

Eestisse planeeritavate avamere tuuleparkide võimalikud mõjud Läänemere kaladele

Töö tellis: Kalanduse Teabekeskus

Töö koostas: Mehis Rohtla, TÜ Eesti Mereinstituut, vanemteadur



Käsmu/Storebø 2020

1 Sisukord

2	Eessõna	3
3	Sissejuhatus	3
4	Tuulikute füüsilisest olemasolust tulenevad mõjud.....	5
5	Müra mõjud	7
5.1	Kalade kuulmisest	8
5.2	Näiteid erinevate kalaliikide kuulumistundlikkusest	9
5.3	Avamere tuuleparkide ehitamise ja tööfaasi käigus tekkiva müra mõjud kaladele ..	10
6	Elektri- ja magnetväljade mõjud.....	13
7	Taashõljustatud sette mõjud	16
7.1	Mõju marjale	17
7.2	Mõju vastsetele.....	18
7.3	Mõju juveniilsetele ja täiskasvanud kaladele	19
8	Süntees ja kokkuvõte	20
9	Kirjanduse loetelu.....	24

2 Eessõna

Käesoleva ülevaate koostamisel on võetud aluseks autori poolt 2008. aastal kaitstud bakalaureusetöö, mida on täiendatud uuema kirjandusega. Siiski on käesolevast ülevaatest välja jäetud kalade meeleelundite detailne bioloogiline kirjeldus ning müra ja elektromagnetväljade olemuse tehniline kirjeldus. Huvitatud lugeja leiab need kirjeldused autori bakalaureusetööst. Kuigi käesoleva töö eesmärgiks oli keskenduda Läänemerele, siis tingib merre püstitatud tuulikute vähesus Läänemeres ka läbiviidud uuringute ja andmete vähesuse. Seetõttu on kirjandusallikatenä kasutatud eelkõige Põhjameres ja mujal läbiviidud uuringute tulemusi kirjeldavaid aruandeid ja teadusartikleid.

3 Sissejuhatus

Nõudlus taastuvenergia järele suureneb kogu maailmas üha kasvavas tempos ^[1]. Euroopa Liidu tasandil on tuuleenergia osakaal üldises energiaportfellis tõusnud 4 protsendilt 2010. aastal 13,4 protsendini 2019. aastal ^[1]. Euroopa Liit on seadnud eesmärgiks saavutada aastaks 2020 kõikide liikmesriikide kogu energiatoodangu keskmiseks taastuvenergia osakaaluks 20 protsenti ^[2]. 2018. aasta lõpu seisuga oli Euroopa Liit jõudnud 18 protsendini ^[3]. Eesti seatud siseriiklik eesmärk oli aga 25% ja see sai täidetud juba aastal 2011 ^[4]. Mittesiduva ja -kohustusliku eesmärgina sätestati Eestis ka, et elektrienergia lõpptarbimisest peaks 17,6 protsenti moodustama taastuvatest energiaallikatest toodetud energia, kuid 2018. aasta lõpu seisuga oli see veel napilt saavutamata, küündides 1,665 TWh ehk 17,1 protsendini ^[4]. Aastal 2018 kiitis Euroopa Parlament heaks uue siduva taastuvenergia eesmärgi ja energiatõhususe põhieesmärgi aastaks 2030. Selle kohaselt tuleb aastaks 2030 suurendada energiatõhusust vähemalt 32,5 protsenti ja taastuvenergia osakaal peab olema vähemalt 32 protsenti lõpptarbimisest kogu euroalal keskmiselt ^[5]. Eesti seadis oma siseriiklikuks eesmärgiks taastuvenergia vähemalt 42 protsendilise (ideaaljuhul 50%) osakaalu, kusjuures taastuvelektri maht peaks aastaks 2030 olema suurusjärgus 4,3 TWh ja moodustama lõpptarbimisest 30% ^[6]. Viimati nimetatud eesmärgini on Eestil plaanis jõuda suuresti tuuleenergia abil ja reaalse

tegevusena nähakse ette tuuleenergia toodangu neljakordistamist järgneva kümne aasta jooksul.

Hetkel toodetakse Eestis tuulest ca 0,6 TWh elektrit aastas, mis moodustab ligikaudu 10% Eesti kogu elektritarbimisest. Tuuleenergiat toodetakse 23 erinevas paigas üle kogu maa, kuid peamiselt rannikualadel. Kokku on võrku ühendatud 139 tuulikut koguvõimsusega 310 MW, kusjuures viimasel kolmel aastal ühtegi tuulikut püstitatud ei ole. Eesti territoriaalvetes tuulikud hetkel puuduvad, kuid arvestades Eesti riikliku energiakava, siis tõenäoliselt varem või hiljem need sinna ikkagi paigaldatakse. Näiteks planeerib Eesti Energia avamere tuuleparke Hiiumaa lähistele ja Liivi lahte koguvõimsusega 1100 ja 1000 MW. Neist esimene oleks praeguste andmete järgi ka maailma suurim. Liivi lahte planeerib tuuleparki ka OÜ Tuuletraal, kes plaanib sinna püstitada 160 tuulikut koguvõimsusega 1000 MW. Saaremaast läände plaaneerib aga 600 MW tuuleparki Saare Wind Energy. Arendusprotsessiga on kõige kaugemale jõutud Hiiumaa lähistele planeeritava Loode-Eesti rannikumere tuulepargiga, mille kohta avaldati hiljuti ka keskkonnamõju hindamise aruanne ^[7].

Nagu igasugune inimtegevus, siis võivad ka avamere tuulepargid potentsiaalselt mõjutada ümbritsevat keskkonda ning seal elavaid organisme. Seda eelkõige seetõttu, et insenertehnilistel ja majanduslikel kaalutustel paigaldatakse praegusel ajal tuulikuid ainult suhteliselt madalatele (<20 m) merealadele. Sellised alad on aga sageli väga kõrge bioloogilise produktiivsusega ning funktsioneerivad oluliste toitumis- ja turgutusaladena paljudele loomarühmadele, sealhulgas kaladele. Kalu võivad erinevatel viisidel mõjutada järgnevad avamere tuuleparkide ehitus-, töö- ja demonteerimisfaasiga kaasnevad tegurid:

- 1) Tuulikute füüsilisest olemasolust tingitud mõjud (nn kunstrifi efekt)
- 2) Tuulikute ehitus-, töö- ja demonteerimisfaasi käigus keskkonda kanduva müra mõjud
- 3) Tuulikute tööfaasi käigus keskkonda kanduvate elektromagnetväljade mõjud
- 4) Tuulikute vundamentide ja kaablite paigaldamisest (ja eemaldamisest) tulenevad taashõljustatud sette mõjud.

Käesoleva töö eesmärk on koostada kõige uuemate andmetega kirjanduse ülevaade eelpool nimetatud mõjudest kaladele, pidades silmas just Läänemere ja seal elavate kalade iseärasusi.

4 Tuulikute füüsilisest olemasolust tulenevad mõjud

Avamere tuulikute vundamendid ja tornid lisavad merekeskkonda kõva substraati ning toimivad seega kui kunstrifid, kuna epibentnilised organismid ja vundamenti lainetuse eest kaitsvad kivid pakuvad elupaika selgrootudele ja kaladele. Muuhulgas suureneb vett filtreerivate karpide hulk, kuigi vundamentide ja tornide kogupindala on siiski kogu tuulepargi alaga võrreldes väike. Samas muutub tuulepargis vee liikumine ja suureneb vee turbulents^[8, 9]. Kuna Eestis on hetkel teadaolevalt merepõhja lubjakivikihi tõttu võimalik kasutada vaid gravitatsioonvundamente, siis suurt häiringut merepõhja puurimise või tornide rammimise näol ei toimu^[7,10]. Muutused põhjasubstraadi koostises võivad aga mõjutada ala liigilist mitmekesisust ja ökosüsteemi toimimist – seda eriti pehmetel põhjadel, kus kõva substraat puudub^[11]. Näiteks domineerivad planeeritava Loode-Eesti avamere tuulepargi aladel pehmed põhjad, kuid leidub ka kõvasid põhjasid^[7]. See tähendab seda, et juhul kui tuulikud paigaldatakse valdavalt pehmetele põhjadele, siis võib lokaalselt suureneda mitmete põhja- ja poolpelaagiliste kalade arvukus nagu on juhtunud mitmel pool Põhjameres^[12-14]. Avamere tuuleparkidest tulenevat negatiivset mõju piirkonna kalakoosluse liigilisele struktuurile ja arvukusele pole aga ükski uuring veel täheldanud^[15-17].

Kalade arvukuse suurenemise seletuseks kunstriffidel on välja pakutud kaks võimalikku põhjust^[18]. Esiteks võib kunstrifil suureneda kalade arvukus tänu sellele, et kunstriff meelitab kalu ümberkaudsetelt aladelt ja toimub koondumine ilma üldise populatsiooni arvukuse tõusuta. Seega teatud mööndustega võib avamere tuulepark toimida ka kui kalu koondav struktuur (inglise keeles: *fish aggregating device*, FAD). Nimelt on avamerel kalastavad kalurid juba sajandeid kasutanud FAD-e püüginahu suurendamiseks, kuid need erinevad veidi kunstriffidest, sest neid paigaldatakse vaid veepinnale või veesamba keskele^[19]. Kuna turbiinide vundamendid on paigaldatud merepõhja ja samas lõikavad tornid läbi veesamba, siis võib üks tuulik tervikuna käituda nii kunstrifi kui ka FAD-na^[20]. Teiseks võib kunstrifil suureneda kalade arvukus tänu sellele, et kõva substraadi juurde lisamisel suureneb keskkonna bioloogiline kandevõime ning seega reaalselt ka kalade produktsioon.

Erinevatel kalaliikidel on veealuste struktuuride osas erinev eelistus. Samuti võivad kalade eelistused elu jooksul muutuda. Näiteks tursklased koonduvad tihti kõrgete profiilidega struktuuride lähedusse. Nii ongi Põhjameres täheldatud suurte tursa- ja süsikaparvede kogunemist õli- ja gaasiplatvormide lähedale^[21, 22]. Samas ei ole avamere tuuleparkide

vundamendid niivõrd keerulise konstruktsiooniga nagu õli- ja gaasiplatvormide veealused osad, kuid siiski on täheldatud kalade koondumist nende ümber. Näiteks Taani väinade Läänemere poolses osas paiknevas Lillgrundi avamere tuulepargis suurenes töötavate tuulikute vundamentide vahetus läheduses selliste röövkalade nagu tursa, angerja ja nolguse asustustihedus ^[15]. Selle põhjuseks oli töö autorite hinnangul aga tõenäoliselt lokaalne koondumine ning mitte immigratsioon või produktiivsuse suurenemine. Suureskaalalisi muutusi põhjakalastiku liigilises koosseisus ja arvukuses samas ei tuvastatud. Ka Belgiale kuuluvas ja Põhjameres asuvas avamere tuulepargis täheldati tursa arvukuse olulist kasvu ^[14]. See kõik tähendab aga seda, et antud liikide jaoks ületas vundamentide füüsiline atraktiivsus tuuliku töömüra ja elektromagnetväljade võimaliku negatiivse mõju (vt veel pkt 5 ja 6). Tuleb aga meeles pidada, et Põhjameres ongi enamuse tuuleparke rajatud pehmetele põhjadele ning kalade liigilise mitmekesisuse ja arvukuse lokaalne suurenemine on seega ootuspärane. Samas pole avamere tuuleparkide mõju näiteks lestaliste arvukusele praeguseks tuvastatud ^[13, 16, 23]. Ka teadaolevalt kõige pikemaajalisem enne-ja-pärast uuring Taanile kuuluvas ja Põhjameres asuvas avamere tuulepargis Horns Rev 1 ei tuvastanud olulisi muutusi kalade liigilises koosseisus ja arvukuses seitse aastat pärast ehitustööde lõppu ^[13]. Antud uuringu põhiliseks järelduseks oli, et avamere tuulepargid ja kalad saavad probleemideta koosseksisteerida.

