helitaset ühikutes dB re 1µPa2s või nullväärtusest maksimaalse helitasemeni ühikutes dB re 1µPa m; mõlemal juhul on sagedusala vahemikus 10 Hz kuni 10 kHz. Liikmesriigid võivad kaaluda muudest konkreetsetest allikatest pärit, kõrgemasse sagedusalasse jäävate helitasemete jälgimist, kui kaugemale leviva heli mõju peetakse asjakohaseks.

2. Kriteeriumiga D11C2 seotud seire puhul: aasta keskmine (või piirkonna või allpiirkonna tasandil kokku lepitud muus mõõtühikus) helirõhk mõlemas 1/3 oktaavribas, millest üks asub sagedusel 63 Hz ja teine 125 Hz, väljendatuna detsibellide tasemena ühikutes dB re 1µPa rõhuga sobiva ruumilise lahutusvõime juures. Seda võib mõõta otse või tuletada mõõtmiste interpoleerimiseks või

ekstrapoleerimiseks kasutatava mudeli põhjal. Samuti võivad liikmesriigid piirkonna või allpiirkonna tasandil otsustada jälgida täiendavaid sagedusalasid.

Kasutatavad mõõtühikud:

- D11C1: selliste päevade arv kvartalis (või vajaduse korral kuus), mil impulssheliallikad on olemas; hindamispiirkonna selline pindalaühikute osakaal (protsentides) või ulatus (ruutkilomeetrites (km²)) aastas, mille puhul on impulssheliallikad olemas;
- D11C2: aasta keskmine (või muu ajaline mõõtühik) püsiv helitase pindalaühiku kohta; hindamispiirkonna selline osakaal (protsentides) või ulatus (ruutkilomeetrites (km²)) aastas, mille puhul helitase ületab läviväärtusi.