

Ihmisen aiheuttaman melun vaikutukset merinisäkkäisiin

Nea Matinlauri

LuK-tutkielma
Biologian tutkinto-ohjelma
Oulun yliopisto
Syyskuu 2023

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
1. Johdanto.....	4
2. Äänen eteneminen meressä	5
3. Melusaasteen lähteet	5
3.1 Luonnollinen melu	6
3.2 Ihmisten aiheuttama melusaaste.....	6
4. Melusaasteen vaikutukset merinisäkkäisiin	7
4.1 Kommunikaation häiriöt ja peiteäänät	7
4.2 Käyttäytymisen muutokset.....	9
4.2.1 Liikkumisen häiriöt	10
4.2.2 Ruoanhakutehokkuus ja energiavaje.....	11
4.3 Stressi ja terveysvaikutukset	12
4.4 Kuulovauriot	14
4.5 Muut fyysiset vammat.....	15
5. Pohdinta ja johtopäätökset	16

Tiivistelmä

Yhä useammat lajit ympäri maailmaa ovat alttiina ihmisen aiheuttamille ympäristömuutoksille, jotka voivat vaikuttaa haitallisesti niiden populaatioiden ja lajien selviämiseen. Yksi näistä huolestuttavista ympäristömuutoksista on ääniympäristön muuttuminen ihmisen aiheuttaman melusaasteen seurauksena. Maailman terveysjärjestön mukaan melusaaste on noussut yhdeksi vaarallisimmista saasteen muodoista ja se on levinnyt laajasti sekä maalla että vesillä. Merinisäkkäät ovat äärimmäisen riippuvaisia äänestä pääasiallisena aistinaan. Ääni leviää erittäin tehokkaasti veden alla, joten potentiaalinen melun vaikutusalue voi olla tuhansia neliökilometrejä tai enemmän.

Melusaasteella tarkoitetaan kaikkia ei-toivottuja ääniä, jotka häiritsevät ympäristöä ja sen eliölajeja. Vesiympäristöissä tämä saaste voi syntyä tarkoituksellisesti esimerkiksi seismisen tutkimuksen, häirintälaitteiden, kaikuluotaimien ja muiden sotilaallisten sovellusten käytön seurauksena. Lisäksi melua syntyy tahattomasti teollisuuden, laivaliikenteen ja vapaa-ajan veneilyn sivutuotteena.

Melusaasteen vaikutukset meriympäristöihin ja niiden asukkaisiin ovat moninaiset. Se voi aiheuttaa merinisäkkäille kuulovaurioita, muuttaa niiden käyttäytymistä ja aiheuttaa stressireaktioita. Melu voi myös peittää alleen tärkeitä akustisia viestejä, joita monet lajit käyttävät kommunikointiin ja saalistukseen. Näiden vaikutusten laajuus ja vakavuus riippuvat usein melun voimakkuudesta, kestosta ja etäisyydestä melun lähteestä, ja ne voivat vaihdella lievistä ja lyhytkestoisista muutoksista suuriin käyttäytymis- ja fysiologisiin muutoksiin, jotka voivat uhata populaatioiden pysyvyyttä. Tämä kehitys korostaa tarvetta ymmärtää paremmin äänen vaikutukset meriympäristöön ja sen asukkaisiin sekä pyrkiä löytämään keinoja melusaasteen vähentämiseksi ja hallitsemiseksi.

Lisääntymisen ongelmat, pitkäaikaisvaikutukset ja melunhallinta ovat esimerkkejä tärkeistä tulevaisuuden tutkimuskohteista, joista tarvitaan enemmän tietoa merieläinten suojelun tehostamiseksi. Ymmärtämällä näitä kysymyksiä paremmin voimme kehittää tehokkaampia suojelutoimenpiteitä merinisäkkäille ja niiden elinympäristölle sekä edistää kestäväää suhdetta ihmisen ja meriluonnon välillä. Meriympäristön suojeleminen ja äänen vaikutusten huomioiminen ovat tärkeitä askelia kohti terveempää ja kestävämpää valtamerien ekosysteemiä.

1. Johdanto

Jokainen meistä on tietoinen ilmastonmuutoksesta ja ilmansaasteista, mutta melusaaste - uusi saastumisen muoto - saattaa jäädä vähemmälle huomiolle. Vaikka uudet innovaatiot ja teknologiset edistysaskeleet ovat parantaneet ihmisten elämänlaatua ja mahdollistaneet tehokkaamman meriliikenteen yhteistyön muiden maiden kanssa, niillä on myös ollut varjopuolensa. Meriliikenteen sekä muiden melulähteiden lisääntyessä myös ylimääräiset äänet ovat lisääntyneet, mikä vaikuttaa negatiivisesti meriekosysteemeihin (Chahouri ym., 2022). Merinisäkkäät eli valaat, delfiinit, hylkeet, merileijonat ja merilehmät käyttävät ääntä sekä aktiivisesti että passiivisesti kommunikointiin ja ympäristön havainnointiin (Erbe ym., 2018). Merieläimet kohtaavat vaikeuksia käyttäessään näköaistiaan syvissä vesissä, joissa näkyvyys on heikko. Sen sijaan ne luottavat kuuloon, joka onkin elintärkeä merinisäkkäille (Kikuchi, 2003). Niiden äänialue ulottuu muutamista hertseistä yli 100 kilohertsiin (Erbe ym., 2018).