Läänemeres asuvates ja Rootsile kuuluvates Utgrundeni ja Yttre Stengrundi avamere tuuleparkides läbiviidud kalakoosluste uuringute tulemusel leiti, et avamere tuulepargid toimivad kui kunstrifid ja FAD-d ka väikeste põhjakalade jaoks ^[20]. Kaks kuni kolm aastat pärast tuulikute püstitamist korraldatud uuringute käigus loendati visuaalselt 351 000 kala, millest 99,7 % olid juveniilsed mudillased, mis omakorda olid suures enamuses kirjumudil (*Gobiusculus flavescens*) ja väike mudilake (*Pomatoschistus minutus*). Suured kirjumudila kogumikud tuvastati turbiinide tornidelt, kusjuures keskmine kirjumudila arvukus tornidel oli suurusjärgu võrra kõrgem kui merepõhjas 1-5 m kaugusel tornist ja kaks suurusjärku kõrgem kui 20 m kaugusel tornist. Selline muster oli vastavuses söödava rannakarbi (*Mytilus edulis*) kattuvusega samades kohtades, mis tõenäoliselt seletab ka kalade rohkest. Samas oli kalade liigirikkus tornidel märkimisväärselt madalam kui merepõhjas.

Seda, kuidas tuulikute vundamentide ja tornidena merre lisatud kõva substraat mõjutab pelaagiliste kalade, näiteks räime ja kilu arvukust ja käitumist tuulepargis, on hetkel raske täpselt öelda. Võimalik mõju oleks aga kindlasti suurem räimele, sest just räim koeb Läänemeres muuhulgas ka avamere madalikel. Samas pole avaldatud veel ühtegi uuringut, mis tõestaks, et räime kudumine on avamere tuuleparkide tõttu häiritud. Näiteks Rootsi

rannikumeres asuvas Utgrundeni tuulepargis tabati seirepüükide käigus jooksva marjaga räimesid ^[24].

Suurenenud väikekalade kontsentratsioonid omavad aga suure tõenäosusega positiivset lokaalset mõju majanduslikult tähtsatele röövkaladele, sest potentsiaalne toidubaas meelitab ligi suuremaid kalu. Eeldades, et tuulepargis või selle lähedal saab olema kalapüük lubatud, võib tuulepargi rifikompleks toimida produktiivse kalastusalana. Samas tuleb arvestada, et kalanduse ja avamere tuuleparkide vahel eksisteerib potentsiaalne konflikt ^[19] – ühelt poolt ei soovi tuulepargi omanikud, et kalapüük kahjustaks elektri kaableid ja vundamente; teisalt ei soovi kalurid, et tuulikud nende kalastusalale paigaldatakse, sest kardetakse mõju kalasaakidele ja sobilike püügikohtade vähenemist. Seega tuleb igal konkreetsel juhul leida sobiv lahendus, mis arvestaks avamere tuuleparkide keskkondlikku ja majanduslikku tähtsust ning merekalanduse kultuurilist ja majanduslikku tähtsust. Üks võimalus konflikti leevendamiseks on luua tuuleparkide piirkondadesse merekaitsealasid (inglise keeles: *marine protected area*, MPA), kus igasugune kalapüük on kõigil või osadel aladel keelatud. Nii tekiks juurde ka merekaitsealasid, kus kalapüük on piiratud või keelatud – järjest suureneva kalapüügisurvega maailmas on neid nii kui nii hädasti vaja, et säilitada kalavarude jätkusuutlikkus. Kui aga tuulepark ehitada bioloogiliselt vähetähtsale alale ja on soov tõsta tuulepargi alla jääva mereala liigilist mitmekesisust, siis tuleks tuulikute vundamentide ümber paigaldada kive lisa kõvasubstraadiks, mis ühelt poolt kaitseks vundamenti lainemõjude eest ja teisalt looks uut elupaika selgrootutele ja kaladele ^[25]. Juhul kui tuuleparkide piirkonnas siiski lubatakse osalise koormusega püüda, tuleb välja selgitada erinevate liikide varude olukord ning määrata lubatud püügikogused sellel alal. Püügi ulatus tuulepargis ja seda ümbritseval alal – just nagu kõikjal mujalgi – peab olema kooskõlas kalavarudega. Olukorras, kus nii kutse- kui harrastuspüük on hästi reguleeritud, peaks tuulepark (siinkohal vaadeldud vaid lähtudes struktuuride esinemise füüsilisest aspektist) kokkuvõttes mõjuma hästi nii kaladele kui kalandusele.

5 Müra mõjud

Avamere tuuleparkide rajamise, tööfaasi ja demonteerimise käigus levivad keskkonda helid, mis on oma olemuselt kas neutraalsed (ühildudes taustmüraga) või invasiivsed (tekitades müra, mis on eristuv ja potentsiaalselt kahjulik). Samas on Läänemeres juba praegu palju inimtekkelist müra ^[26] ja seega on küsitav, kas tuuleparkidest tulenev müra on kuidagi mõjusam. Siinkohal tulebki eraldi käsitleda tuulikute paigaldamisel tekkivat suhteliselt tugevat

lühiajalist ehitusmüra ning tuulikute töötamisel tekkivat suhteliselt nõrka pikaajalist töömüra. Tuulikute demonteerimistöõde käigus tekkivate helide mõjude kohta pole hetkel midagi teada, kuid tõenäoliselt jääb see oma mõjude poolest ehitus- ja töömüra vahele, sõltudes suuresti tööde iseloomust ja intensiivsusest.

5.1 Kalade kuulmisest

Väga tähtis on rõhutada seda, et erinevate kalaliikide kuulmisvõimekused on erinevad ning seega ei reageeri kõik liigid helidele ühtemoodi. Vesi on suurema tihedusega kui õhk ja seetõttu on vesi palju efektiivsem helirõhu lainete juht. Seega kanduvad helid vee all palju kaugemale ning ka nende levimise kiirus on 4,8 korda suurem. Helid koosnevad väga väikestest voolavatest liikumistest (vibratsioonidest), millel saab eristada osakeste liikumise ja helirõhu komponenti. Kuigi enamus kalu tajub eelkõige osakeste liikumise komponenti (mis stimuleerib otseselt sisekõrva), siis mitmed kalaliigid on võimelised tajuma ka helirõhu muutusi. Helirõhku suudavad tajuda vaid kalaliigid, kellel on gaasiga täidetud ujupõied (nt karplased ja heeringalised). Ujupõis muudab helirõhu osakeste liikumiseks, mis omakorda stimuleerib, kas otseselt või läbi spetsiaalsete struktuuride, sisekõrva. Enamik kalade kuulmise alaseid töid on senini uurinud kalade reageerimist helirõhule (sest seda on olnud tehniliselt lihtsam uurida), kuid järjest enam rõhutatakse ka osakeste liikumise komponendiga arvestamise vajadust ^[27].

Kalu saab kuulmise järgi tinglikult jagada kuulmise generalistideks ja kuulmise spetsialistideks. Enamikel kaladel ei esine spetsialiseerumist kuulmises ja neid kutsutakse kuulmise generalistideks ^[28]. Sellised kalad kuulevad helisid sagedustel 50-500 Hz, helirõhu tundlikud liigid ka kuni 1000 Hz juures ^[29]. Kuulmise generalistid jagunevad veel omakorda liikideks, kellel pole gaasiga täidetud elundeid (Läänemeres näiteks lest ja ümarmudil) ja liikideks, kellel on ujupõis, kuid puudub spetsiaalne mehaaniline ühendus sisekõrvaga (Läänemeres näiteks lõhe, meriforell ja tursk) ^[30]. Kuulmise spetsialistidel on ujupõie ja sisekõrva vahel struktuurid, mis parandavad kuulmist veelgi ning nii kuulevad nad helisid sagedustel kuni 3000-4000 Hz. Kuulmise spetsialistid saab jagada kolmeks ^[31]:

1. Kalad, kelle kolm esimest selgroo lüli on modifitseerunud Weberi luukesteks, mis ühendavad ujupõit kala sisekõrvaga. Siia alla kuuluvad sägalised ja karplased (Läänemeres näiteks särg, vimb ja hõbekoger).
2. Kalad, kelle ujupõie otsmised projektsioonid lähevad otse sisekõrva. Siia alla kuuluvad oravkalalised (Läänemeres sellised kalad puuduvad).

3. Kalad, kellel on peas eraldi olev ja gaasi sisaldav õõnsus (*bulla*), mis asetseb sisekõrva lähedal. Siia alla kuuluvad nokiskalalased ja heeringalised (Läänemeres näiteks räim ja kilu).

Kalade erinev kuulmisvõimekus tuleneb seega varieeruvast sisekõrva ehitusest ning eksisteerivast ühendusest ujupõiega. Kui enamik kalaliike kuuleb vahemikus 30–1000 Hz, siis mõned liigid tajuvad ka infraheli madalamatel kui 20 Hz-listel sagedustel ^[32, 33] ja ultraheli kõrgematel kui 20 kHz-listel sagedustel, ulatudes isegi kuni 180 kHz-ni ^[34, 35]. Kuna avamere tuulepargid ei tekita ultraheli, siis ei ole see helitüüp käsitletavas kontekstis tähtis ^[36]. Inimtekkeline veealune müra, nagu näiteks laevatamis-, vaivundamentide rammimismüra ja töömüra turbiinidelt jäävad üldjuhul alla 1000 Hz ning on seega enamike kalade kuulmisulatuses ^[30, 37].

5.2 Näiteid erinevate kalaliikide kuulumistundlikkusest

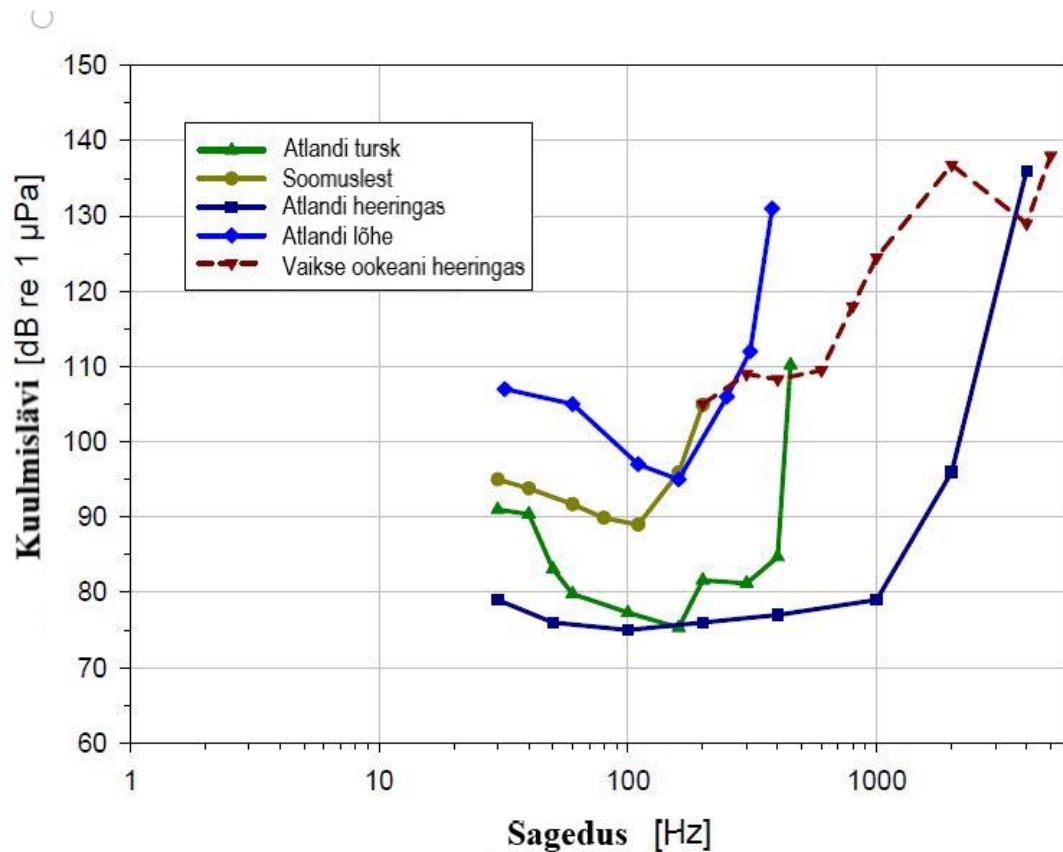
Soomuslestal (*Limanda limanda*) puudub ujupõis. Heli levib mööda kudesid otse otoliidi organile. Selle tulemusena on soomuslest tundlik ainult osakeste liikumisele. Soomuslesta kuulmissagedus on vahemikus 30–250 Hz ning ta on helile suhteliselt tundetu. Kuulmislävi on 89 dB re 1 μ Pa @ 110 Hz (Joonis 1) ^[38, 39].

Atlandi lõhel (*Salmo salar*) on ujupõis, mis ei ole alati täielikult täidetud. Lisaks ei ole ujupõis sisekõrvaga ühendatud – sellest on järeldatud, et ujupõis ei osale kuulmises. Lõhe reageerib ainult madalatele toonidele (alla 380 Hz), parima kuulmisega sagedusel 160 Hz (kuulmislävi 95 dB re 1 μ Pa) (Joonis 1). Ka lõhe puhul arvatakse, et osakeste liikumine on tähtsam stiimul kui helirõhk. Lõhe kuulmine on nõrk, kitsa sagedusulatuses, väikse võimekusega eristada signaale mürast ja madala üldise tundlikkusega ^[39, 40].

Atlandi tursal (*Gadus morhua*) on gaasiga täidetud ujupõis. Kuigi puudub otsene ühendus kõrva ja ujupõie vahel, asub viimase eesmine osa sisekõrvale suhteliselt lähedal ^[39, 41]. Seega on tursk heli suhtes tundlikum kui eelnevad liigid. Kõrgeim tundlikkus on 75 dB re 1 μ Pa @ 160 Hz (Joonis 1). Tursk on võimeline tegema vahet ruumiliselt eraldatud heliallikate ^[42] ning ka erinevatelt vahemaadelt tulevate heliallikate vahel ^[43]. Nii osakeste liikumine kui ka helirõhk on tähtsad stiimulid, eriti kui on vaja selgitada välja heli suund ^[43].

Atlandi heeringal (*Clupea harengus*) on ujupõis ja spetsiaalsed sisekõrva struktuurid, mis võimaldavad head kuulmisvõimet. Struktuuriliste spetsialiseerumiste hulka kuulub pikenenud

ujupõis, mis ulatub sisekõrva ja kõrge spetsialiseerumise tase sisekõrva utrikluaarses regioonis ^[44]. Atlandi heeringas kuuleb heli vahemikus 30 Hz – 4 kHz ning tema kuulmise lävi on 75 dB re 1 μ Pa @ 100 Hz (Joonis 1).



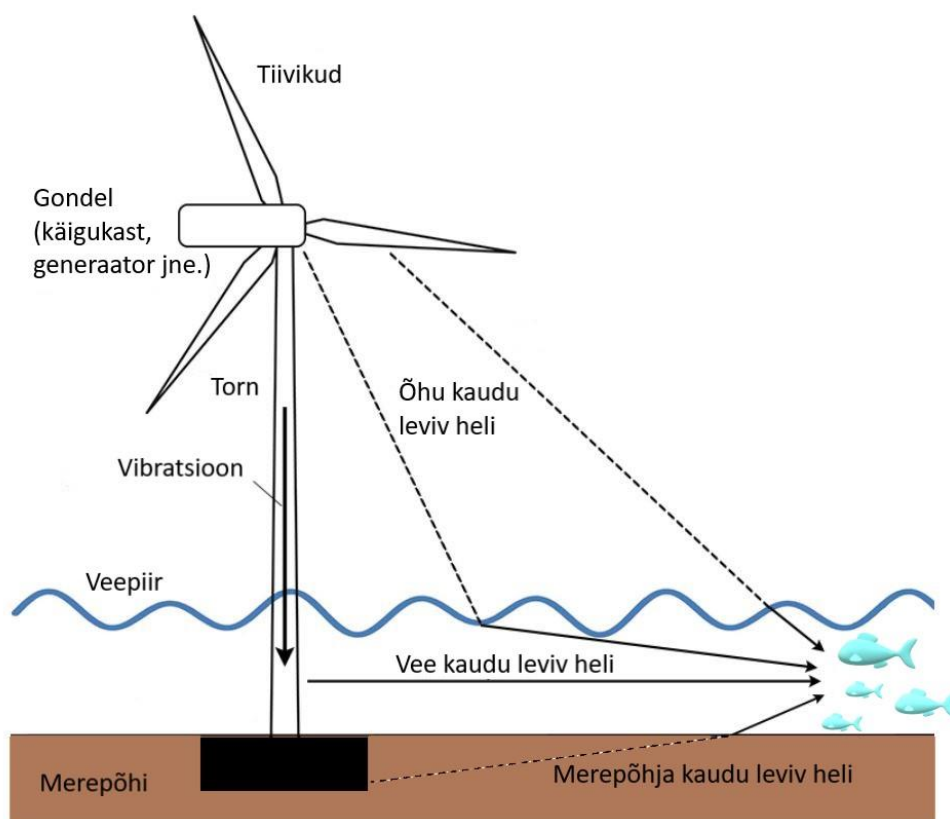
Joonis 1. Erinevate liikide audiogrammid: Atlandi tursk ^[41], soomuslest ^[38], Atlandi heeringas ^[45], Atlandi lõhe ^[40] ja Vaikse ookeani heeringas ^[46]. Kohandatud allikast: Thomsen jt. (2006).

5.3 Avamere tuuleparkide ehitamise ja tööfaasi käigus tekkiva müra mõjud kaladele

Avamere tuuleparkidega seotud müraallikad saab jagada neljaks: 1) lühiajaline ehitusmüra, mis tekib tuuleparkide komponentide paigaldamisel ja demonteerimisel; 2) vahelduva loomuga laevamüra, mis tekib tuuleparkide ehituseks ja hooldamiseks kasutatavate laevade tõttu; 3) pidev töömüra, mis tekib tuulikute töötamisel; 4) taustmüra, millel pole kindlalt eristatavat allikat, kuid mille üldine tase suureneb müraallikate lisandumisel ja tuule tugevnemisel.

Eelpool mainitutest esimene kätkeb endas seni teadaolevalt kõige suuremat ohtu keskkonnale, sest tuulikute tornide (vaivundamentide) paigaldamiseks teostatav merepõhja puurimine või tornide hüdrovasaraga merepõhja rammimine tekitab väga kõrgeid helirõhu tasemeid, mis on pealegi väga laiaulatuslikud (20 Hz kuni 20 kHz) ^[47-49]. Kuigi sellised tööd on oma loomult lühiajalised, siis mõjud kaladele on potentsiaalselt tugevad ^[50-52]. Eestisse plaanitavate avamere tuuleparkide puhul merepõhja puurimist või tornide merepõhja rammimist aga praeguste plaanide järgi ei toimuks, kuna kasutada plaanitakse gravitatsioonvundamente. Seega on Eestisse plaanitavate avamere tuuleparkide puhul suurimateks potentsiaalseteks müraallikateks suhteliselt konstantne, kuid mitte väga tugev tuulikute töömüra ning vahelduva loomu ja tugevusega laevamüra. Merealadel, kuhu rajatakse avamere tuulepargid, suureneb kindlasti laevamüra hulk, seda nii ehitus- ja demonteerimise faasis, kuid eelkõige tuulikute tööfaasi ajal kaasneva hooldustegevuse tõttu. Eeldades, et iga tuulik vajab aastas 1-2 päeva hooldustöid, on 200 tuulikuga avamere tuulepargis hoolduslaevad kohal pea igapäevaselt. Laevad võivad tekitada helisid sagedusvahemikus 20 Hz – 10 kHz, kuid üldjuhul jäävad helid siiski alla 1 kHz ^[29, 37]. Üks hiljutine USAs korraldatud uuring ongi leidnud, et igasugune laevamüra mõjutab keskkonda tõenäoliselt rohkem kui töötavad tuulikud, mille töömüra mõju kaladele ja mereimetajatele hinnati pea olematuks ^[53].

Peamised müraallikad töötavate avamere tuulikute puhul on käigukast ja generaator, kust müra levib mööda tuuliku torni ja vundamenti vette ^[54] (Joonis 2). Müra tuuliku tiivikutest peegeldub veepinnalt või maskeeritakse tuule müraga. Tuuliku tekitatud müra jääb enamuses 180 Hz ümbrusesse ning üldjuhul üle 800 Hz ei tõuse ^[48, 54, 55].



Joonis 2. Helide levimise teed töötavast avamere tuulikust. Kohandatud allikast: <https://dosits.org/animals/effects-of-sound/anthropogenic-sources/wind-turbine/>

Üldiselt on avamere tuuleparkidega seotud töömüra uuringutes seni leitud vähe negatiivseid mõjusid kaladele. Erinevad varem avaldatud kirjanduse ülevaated on järeldanud, et halvimal juhul võib tuulikute töömüra maskeerida kalade omavahelist suhtlust ja orienteerumiseks vajalikke signaale ^[50, 56, 57]. Ka hiljuti avaldatud müra mõjude mudeldamise tulemused näitasid, et avamere tuuleparkide ehitus- ja töömüral puudub märkimisväärne mõju Norra kala ja imetajate populatsioonidele ^[58]. Meeles tuleb siiski pidada seda, et tegemist on väga komplekse ja tehnilise uurimisvaldkonnaga ning seetõttu pole täpseid uuringuid lihtne teostada. Samuti on suuresti uurimata heli osakeste liikumise komponendi mõju kalade kuulmisele ^[27] ning ka väheste olemasolevate müra mõjude uuringute põhjal on raske teha lõplike järeldusi ^[29, 57]. Ilmne näide müra mõjude uurimuse puudulikkusest baasteadmiste tasandil on ka see, et tänapäeval kasutatavad kalaliikide kuulmisvõimekust iseloomustavad audiogrammid pärinevalt üldjuhul 1980ndatele eelnenud perioodist ning uuemaid andmeid ei ole millegipärast juurde tulnud ^[57].

Tuulikute töömüra kuuldavus sõltub tuulikute arvust ja võimsusest, kalade kuulmise võimekusest, taustmüra tasemest, tuule kiirusest, vee sügavusest ja merepõhja omadustest ^[56]. Samas on teada, et tuulikute töömüra ühildub taustmüraga juba 1 km kaugusel turbiinist ^[39] ja helitasemed 1 m kaugusel töötavast tuulikust pole piisavad, et eemale peletada angerjaid ja lõhesid ^[59]. Wahlberg ja Westerberg (2005) arvutasid aga kalade turbiinist eemalepeletamise kauguseks 4 m, kuid seda ainult suurema tuulega (13 m/s).

Arvestades eelpool toodud erinevate kalaliikide kuulmise võimekusi, siis Läänemere kaladest on tõenäoliselt kõige parema kuulmisega räim ja kilu. Ehk siis potentsiaalselt kõige rohkem võiksid tuulikute töömürast olla mõjutatud just need liigid. Eriti võib mõjutatud olla aga räim, sest räime koelmud asuvad üldjuhul nendel samadel avameremadalikel ja madalatel rannikualadel, kuhu on võimalik paigaldada ka avamere tuulikuid. Kuna räim koondub kudemise ajaks eriti suurtesse parvedesse, siis võib just kudemise ajal tuulikute tulenev müra häirida kalade omavahelist suhtlemist ja parvlemist. Samas pole hetkel uuringuid, mis tõestaks, et räime kudemine on tuulikute läheduses häiritud. Igatahes Rootsi rannikumeres asuvas Utgrundeni tuulepargis läbiviidud kalastikuseire käigus tabati töötavate tuulikute läheduses jooksva marjaga räimesid ^[24].

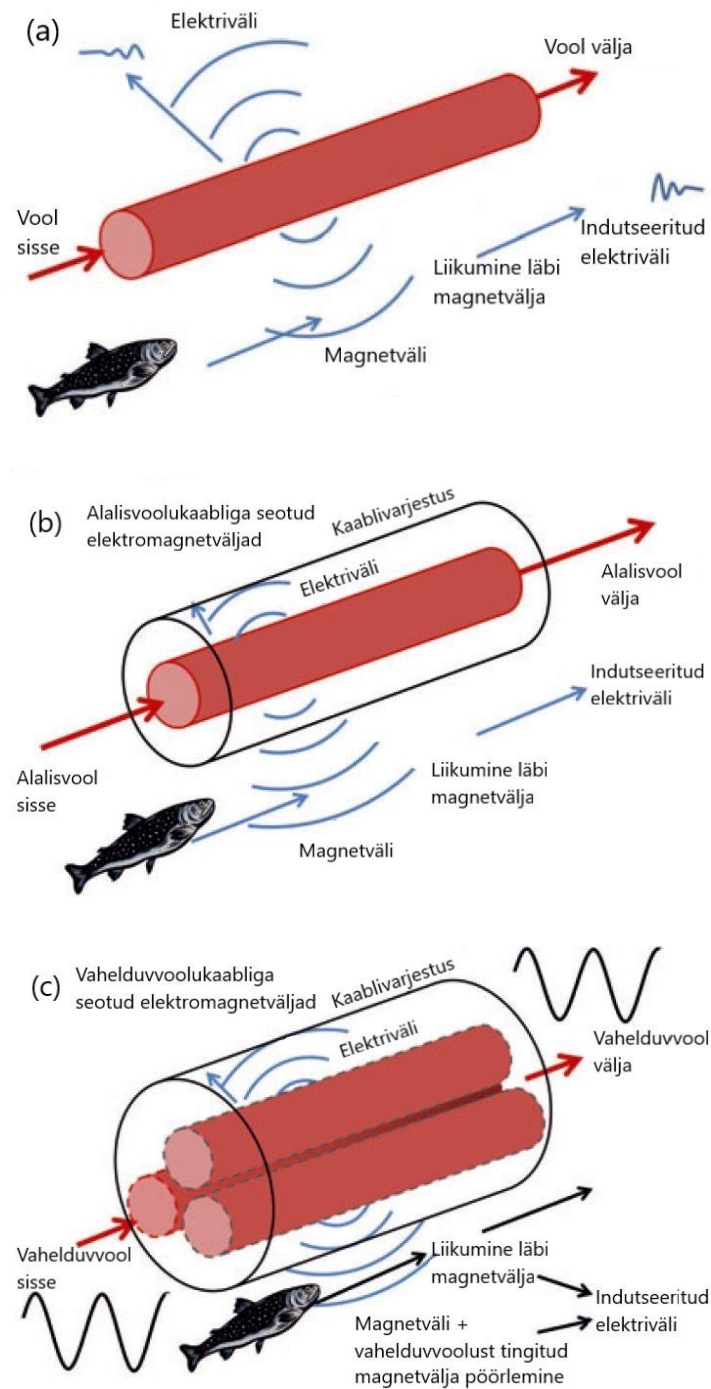
6 Elektri- ja magnetväljade mõjud

Avamere tuuleparkide ehitusega suureneb ka veealuste kaablite hulk. Elektrienergia, mis merel turbiinide abil toodetakse, transporditakse veealuste kaablite kaudu maismaale. Selliste elektrikaablite pikkus võib sõltuvalt asukohast olla kümneid või isegi sadu kilomeetreid ning need on kogu ulatuses ümbritsetud kas duaalse elektromagnetväljaga (vahelduvvoolukaabel) või singulaarse magnetväljaga (alalisvoolukaabel), mida tekitab kaableid läbiv elektrivool ^[60] (Joonis 3). Lisaks on tuulikud omavahel kaablitega ühendatud. Elektromagnetväljade tugevus kaabli ümber kasvab kaabli voolutugevuse suurenemisega, kuid kahaneb kiiresti kaablist eemaldudes ^[61, 62]. Kuna paljud kalaliigid tajuvad elektromagnetvälju ja kasutavad Maa magnetvälja orienteerumiseks ^[57, 63, 64], siis võivad avamere tuulepargiga seotud elektrikaablid mõjutada piirkonnas elavate või seda läbivate kalade käitumist. Kõige äärmuslikumal juhul võib kaabel olla barjääriks kalade rännetele – eriti aga sellistele kaladele, kes kasutavad oma pikkadel rännetel navigatsiooniks ja orientatsiooniks tõenäoliselt just Maa magnetvälja (nt lõhe

ja angerjas). Euroopa angerja kuni 16000 km pikkune edasi-tagasi ränne Sargasso merest on üks kõige pikemaid rändeid luukalade hulgas. Eksperimentaalselt on näidatud, et oma rände erinevatel etappidel kasutavad klaasangerjad Maa magnetvälja abi ^[65-67]. Seetõttu on alust arvata, et seda teevad ka hõbeangerjad oma tagasirändel Sargasso merre.

Läänemeres ongi ainukesed elektromagnetväljade mõjude uuringud läbi viidud angerjaga. Westerberg (1994) uuris telemeetria abil angerja liikumisi ühe avamere tuuliku lähistel ning ei tuvastanud muutusi märgistatud isendite rändemustrites ^[68]. Küll aga sõltus angerjamõrdade püügiedukus sellest, kas tuulik töötas või mitte (töötava tuuliku korral oli angerjasaak väiksem). Siiski ei võimaldanud katse ülesehitus päris üheselt selgeks teha, kas seda põhjustas tuuliku akustiline või elektromagnetiline mõju. Westerberg ja Begout-Anras (2000) jälgisid angerja liikumist üle Balti Kaabli, mis tekitab 60 meetri kaugusel 5 μ T magnetvälja ^[69]. Tulemused olid kooskõlas hüpoteesiga, et angerjad järgivad konstantset magnetväljadel põhinevat kurssi. Kusjuures angerjate liikumises esines kõrvalekalle õigest kursist samas suurusjärgus, mida oli oodata kaabli magnetilisest anomaaliast. Kuigi katse tulemused viitasid sellele, et veealused kaablid võivad angerja rännet oluliselt mõjutada, ei rutanud autorid siiski väga kaugeleulatuvaid järeldusi tegema, sest mõjud erinesid isendite vahel suurel määral. Westerberg ja Lagenfelt (2008) leidsid, et angerjate ujumiskiirus oli märkimisväärselt madalam 130 kV vahelduvvoolukaabli kohal ^[70]. Uurimisala jaotati kolmeks piirkonnaks: enne kaablit, kaabli kohal ja pärast kaablit. Selgus, et kaabli kohale jääva lõigu läbisid angerjad pisut aeglasemalt. Kuid isegi juhul kui mõju rändele oleks olnud statistiliselt täiesti usaldusväärne (mida ta polnud), leidsid autorid, et kaabli mõju oleks siiski suhteliselt väike, sest keskmiselt võttis kaablit sisaldava ruumiosa läbimine lisaaega vaid 30 minutit.

Taani rannikul Nystedi avamere tuulepargis viidi 2004. aastal läbi uuring, kus uuriti märgistus-taaspüük meetodil angerjate edasist liikumist kaabli ümbruses ^[71]. Tulemused näitasid, et 39% märgistatud angerjatest ületasid arvatavasti kaabli. Rohkem kui 50% muutsid arvatavasti oma liikumissuunda. Kuigi töö autorid järeldasid, et suur osa angerjaid reageerisid kaabli olemasolule, siis kahjuks polnud nende andmete abil võimalik seda üheselt seostada elektromagnetväljade olemasoluga.



Joonis 3. Erinevate allveekaablitega seotud elektri- ja magnetväljad (kohandatud allikast: Gill jt. 2012): (a) varjestuseta kõrgepingekaabel (b) varjestusega alalisvoolukaabel (c) varjestusega vahelduvvoolukaabel. Tööstuslike kõrgepingekaablite varjestus hoiab ära otseselt emiteeritavate elektriväljade levimise keskkonda, kuid magnetväljade emiteerumist keskkonda hetkel kasutatav varjestus ei takista. Vee ja organismide liikumine läbi magnetvälja tekitab omakorda indutseeritud elektrivälja. Samuti tekib indutseeritud elektriväli kasutades vahelduvvoolukaableid, sest kaablist väljuv magnetväli pöörleb vahelduvvoolu mõjul, tekitades nii omakorda elektrivälja. Kuigi teoreetiliselt on võimalik varjestada ka kaablist emiteeruvad magnetväljad, pole see hetkel praktilistel ja majanduslikel põhjustel teostatav.

Kokkuvõtvalt saab öelda, et isegi kui mitmed uuringud on näidanud, et paljud kalad tajuvad elektri- ja/või magnetvälju, on praegusel ajal ikkagi väga vähe tõestust selle kohta, et allveekaablite tekitatud elektromagnetväljad mõjutavad kalu negatiivselt ^[57, 70, 72]. Meie baasteadmised kalade tundlikkusest elektromagnetväljade suhtes ja allveekaablite võimalikest mõjudest on jätkuvalt äärmiselt lünklikud ning seega tuleb kõikide olemasolevate uuringute tulemustesse ja hinnangutesse suhtuda väga ettevaatlikult. Siiski on soovitatav kasutada meetmeid, mis vähendaks kaablite potentsiaalset negatiivset mõju. Võimaluse korral tuleks kaaluda kaablite matmist merepõhja või hoolikat varjestamist. Eelistada tuleks alalisvoolukaablit, sest sel juhul tekib kaabli ümber ainult magnetväli. Vahelduvvoolukaabli ümber tekib lisaks ka elektriväli. Leevendavad meetmed kaabli ehituses ja paigalduses on vajalikud ka seetõttu, et tulevikus võib probleemiks saada erinevate elektrikaablite kumulatiivne mõju Läänemeres.

7 Taashõljustatud sette mõjud

Tuulikute tornide paigaldamiseks teostatav merepõhja puurimine ja rammimine (mida küll Eestis ei plaanita) ning merepõhja süvendamine kaablite paigaldamiseks suurendab vee hägusust ning setete liikumist. Samuti võib põhjakihtides kaevamine vabastada mürkaineid, nagu näiteks raskemetalle, mis on põhjasubstraati seondunult muutunud keskkonnale suhteliselt ohutuks ^[73]. Kuna kalade erinevad arengujärgud on taashõljustatud setete ja mürkainete suhtes tundlikud, siis võib kaablite merepõhja matmisel olla suur mõju. Vastavaid avamere tuuleparkidega seotud uuringuid aga seni teostatud pole, kuid võib oletada, et mõjud on sarnased olemasolevatele üldistele teadmistele taashõljustatud setetest. Siiski on suuresti teadmata pikaajalised (põlvkondade vahelised) mõjud ^[74].

Kalade erinevatel arengujärgudel on erinev tundlikkus taashõljustatud setete suhtes. Samuti reageerivad erinevad kalaliigid sellele erinevalt, mis tuleneb lõpuste ehituse omapäradest, füsioloogiast või käitumuslikest eripäradest ^[75]. Taashõljustatud sette kahjulik mõju kaladele sõltub osakeste tihedusest, suurus-jaotusest, nurgelisusest, mineraalsest koostisest, absorptsiooni ja adsorptsiooni võimest ning hapniku ja temperatuuri tasemest ^[76]. Üldiselt on nii, et mida suurem on taashõljustatud materjali kontsentratsioon, seda suurem on mõju veeorganismidele. Igasugused abiootilised parameetrid, mis tõstavad kala metabolismi taset, suurendavad ka tundlikkust taashõljustatud materjali suhtes ^[75]. Näiteks oleneb tundlikkus

veetemperatuurist, sest kõrgem veetemperatuur põhjustab tõusu metabolismi tasemes ja see nõuab omakorda kiiremat respiratsiooni. Kõrgem respiratsiooni tase viib aga kõrgema veevooluni üle lõpuste ja sellisel juhul on taashõljustatud settel ka suurem mõju kalale. Kalade marjaterad ja vastsed on taashõljustatud sette mõjude suhtes võrreldes vanemate arengujärgkudega tundlikumad ^[75]. Mida vanem on kala, seda väiksem on taashõljustatud sette mõju kala suremusele. Üldiselt peavad taashõljustatud materjali kontsentratsioonid olema skaalas milligrammi liitri kohta (mg/l), et olla surmavad marjale ja vastsetele. Juveniilsete ja täiskasvanud kalade surmamiseks peab skaala olema grammi liitri kohta (g/l). See aga ei kehti heeringaliste kohta, kes on taashõljustatud sette suhtes tundlikumad ^[75] (vt allpool).

Merepõhja paigaldatavad gravitatsioonvundamendid vähendavad aga ka hoovuste tugevust ning muudavad nende suunda. Tulemuseks on liiva ja savi ümberpaigutumine, mis võib mõjutada eelkõige tobiaid ja lestalisi, kes peidavad end selle kihi sees. Põhjameres asuvas Horns Rev'i avamere tuulepargis uuritigi pargi mõju tobiate arvukusele ja sedimendi struktuurile ^[71]. Leiti, et tobiate asustustihedus hoopiski suurenes tuulepargis ca 300% ning sedimendi struktuur ei muutunud. Tobiater arvukuse tõus oli eelkõige tingitud < 8 cm isendite arvukuse tõusust, mis vihjab sellele, et tuulepargis suurenes tobiater tootmine.

7.1 Mõju marjale

Taashõljustatud sette mõju on suurim pelaagilisele marjale, mille ellujäävus sõltub peaaesjalikult marja võimest püsida veesamba ülemises osas, kus abiootilised parameetrid on arenguks ja ellujäämiseks parimad ^[75]. Kokkupuutel setteosakestega (juhul kui osakesed kleepuvad marjale) muutub mari raskemaks ja vajub sügavamale. Areneva embrüo erikaalu edasine tõus tingib selle, et mari vajub põhja. Kui pelaagiline mari vajub põhja, siis on oodata suurt suremust. Lisaks halbadele hapnikutingimustele võivad pelaagilised marjaterad hukkuda põhjakiskluse või mehaanilise ja füsioloogilise stressi tõttu. Turbulentsete tingimuste korral võivad setteosakesed marjalt uuesti maha kukkuda, mille tulemusena marja erikaal uuesti väheneb. Niisuguste protsesside toimumise ulatus on siiski täpsemalt teadmata. On arvata, et see on sõltuv mitmetest erinevatest faktoritest nagu osakese suurus ja turbulentsi tugevus ^[75].

Rönnbäck ja Westerberg (1996) leidsid, et taashõljustatud sette suurenenud kontsentratsiooni tulemusena suureneb tursal pelaagilise marja erikaal ^[77]. See oli katses peaaegu proportsionaalne taashõljustatud sette hulga ja ka eksponeerimise ajaga. Samuti leidsid nimetatud autorid, et kontsentratsioonidel üle 100 mg/l suurenes tursa marja suremus oluliselt.

Messieh jt (1981) leidsid, et kattes heeringa marja õhukese sette kihiga on tulemuseks suur suremus, aga nad ei suutnud tuvastada ühtegi kahjulikku efekti koorumisele sel juhul, kui taashõljustatud sette kontsentratsioon oli 7000 mg/l ^[78]. Siiski leiti, et madalatel sette kontsentratsioonidel oli vastsete kaal koorumisel suurem. Kiorboe jt (1981) leidsid, et heeringa marja areng ei halvenenud, kui seda eksponeeriti 300 ja 500 mg/l setete kontsentratsioonidele ühe päeva jooksul ^[79]. Pakuti välja, et taashõljustatud sette suurenenud kontsentratsiooni kahjulik mõju ilmneb, kui hapniku tase on langenud. Seda aga juhtub tihti siis, kui merepõhjast vabastatakse orgaanilist ainet ja muid redutseerivaid ühendeid.

Taashõljustatud sette mõju põhjas olevale marjale on samuti tähtis. Newcombe ja MacDonald (1991) leidsid, et vikerforelli marjal, mida hoiti 6 päeva 1000-2500 mg/l kontsentratsiooniga settes, oli suremus 100% ^[80]. Peale pikaajalist eksponeerimist (163 päeva) kontsentratsioonil 97-110 mg/l oli keta marja suremus 77-90 %.

7.2 Mõju vastsetele

Kalade vastsed on taashõljustatud sette suhtes palju tundlikumad kui mari ^[75]. Hõljumi kõrge kontsentratsioon võib kaasa tuua nii kahjulikke kui lausa surmavaid mõjusid. Paljudel kalaliikidel on toidu otsinguks vajalik nägemine. Zooplanktonist toitumise eas (vastseeas) on see nii kõigil kaladel. Liikide nagu Euroopa anšoovise (*Engraulis engrasicholus*), atlandi merilesta (*Pleuronectes platessa*), hariliku kammelja (*Psetta maxima*), hariliku merikeele (*Solea solea*) ja tursa vastsed märkavad oma saaki vaid mõne millimeetri kauguselt (tavaliselt vähem kui üks kehapikkus) ^[81]. Kui vesi muutub turbulentsi tulemusena sogasemaks, siis vastsete toidu tuvastamise kaugus väheneb. Samuti võivad peened setteosakesed kinnituda lõpustele ja põhjustada kala lämbumist ^[82].

Johnston ja Wildish (1982) uurisid taashõljustatud sette kõrgeenenud kontsentratsiooni mõju heeringa vastsete toitumisvajadusele ^[83]. Leiti, et heeringa vastsed tarbisid kontsentratsioonil 20 mg/l märkimisväärselt vähem toiduobjekte. Oletati, et seda põhjustas väiksem valguse intensiivsus ja saagi nähtavus. Autorid leidsid veel, et väiksemad vastsed olid rohkem mõjutatud kui suuremad. Newcombe ja MacDonald (1991) leidsid, et madalad (25 mg/l) taashõljustatud sette kontsentratsioonid mõjutasid 24 tunnise eksponeerimise korral Arktika harjuse (*Thymallus arcticus*) vastsete suremust minimaalselt (6 %) ^[80]. Seevastu kontsentratsioon 230 mg/l, milles hoiti kalu 4 päeva, põhjustas 47 %-lise suremuse. Üldiselt peavadki vastsete hukkumiseks esinema suuremad taashõljustatud sette kontsentratsioonid.

Hanssoni (1995) ülevaatest selgub, et vastsete suremus suureneb, kui taashõljustatud sette kontsentratsioon on $>100 \text{ mg/l}$ ^[84].

7.3 Mõju juveniilsetele ja täiskasvanud kaladele

Juveniilsete ja täiskasvanud kalade puhul võib taashõljustatud sete põhjustada nii kõrge hõljumi kontsentratsiooniga piirkonna vältimist kui ka surma ^[75]. Üldiselt peavad kontsentratsioonid vältimise jaoks olema skaalas milligrammi liitri kohta (mg/l). Surmamiseks peavad kontsentratsioonid olema skaalas grammi liitri kohta (g/l). Nagu juba eelpool mainitud, ei kehti see heeringaliste kohta, kes on taashõljustatud sette suhtes tundlikumad ^[75]. Vältimine ja surm sõltub suurel määral kalaliigist. Üldiselt võib öelda, et põhjakalad on taashõljustatud sette suhtes tolerantsemad, kui seda on pelaagilised liigid ^[75].

Vees sisalduvad väikesed setteosakesed võivad kinni katta kala lõpuste epiteeli, mille tulemusena halveneb hapniku omastamine veest. Lõpuse liistak võib kinni püüda suuremad setteosakesed ja blokeerida nii vee läbipääsu, mis viib omakorda hapniku otsalõppemiseni vereringes ^[85]. Juveniilsed kalad on tahke sette suhtes tundlikumad, kui seda on täiskasvanud kalad ^[75]. Kala kasvades suurenevad lõpuste mõõtmed ja seeläbi kaavad lõpustes, mistõttu pääsevad suuremad setteosakesed välja. Lisaks on väiksematel kaladel kõrgem metabolismi tase. Näiteks vajavad väiksemad kalad ühe kehakaalu ühiku kohta rohkem hapnikku ja seega ei talu nad ka samasugust lõpuse ummistuse intensiivsust ^[86]. Heeringalised on planktontoidulised ja nende lõpusekaared on kohastunud väikeste objektide kinnipidamiseks. Seetõttu ummistuvad heeringaliste lõpused setetega kergemini ja nad on selle suhtes ka tundlikumad ^[75].

Messieh jt. (1981) leidsid, et juveniilsetel heeringatel esines märkimisväärne vältimiskäitumine sette kontsentratsioonidel üle 12 mg/l ja arvati, et mõningane vältimine tekib ka täiskasvanud heeringatel ^[78]. Johnston ja Wildish (1981) leidsidki, et täiskasvanud heeringad vältisid piirkonda, mille taashõljustatud sette kontsentratsioon oli üle 10 mg/l ^[87]. Täiskasvanud lõhelistel ilmneb kontsentratsioonidel üle 100 mg/l vältimisreaktsioon aga juba peale esimest tundi ^[80]. Wildish ja Power (1985) näitasid, et täiskasvanud tint (*Osmerus mordax*) väldib taashõljustatud setet kontsentratsioonidel üle 22 mg/l ^[88]. Westerberg jt. (1996) uurisid laboritingimustes taashõljustatud setete mõju tursale ja heeringale ning tuvastasid kontsentratsioonil 3 mg/l osalise vältimisreaktsiooni. Täielik vältimisreaktsioon tuvastati taashõljustatud sette kontsentratsioonidel $6\text{--}8 \text{ mg/l}$ ^[89].

Newcombe ja MacDonald (1991) leidsid, et juveniilsed lõhelised hukkuvad, kui nad puutuvad nelja päeva jooksul kokku settega, mille kontsentratsioon on vahemikus 1- 49 g/l ^[80]. Atlandi merilest, keda hoiti savisettelisel kontsentratsioonil 3000 mg/l, püsis elus 14 päeva ^[75, 90].

Modelleerimise abil on hinnatud, et 72 gravitatsioonvundamendi paigaldamisel liivasele/savisele põhjale taashõljustatakse kokku 4000 m³ setteid ^[75]. Samas leiti, et taashõljustatud sette kontsentratsioon on kõrgem kui 15 mg/l vaid kaevamiskoha läheduses ning sedagi kümnel protsendil ehitamise perioodist. See tähendab, et mõningast efekti marjale ja vastsetele on oodata ehitusala vahetus läheduses. Antud kogus setteid ei ole aga piisav, et põhjustada juveniilsete ja täiskasvanud kalade surma. On aga ootuspärane, et ehitustegevuse (mille hulka kuulub ka setete vabastamine põhjast) tulemusena tekib kaladel stress, mis omakorda kutsub esile selle piirkonna vältimist.

8 Süntees ja kokkuvõte

Tuleb tõdeda, et võrreldes 2008. aastaga, mil käesoleva töö autor kaitses samal teemal oma bakalaureusetööd, pole olnud suurt edasiminekut meie teadmistes avamere tuuleparkide mõjust kalastikule. Avamere tuuleparkide kumulatiivne installeeritud võimsus Euroopas on selle 12 aastaga aga kasvanud 11 korda ^[91]. Juurde on küll tulnud uuringuid, mis on seiranud kalakoosluste liigilise mitmekesisuse ja arvukuse muutusi tuuleparkides, kuid tehniliselt keerulisemate müra ja elektromagnetväljade mõju-uuringuid on lisandunud väga vähe. Jätkuvalt avaldatakse uuringuid ja kirjanduse ülevaateid, mis lõppevad tõdemusega, et avamere tuuleparkide tekitatud müra ja/või elektromagnetväljade mõju kaladele ei ole võimalik piisavalt põhjalikult uurida, sest puuduvad vajalikud baasteadmised sellest, kas ja kuidas täpselt erinevad kalaliigid neid üldse tajuvad. Seega kui avamere tuuleparkide arendus on liikunud kiiresti (ja liigub tulevikus veel kiiremini), siis avamere tuuleparkide kalastikule avalduvate mõjude uurimine on jäänud arendusest kaugemale maha. Samas rohepööre ei oota ja riiklike keskkonna- ja energiaeesmärkide saavutamine on kindlasti väga tähtis. Iseküsimus on, mis hinnaga see rohepööre saavutatakse. Meeles tuleb aga pidada ka seda, et igasugusel inimtegevusel on keskkonnale väiksem või suurem mõju. Kui inimkonna eesmärgiks on süsinikemissioonide globaalne vähendamine ja taastuvenergia osakaalu suurendamine, siis praeguste teadmiste järgi on avamere tuuleenergia mitmes mõttes üks kõige optimaalsem ja keskkonnasäästlikum lahendus.

Avamere tuuleparkide mõju kalastikule on konkurentsilt kõige rohkem uuritud seirates liigilise mitmekesisuse ja arvukuse muutusi tuulepargi alla jääval merealal enne ja pärast ehitustöid. Suur enamus selliseid töid on järeldanud, et avamere tuuleparkidel puudub kindlasti ilmselge negatiivne mõju. Teatud olukordades võib ilmned hoopiski positiivne mõju kalade arvukusele, sest tuulikute vundamentide ja tornide näol lisatakse merepõhja kõva substraati, millel on tihti kalu koondav ja/või produktsiooni suurendav lokaalne mõju. Seega teatud juhtudel võib (tänu sessiilsete organismide ja põhjaeluliste kalade arvukuse suurenemisele) kalade liigiline mitmekesisus ja arvukus tuulepargis hoopiski suurened ning konkreetne mereala muutub heaks või varasemast paremaks kalastusalaks, kuna lõppkokkuvõttes koonduvad sinna ka röövkalad. Teisalt oleks see hea võimalus luua juurde hädasti vajaminevaid merekaitsealasid, kuid samas tekitab see tõenäoliselt pahameelt kutseliste kalurite ja harrastuspüüdjate seas, kes seal enam püüda ei saa (juhul kui otsustatakse täieliku püügikeelu kehtestamise kasuks). Siiski on enamik avaldatud uuringuid suhtelised lühiajalised (pikim on 7 aastat pärast ehitustööde lõppu) ning pikaajaliste mõjude kindlaks tegemist takistab ka kalavarude arvukuse looduslik kõikumine aastate vahel jms. Kuid kas negatiivsete mõjude puudumine kalakoosluste struktuuri ja arvukuse tasandil tähendab ka seda, et müra ja elektromagnetväljade negatiivne mõju puudub? Praegusel hetkel on sellele raske üheselt vastata, kuid on võimalik, et kalad harjuvad vähemalt töömüra ja elektromagnetväljade mõjudega ära (tajudes seda kui nõrka monotoonset taustmüra või -elektromagnetvälja), sest nendest tulenev häiring ei ole praeguste teadmiste ja hinnangute järgi piisavalt tugev. Näiteks enamasti eeldame ju vaikimisi, et kalad on harjunud laevatamismüraga ja metsloomad maanteemüraga, kuid tegelikult on seda uurimise keerukuse tõttu väga raske üheselt kinnitada või ümber lükata. Väga valju ehitusmüraga pole aga tõenäoliselt võimalik harjuda ning sel juhul sõltub mõjude ulatus sellest, milliseid müra leevendamise või kalade eemale peletamise võtteid ehitusel kasutatakse.

Eesti rannikumerre planeeritavate avamere tuuleparkide suurimateks potentsiaalselt negatiivseteks mõjudeks kalastikule on praeguste teadmiste järgi tõenäoliselt ehitus- ja demonteerimistööde aegne tegevus. Seda vaatamata sellele, et Eestis planeeritavates tuuleparkides ei plaanita kasutada tornide (vaivundamentide) merepõhja paigaldamiseks puurimist või rammimist, mis on tugeva müra tõttu teadaolevalt kõige ohtlikum tegevus mereelustikule. Kuigi ehitus- ja demonteerimistööd on oma loomult suhteliselt lühiajalised, siis toimub nende tegevuste käigus siiski peale mürataseme suurenemise (nt intensiivistunud laevaliikluse tõttu) ka teisi olulisi keskkonna häiringuid. Nimelt, gravitatsioonvundmentide

paigaldamisel ja elektrikaablite matmisel merepõhja (kui seda ikkagi tehakse) taashõljustatakse merepõhjast palju setteid, mis võivad, lisaks otsestele mõjudele kalade erinevatele arengujärkudele (marjaterade kattumine ja lõpuste ummistumine setteosakestega), vabastada merepõhjast ka mürkaineid. Seega tuleks selliseid töid teostada ajal, mil ei toimu kalade sigimist ning noorjärgud on võimelised piirkonnast lahkuma (nt kesksuvel).

Avamere tuuleparkide ehitamise, töö- ja demonteerimisfaasiga kaasneva müra mõju kaladele on suuresti teadmata. Kindel on see, et ehitusmüra on kõige ohtlikum, kuid Eestisse planeeritavate avamere tuuleparkide puhul pole see nii akuutne tänu gravitatsioonvundamentide plaanitud kasutamisele, mis ei eelda merepõhja puurimist või torni merepõhja rammimist. Tuulikute töömüra on küll enamvähem pidev, kuid (sõltuvalt tuule tugevusest) siiski suhteliselt vaikne võrreldes näiteks laevamüraga. Üldiselt on teadlased hetkel arvamusel, et tuulikute töömüra võib kalu häirida ainult tuulikute vahetus läheduses ning mingisuguseid olulisi negatiivseid mõjusid sellel ei ole. Sõltuvalt kalaliigist ja müra tugevusest kuulevad kalad kindlasti tuulikute töömüra erinevatelt vahemaadelt, kuid praegusel ajal pole andmeid, mis tõestaks selle kahjulikkust.

Avamere tuuleparkide tööfaasiga kaasnevate elektromagnetväljade mõju kaladele on suuresti teadmata. Kalaliigid, kes kasutavad Maa magnetvälja orienteerumiseks ja navigeerimiseks võivad olla mingil määral mõjutatud tehislisest elektromagnetväljadest, mida tekitavad tuuleparkide jms meres paiknevad elektrikaablid. Seda, kas sellel on ka bioloogiliselt oluline mõju, on praegu võimatu öelda. Teadaolevalt nõrgeneb allveekaablitest keskkonda levivate tehislisest elektromagnetväljade tugevus järsult kaablist eemale liikudes ja seetõttu on võimalik, et oluline bioloogiline mõju avaldub vaid siis, kui kalad on kaabli vahetus läheduses. Seega on suuremat mõju oodata põhjakaladele, kuid madalas rannikumeres paiknevad elektrikaablid on tõenäoliselt tajutavad ka pool-pelaagilistele ja pelaagilistele kaladele. Allveekaablite tekitatud elektromagnetväljade mõju on aga tulevikus võimalik veelgi vähendada ja isegi sootuks elimineerida tänu tehnika arengule ja kaabli varjestuse pidevale täiustamisele. Teoreetiliselt on juba praegu võimalik ehitada allveekaableid, mis ei emiteeri väliskeskkonda elektromagnetvälju, kuid hetkel on nende valmistamine veel liiga kulukas. Kuni null-emissiooniga allveekaablite turule tulekuni tuleks aga kaablid võimaluse korral merepõhja matta ja kasutada alalisvoolukaableid.

Läänemere kaladest on avamere tuuleparkide potentsiaalsetele negatiivsetele mõjudele praeguste teadmiste järgi kõige vastuvõtlikumad tõenäoliselt kilu ja eriti räim. Need liigid

kuulevad Läänemere olulistest töönduskaladest kõige paremini ja tõenäoliselt tajuvad tuulikute töömüra isegi kümnete kilomeetrite kauguselt. Lisaks ühtivad avamere tuuleparkide rajamiseks sobivad merealad tihti ka räime koelmutega, mis võib müraallika läheduse tõttu räime kudekoondisi sellistelt koelmutelt eemale peletada. Samas pole veel ühtegi uuringut, mis tõestaks, et räime kudekoondised on kuidagi häiritud avamere tuuleparkidest tulenevast mürast (selliseid uuringuid pole lihtsalt korraldatud). Ka taashõljustatud setete mõjudele on räim ja kilu oma marjaterade eksponeerituse ja planktontoidulise eluviisi tõttu Läänemere kaladest kõige vastuvõtlikumad. Samas taashõljustatud setted tekivad ainult ehitusfaasis (Eestisse planeeritavates tuuleparkides gravitatsioonvundamentide paigaldamisel ja elektrikaablite matmisel merepõhja) ja seega on nende mõju suhteliselt lühiajaline ja välditav näiteks ehitustööde teostamisega kudeaja välisel ajal ja kalu hoiatavate/peletavate seadmete kasutamisega. Arvestades ka, et räim on hetkel Läänemeres masskala, kes koeb paljudel avamere madalikel kui rannikualadel, siis tõenäoliselt ei ole hetkel põhjust räimevarude pärast tuulikuid ehitamata jätta. Loode-Eesti rannikumerre planeeritava avamere tuulepargi keskkonnamõju hindamise käigus läbiviidud kalastikuseire tuvastas, et antud (valdavalt liivapõhjalisel) alal oli selgeks dominantliigiks hoopiski lest^[7]. Kuna praeguste teadmiste järgi on lestalised üks kõige kehvema kuulmisvõimekusega kalarühm, kes on pealegi taashõljustatud setete mõjudele suhteliselt tolerantsed, siis võib siinkohal oletada, et tõenäoliselt ei mõjuta töömüra ja taashõljustatud setted kohaliku lestopopulatsiooni jätkusuutlikkust. Elektromagnetväljade suhtes on Läänemere kaladest tõenäoliselt kõige tundlikumad siirdekalad, kes kasutavad oma rännetel Maa magnetvälja (nt lõhe, meriforell, angerjas, merisiig) leidmaks üles kodujõe suuet (anadroomsed kalad) või navigeerimiseks kindlate merekudealadeni (angerjas, tõenäoliselt ka tuulehaug). Kuid nagu juba mainitud, siis tehislise elektromagnetväljade mõjude kohta on väga vähe teada.

Meeles tuleb pidada aga seda, et täielikult on teadmata avamere tuuleparkide (müra ja elektromagnetväljade) kumulatiivne mõju sellistele kalaliikidele, kes läbivad oma elu jooksul suuri vahemaid toitumis- ja kuderännetel. On tõenäoline, et ühe tuulepargi mõju eraldivõetuna pole oluline, kuid mitme koosmõju juba on. Kuna rannikumerre ja avameremadalikele rajatakse tulevikus üha rohkem avamere tuuleparke ning meres on juba praegu palju inimtekkelist müra ja elektromagnetväljasid, siis on liikuvad kalad kõigele sellele ka rohkem eksponeeritud. Näiteks võib see põhjustada rände katkestamist, aeglustumist või õigest kursist kõrvalekaldumist, millel võib omakorda olla oluline mõju populatsiooni ja/või liigi sigimisedukusele ja arvukusele. See kõik on aga hetkel puhas spekulatsioon, sest selliseid

kumulatiivseid mõju uuringuid hetkel teostatud pole. Isegi ühe tuulepargi sees ei ole teostatud kumulatiivsete mõjude uuringut ning üldjuhul uuritakse ainult ühte või äärmisel juhul kahte võimalikku mõju. Reeglina aga piirduakse vaid kalakoosluse struktuuri ja arvukuse jälgimisega ning tehniliselt keerulisemate müra ja elektromagnetväljade mõjude käsitlemist välditakse või eeldatakse, et nende mõju puudub. Seega arvestades seda, kui palju esineb hetkel teadmatust avamere tuuleparkide mõjude uurimises, tuleks keskkonnamõjude hinnangutes rakendada ettevaatlikkuse printsiipi ja olla pigem konservatiivne müra ja elektromagnetväljade mõjude prognoosimises ^[57] (st täpsete teadmiste puudumisel pigem eeldada, et negatiivsed mõjud esinevad). Samas võib liigne konservatiivsus siinkohal takistada tuuleenergia sektori arengut ning rohepöörde läbiviimist üldiselt. Seega on siinkohal vast sobilikum rakendada järkjärgulise kohanemise printsiipi ^[57] ning jooksvalt uute teadmiste lisandumisel vaadata vajadusel ümber kehtestatud eeskirjad ja soovitused avamere tuuleparkide rajamiseks, opereerimiseks ja demonteerimiseks. Uute asukohapõhiste teadmiste saamiseks tuleks aga Eesti kontekstis kõigepealt esimesed tuulikud merre paigaldada ning nende mõjusid enne-ja-pärast uuringute käigus põhjalikult uurida. Vastasel juhul jääbki kogu mõjuhinnang välismaistel kirjandusallikatel põhinevaks teoreetiliseks lähenduseks.

9 Kirjanduse loetelu

- 1 Agora Energiewende and Sandbag (2020): The European Power Sector in 2019: Up-to-Date Analysis on the Electricity Transition. <https://www.agora-energiewende.de/en/publications/the-european-power-sector-in-2019/>
- 2 <https://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0030:FIN:EN:PDF>
- 3 <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/10335438/8-23012020-AP-EN.pdf/292cf2e5-8870-4525-7ad7-188864ba0c29>
- 4 Annus, M., Lokk, A., Tralla, K., Petrova, O. (2019). Taastuenergia aastaraamat 2018. Eesti Taastuenergia Koda. <http://www.taastuenergeetika.ee/wp-content/uploads/2019/06/ETEK-Taastuenergia-aastaraamat-2018.pdf>
- 5 <https://eurlex.europa.eu/legalcontent/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0773&from=EN>
- 6 <https://www.mkm.ee/et/eesmargid-tegevused/energeetika/eesti-riiklik-energia-ja-kliimakava-aastani-2030>

- 7 Aunapuu, A., Kikas, L., Verš, V., Ehapalu, K., Pajula, R., Rahno, E., Lesta, M., Väizene, V., Kask, A., Suuroja, S., Orviku, K., Martin, G., Vetemaa, M., Lips, U., Liblik, T., Väli, G., Luigujõe, L., Puhkim, H., Oravas, M., Lipping, M. (2019). Loo-de-Eesti rannikumere tuulepargi keskkonnamõju hindamise aruanne. Projekti nr 2013_0056. <https://www.envir.ee/et/loode-est-i-rannikumere-tuulepargi-keskkonnamoju-hindamise-aruan-de-avalik-valjapanek-2019>
- 8 Guichard, F., Bourget, E., Robert, J. (2001). Scaling the influence of topographic heterogeneity on intertidal benthic communities: alternate trajectories mediated by hydrodynamics and shading. *Marine Ecology Progress Series* 217: 27-41.
- 9 Broström, G. (2008). On the influence of large wind farms on the upper ocean circulation. *Journal of Marine Systems* 74: 585–591.
- 10 http://www.vpvb.gov.lv/data/files/VES_EestiEnergy_Igaunija.pdf
- 11 Petersen, J.K. and Malm, T. 2006. Offshore windmill farms : Threats to or possibilities for the marine environment. *Ambio* 35: 75-80.
- 12 Winter, H.V., Aarts, G., van Keeken, O.A. (2010). Residence time and behaviour of sole and cod in the Offshore Wind farm Egmond aan Zee (OWEZ). IJmuiden, NL : NoordzeeWind, IMARES Wageningen UR.
- 13 Leonhard, S.B., Stenber, C., Støttrup, J. (2011). Effect of the Horns Rev 1 Offshore Wind Farm on Fish Communities. Follow-up Seven Years after Construction. DTU Aqua, Orbicon, DHI, NaturFocus. Report commissioned by The Environmental Group through contract with Vattenfall Vindkraft A/S. DTU Aqua-report No 246-2011. National Institute of Aquatic Resources, Technical University of Denmark. 99 p.
- 14 Reubens, J. T., Braeckman, U., Vanaverbeke, J., Van Colen, C., Degraer, S., Vincx, M. (2013). Aggregation at windmill artificial reefs: CPUE of Atlantic cod (*Gadus morhua*) and pouting (*Trisopterus luscus*) at different habitats in the Belgian part of the North Sea. *Fisheries Research* 139: 28-34.
- 15 Bergström, L., Sundqvist, F., Bergström, U. (2013). Effects of an offshore wind farm on temporal and spatial patterns in the demersal fish community. *Marine Ecology Progress Series* 485: 199-210.
- 16 Stenber, C., Støttrup, J. G., van Deurs, M., Berg, C. W., Dinesen, G. E., Mosegaard, H., Grome, T. M., Leonhard, S. B. (2015). Long-term effects of an offshore wind farm in the North Sea on fish communities. *Marine Ecology Progress Series* 528: 257-265.
- 17 Raoux, A., Tecchio, S., Pezy, J.-P., Lassalle, G., Degraer, S., Wilhelmsson, D., Cachera, M., Ernande, B., Le Guen, C., Haraldsson, M., Grangeré, K., Le Loc'h, F., Dauvin, J.-C., Niquil, N. (2017). Benthic and fish aggregation inside an offshore wind farm: Which effects on the trophic web functioning? *Ecological Indicators* 72: 33-46.
- 18 Brickhill, M. J., Lee, S. Y., Connolly, R. M. (2005). Fishes associated with artificial reefs: attributing changes to attraction or production using novel approaches. *Journal of Fish Biology* 67(Suppl. B): 53–71.

- 19 Fayram, A.H., Risi, A. (2007). The potential compatibility of offshore wind power and fisheries: An example using bluefin tuna in the Adriatic Sea. *Ocean & Coastal Management* 50: 597–605.
- 20 Wilhelmson, D., Malm, T., Öhman, M.C. (2006). The influence of offshore windpower on demersal fish. *ICES Journal of Marine Science* 63: 775-784.
- 21 Valdemarsen, J.W. (1979). Behaviour aspects of fish in relation to oil platforms in the North Sea. *ICES C.M.*, B:27.
- 22 Cripps, S.J., Aabel, J.P. (1995). DPI. Fish survey using R.O.V. data. RF-Rogaland Research Report No. RF-95/301. Stavanger, Norway. 12 pp.
- 23 Lindeboom, H.J.; Kouwenhoven, H.J.; Bergman, M.J.N.; Bouma, S.; Brasseur, S.; Daan, R.; Fijn, R.C.; de Haan, D.; Dirksen, S.; van Hal, R.; Lambers, R.H.R.; ter Hofstede, R.; Krijgsveld, K.L.; Leopold, M.; Scheidat, M. (2011). Short-term ecological effects of an offshore wind farm in the Dutch coastal zone; a compilation. *Environ. Res. Lett.* 2011, 6, s. 1-13.
- 24 Bergström, L., Kautsky, L., Malm, T., Ohlsson, H., Wahlberg, M., Rosenberg, R., Åstrand Capetillo, N. (2012). The effects of wind power on marine life. A Synthesis. Report 6512.
https://www.su.se/polopoly_fs/1.120458.1358860002!/menu/standard/file/Effects%20of%20wind%20power%20on%20marine%20life.pdf
- 25 Andersson, M.H. (2011). Offshore wind farms – ecological effects of noise and habitat alteration on fish. Doktoritöö. Stockholmi Ülikool. 48 pp.
- 26 Mustonen, M., Klauson, A., Andersson, M., Clorennec, D., Folegot, T., Koza, R., Pajala, J., Persson, L., Tegowski, J., Tougaard, J., Wahlberg, M., Sigray, P. (2019). Spatial and Temporal Variability of Ambient Underwater Sound in the Baltic Sea. *Scientific Reports* 9: 13237.
- 27 Popper, A. N., Hawkins, A. D. (2018). The importance of particle motion to fishes and invertebrates. *The Journal of the Acoustical Society of America* 143: 470-488.
- 28 Fay, R.R., Popper, A.N. (1999). Hearing in Fishes and Amphibians: An Introduction. In: Fay, R.R. and Popper, A.N. (eds.). *Comparative Hearing: Fish and Amphibians*. Elsevier, 1-14.
- 29 Popper, A. N., Hawkins, A. D. (2019). An overview of fish bioacoustics and the impacts of anthropogenic sounds on fishes. *Journal of Fish Biology* 94: 692-713.
- 30 Popper, A.N., Fay, R.R., Platt, C., Sand, O. (2003). Sound Detection Mechanisms and Capabilities of Teleost Fishes. In: Collin, S.P. and Marshall N.J. *Sensory Processing in Aquatic Environments*. Springer New York, 3-38.
- 31 Yan, H.Y. (1998). Auditory role of the suprabranchial chamber in gourami fish. *Journal of Comparative Physiology* 186: 435-445.
- 32 Karlsen, H.E. (1992). Infrasound sensitivity in the plaice (*Pleuronectes platessa*). *Journal of Experimental Biology* 171: 173-187.

- 33 Knudsen, F.R., Schreck, C.B., Knapp, S.M., Enger, P.S., Sand, O. (1997). Infrasound produces flight and avoidance response in Pacific juvenile salmonids. *Journal of Fish Biology* 51: 824-829.
- 34 Mann, D. A., Lu, Z., Popper, A. N. (1997). A clupeid fish can detect ultrasound. *Nature* 389: 341.
- 35 Popper, A.N., Plachta, D.T.T., Mann, D.A., Higgs, D. (2004). Response of clupeid fish to ultrasound: a review. *ICES Journal of Marine Science* 61: 1057-1061.
- 36 Degn, U. (2000). Offshore Wind Turbines VVM (EIA), Underwater Noise Measurements Analysis and Predictions", Tech. Rep. 00.792 rev. 1, Rep. to: SEAS Distribution A.m.b.A., Slagterivej 25, 4690 Haslev, Danmark. 88 pp.
- 37 Richardson, W.J., Greene, C.R.G. jr., Malme, C.I., Thomson, D.H. (1995). *Marine Mammals and Noise*. Academic Press, San Diego.
- 38 Chapman, C.J., Sand, O. (1974). Field studies of hearing in two species of flatfish *Pleuronectes platessa* (L.) and *Limanda limanda* (L.) (Family Pleuronectidae). *Comparative Biochemistry and Physiology* 47A: 371-385. (Ref. Thomsen jt. 2006).
- 39 Thomsen, F., Lüdemann, K., Kafemann, R. and Piper, W. 2006. Effects of offshore wind farm noise on marine mammals and fish, biola, Hamburg, Germany on behalf of COWRIE Ltd. 62 pp.
- 40 Hawkins, A.D., Johnstone, A.D.F. (1978). The hearing of the Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of Fish Biology* 13: 655-673. (Ref. Thomsen jt. 2006).
- 41 Chapman, C.J., Hawkins, A.D. (1973). A field study of hearing in cod, *Gadus morhua*. *Journal of Comparative Physiology* 85: 147-167. (Ref. Thomsen *et al.* 2006).
- 42 Buwalda, R.J.A., Schuijf, A., Hawkins, A. D. (1983). Discrimination by the cod of sounds from opposing directions. *Journal of Comparative Physiology* 150: 175-184.
- 43 Schuijf, A., Hawkins, A.D. (1983). Acoustic distance discrimination by the cod. *Nature* 302: 143-144.
- 44 Popper, A.N., Fewtrell, J., Smith, M.E. and McCauley, R.D. (2004). Anthropogenic sound: Effects on the behavior and physiology of fishes. *Marine Technology Society Journal* 37: 35-40.
- 45 Enger, P.S. (1967). Hearing in Herring. *Comp. Biochem. Physiol.* 22, 527-538.
- 46 Mann, D.A, Popper, A.N. and Wilson, B. 2005. Pacific herring hearing does not include ultrasound. *Biology Letters*. 1, 158-161.
- 47 Nedwell, J.R., Howell, D. (2004). A review of offshore windfarm related underwater noise sources. COWRI report No. 544 R 0308. 57 pp.
- 48 Madsen, P.T., Wahlberg, M., Tougaard, J., Lucke, K., Tyack, P. (2006). Wind turbine underwater noise and marine mammals: implications of current knowledge and data needs. *Marine Ecology Progress Series* 309: 279-295.

- 49 Rambøll. 2014. Smålandsfarvandet offshore wind farm underwater noise. Report. https://naturstyrelsen.dk/media/162580/underwater-noise_smaalandsfarvandet.pdf
- 50 Hoffmann, E., Astrup, J., Larsen, F., Munch-Petersen, S. (2000). Effects of marine windfarms on the distribution of fish, shellfish and marine mammals in the Horns Rev area. Baggrundsrapport nr. 24. 42 pp.
- 51 Nedwell, J. R., Langworthy, J., Howell, D. (2003). Assessment of sub-sea acoustic noise and vibration from offshore wind turbines and its impact on marine wildlife; initial measurements of underwater noise during construction of offshore windfarms, and comparison with background noise. COWRIE report No. 544 R 0424. 68 pp.
- 52 Herbert-Read, J. E., Kremer, L., Brintjes, R., Radford, A. N., Ioannou, C. C. (2017). Anthropogenic noise pollution from pile-driving disrupts the structure and dynamics of fish shoals. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 284: 20171627.
- 53 HDR. (2019). Field Observations during Wind Turbine Operations at the Block Island Wind Farm, Rhode Island. Final Report to the U.S. Department of the Interior, Bureau of Ocean Energy Management, Office of Renewable Energy Programs. OCS Study BOEM 2019-028. 281pp. https://espis.boem.gov/final%20reports/BOEM_2019-028.pdf
- 54 Ingemansson AB (2003) Utgrunden off-shore wind farm— measurements of underwater noise. Rep 11-00329- 03012700. Ingemansson Technology A/S, Göteborg
- 55 Pangerc, T., Theobald, P. D., Wang, L. S., Robinson, S. P., Lepper, P. A. (2016). Measurement and characterisation of radiated underwater sound from a 3.6 MW monopile wind turbine. *The Journal of the Acoustical Society of America* 140: 2913–2922.
- 56 Wahlberg, M., Westerberg, H. (2005). Hearing in fish and their reactions to sounds from offshore wind farms. *Marine Ecology Progress Series* 288: 295-309.
- 57 Gill, A. B., Bartlett, M., Thomsen, F. (2012). Potential interactions between diadromous fishes of U.K. conservation importance and the electromagnetic fields and subsea noise from marine renewable energy developments. *Journal of Fish Biology* 81: 664-695.
- 58 Wang, W. (2019). Significance of offshore wind farm sound on marine populations. Magistratö. Norwegian University of Science and Technology. 95 pp.
- 59 Sand, O., Enger, P.S., Karlsen, H.E., Knudsen, F.R. (2001). Detection of infrasound in fish and behavioral responses to intense infrasound in juvenile salmonids and European silver eels: a mini review. *American Fish Society Symposia* 26: 183–193.
- 60 Taormina, B., Bald, J., Want, A., Thouzeau, G., Lejart, M., Desroy, N., Carlier, A. (2018). A review of potential impacts of submarine power cables on the marine environment: Knowledge gaps, recommendations and future directions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 96: 380-391.

- 61 Bochert R, Zettler ML. Effect of electromagnetic fields on marine organisms geomagnetic field detection in marine organisms. *Offshore Wind Energy Res Environ Impacts* 2006: 223–34.
- 62 Normandeau Associates Inc., Exponent Inc., Tricas T, Gill A. Effects of EMFs from undersea power cables on elasmobranchs and other marine species; 2011.
- 63 Walker, M.M., Diebel, C.E., Haugh, C.V., Pankhurst, P.M., Montgomery, J.C., Green, C.R. (1997). Structure and function of the vertebrate magnetic sense. *Nature* 390: 371-376.
- 64 Formicki, K., Tanski, A., Sadowski, M., Winnicki, A. (2004). Effects of magnetic fields on fyke net performance. *Journal of Applied Ichthyology* 20: 402–406.
- 65 Durif, C. M. F., Browman, H. I., Phillips, J. B., Skiftesvik, A. B., Vøllestad, L. A., Stockhausen, H. H. (2013). Magnetic Compass Orientation in the European Eel. *PLoS ONE* 8: e59212.
- 66 Naisbett-Jones, L. C., Putman, N. F., Stephenson, J. F., Ladak, S., Young, K. A. (2017). A Magnetic Map Leads Juvenile European Eels to the Gulf Stream. *Current Biology* 27: 1236-1240.
- 67 Cresci, A., Durif, C. M., Paris, C. B., Shema, S. D., Skiftesvik, A. B., Browman, H. I. (2019). Glass eels (*Anguilla anguilla*) imprint the magnetic direction of tidal currents from their juvenile estuaries. *Communications Biology* 2: 366.
- 68 Westerberg, M. 1994. Fiskeriundersökningar vid havsbaserat vindkraftverk 1990-1993. Rapport 5 – 1994 Jönköping: Göteborgsfilialen, Utredningskontoret I Jönköping, Sweden National Board of Fisheries. 44 pp.
- 69 Westerberg, H. and Begout-Anras, M.L. 2000. Orientation of silver eel (*Anguilla anguilla*) in a disturbed geomagnetic field. In: *Advances in Fish Telemetry. Proceedings of Thirty Conference on Fish Telemetry*. Moore, A. and Russel, I. (eds). Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science, Lowestoft. 149-158 pp.
- 70 Westerberg, H., Lagenfelt, I. (2008). Sub-sea power cables and the migration behaviour of the European eel. *Fisheries Management and Ecology* 15: 369-375.
- 71 Anonüümne. 2006. Danish Offshore Wind - Key Environmental Issues. Published by DONG Energy, Vattenfall, The Danish Energy Authority and The Danish Forest and Nature Agency. 143 pp.
- 72 Öhman, M. C., Sigra, P. and Westerberg, H. (2007). Offshore Windmills and the Effects of Electromagnetic Fields on Fish. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 36: 630-633.
- 73 Anonüümne. (2001). Middelgrunden Wind Turbine Co-operative. 2001. Environmental Impact Assessment of the wind farm at the Middelgrunden Shoal, Non-technical Summary of the Environmental Impacts Assessment. 8 pp.
- 74 Kjelland, M. E., Woodley, C. M., Swannack, T. M., Smith, D. L. (2015). A review of the potential effects of suspended sediment on fishes: potential dredging-related

- physiological, behavioral, and transgenerational implications. *Environment Systems and Decisions* 35: 334-350.
- 75 Engell-Sørensen, K., Skyt, P.H. (2001). Evaluation of the Effect of Sediment Spill from Offshore Wind Farm Construction on Marine Fish. Bio/consult as, Johs. Ewaldsvej 42-44, DK-8230 Åbyhøj. 18 pp.
 - 76 Hygum, B. (1993). Miljøpåvirkninger ved ral- og sandsugning. Et litteraturstudie om de biologiske effekter af råstofindvinding i havet. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU, nr. 81. 68 pp.
 - 77 Rönback, P., Westerberg, H. (1996). Sedimenteffekter på pelagiska fiskägg och gulesäckslarver. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet, Frölunda, Sweden. 15 pp.
 - 78 Messieh, S.N., Wildish, S.N., Peterson, R.H. (1981). Possible impact of sediment from dredging and spil disposal on the Miramichi Bay herring fishery. Canadian Technical Report of Fishery and Aquatic Science. 1008, 1-37.
 - 79 Kioerboe, T., Frantsen, E., Jensen, C., Nohr, O. (1981). Effects of suspended-sediment on development and hatching of herring (*Clupea harengus*) eggs. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 13: 107-111.
 - 80 Newcombe, C.P., MacDonald, D.D. (1991). Effects of suspended sediments on aquatic ecosystems. *North American Journal of Fisheries Management* 11: 72-82.
 - 81 Bone, Q., Marshall, N.B., Blaxter, J.H.S. (1995). *Biology of fish*. Second edition. Blackie Academic & Professional, London.
 - 82 Groot, S.J. De. (1980). The consequences of marine gravel extraction on the spawning of herring, *Clupea harengus* Linné. *Journal of Fish Biology* 16: 605-611.
 - 83 Johnston, D.D., Wildish, D.J. (1982). Effect of suspended sediment on feeding by larval herring (*Clupea harengus harengus* L.). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 29: 261-267.
 - 84 Hansson, S. (1995). En litteraturgenomgång av effekter på fisk av muddring och tippning, samt erfarenheter från ett provfiske inför Stålverk 80. Tema Nord, no. 513, 73-84.
 - 85 DOER. (2000). Assessment of potential impacts of dredging operations due to sediment resuspension. Dredging Operations and Environmental Research Program, Technical note: ERDC TN-DOER-E9, May 2000, p. 1-14.
 - 86 Moore, P.G. (1991). Inorganic particulate suspensions in the sea and their effects on marine animals. *Oceanographics and Marine Biology, Annual Review* 15: 225-363.
 - 87 Johnston, D.W., Wildish, D.J. (1981). Avoidance of dredge spoil by herring (*Clupea harengus harengus*). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 26: 307-314.
 - 88 Wildish, D.J., Power, J. (1985). Avoidance of suspended sediments by Smelt as determined by a new "single fish" behavioural bioassay. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 34: 770-774.

- 89 Westerberg, H., Rönnbäck, P., Frimansson, H. (1996). Effects of suspended sediment on cod egg and larvae and the behaviour of adult herring and cod. ICES Marine Environmental Quality Committee, CM 1996/E:26. 13 pp.
- 90 Newton, A.J. (1973). Ph.D thesis, University of Leeds, U. K., 370 pp. (Ref. Engell-Sørensen & Skyt 2001).
- 91 Wind energy in Europe in 2019. Trends and statistics Published in February 2020. <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2019.pdf>