Yhä useammat lajit kokevat tällä hetkellä ihmisten aiheuttamia ympäristömuutoksia, jotka voivat vaikuttaa negatiivisesti populaatioiden ja lajien selviämiseen. Maailman terveysjärjestön mukaan ihmisen aiheuttama melu on yksi vaarallisimmista saastumisen muodoista ja se on tullut yleiseksi niin maanpäällä kuin vesiympäristöissäkin (Kunc ym., 2016). Meluksi määritellään kaikki ei-toivottu tai häiritsevä ääni. Vesiympäristöissä melua syntyy tarkoituksellisesti esimerkiksi seismisistä tutkimuksista, häirintälaitteista, kaikuluotaimista, ja tahattomasti laivaliikenteen sekä vapaa-ajan veneilyn sivutuotteena (Kunc ym., 2016). Vedenalainen melu voi häiritä merinisäkkäiden keskeisiä elintoimintoja, kuten ravinnonhankintaa, lepoa, liikkumista sekä lisääntymistä, peittämällä akustisia signaaleja, aiheuttamalla fysiologista stressiä, heikentämällä kuuloa sekä aiheuttamalla käyttäytymisvasteita (Erbe, Dunlop, ym., 2018). Koska valtameret ovat luonnostaan meluisia ympäristöjä, uskotaan sopeutumisen antropogeeniseen meluun olevan jollain tapaa mahdollista (Kikuchi, 2003). Tästä ei kuitenkaan ole todisteita. Luonnolliset melulähteet ovat evoluution myötä opittuja äänilähteitä, kun taas antropogeeninen vedenalainen melu on suhteellisen uusi lisäys meriympäristöön (Kikuchi, 2003).

Tutkimusaiheena melusaaste on suhteellisen tuore ja tutkimuksia sen vaikutuksista merinisäkkäisiin tarvitaan lisää. Vaikka muutamat asiakirjat merinisäkkäiden äänen tuotannosta ja vastaanotosta ulottuvat 200 vuoden taakse, huoli ihmisen aiheuttaman melun vaikutuksista merinisäkkäisiin on dokumentoitu vasta 1970-luvulta lähtien (Erbe, Dunlop, ym., 2018). Viime vuosikymmeninä on tullut yhä selvemmäksi, että ihmistoiminnasta peräisin oleva ääni voi vaikuttaa sekä eläinten että ihmisten

terveyteen ja hyvinvointiin (Kikuchi, 2003). Lisäksi tietoisuus antropogeenisen äänen esiintymisestä vesiympäristöissä on kasvanut ja tätä kautta myös huoli siitä, että nämä äänet voisivat vaikuttaa vesieliöihin (National Research Council, 2003).

Tutkielmani keskittyy ihmistoiminnan aiheuttamaan melusaasteeseen ja miten se vaikuttaa merinisäkkäisiin. Tavoitteena on selvittää kirjallisuuden avulla, miten melu vaikuttaa merinisäkkäslajien kommunikaatioon, käyttäytymiseen, terveyteen ja stressiin. Käsittelen myös melusaasteen aiheuttamia kuulovaurioita, fyysisiä vammoja ja lisääntymistä. On tärkeää tietää melusaasteen vaikutuksista merinisäkkäisiin, jotta sitä voidaan pyrkiä vähentämään ja siten suojelemaan näitä herkkiä eläimiä ja niiden elinympäristöä. Tämä tieto auttaa meitä tekemään parempia päätöksiä meriympäristön hoidon ja suojelun suhteen.

2. Äänen eteneminen meressä

Äänen ominaisuuksien tunteminen on olennaista, jotta sen vaikutuksia merinisäkkäisiin pystytään ymmärtämään. Vedessä on korkea molekyylitiheys, mikä tekee siitä erittäin hyvin ääntä johtavan aineen. Ääni etenee vedessä noin 1500 metriä sekunnissa, mikä on viisi kertaa nopeammin kuin ilmassa (Slabbekoorn ym., 2010). Lisäksi ääni kantaa vedessä paljon pidemmälle kuin ilmassa. Sen seurauksena ääni pystyy kulkeutumaan hyvin kauas lähteestään (Finfer ym., 2008). Tämä ominaisuus mahdollistaa merieläinten pitkän matkan kommunikoinnin, ja lajit kykenevät kuulemaan melun hyvinkin kauas.

On huomattava, että äänen ominaisuudet voivat vaihdella taajuuden mukaan. Korkeataajuiset äänet vaimenevat vedessä nopeasti ja kulkeutuvat suhteellisen lyhyen matkan, kun taas matalataajuiset äänet voivat kulkeutua vedessä huomattavasti pidemmälle. Parhaimmillaan matalataajuiset äänet voivat levitä yli 1000 kilometrin päähän alkuperäisestä lähteestään (Wilcock ym., 2014). On myös tärkeää huomioida, että meriveden ominaisuudet, kuten lämpötila, paine ja suolapitoisuus, voivat vaikuttaa merkittävästi äänen etenemisnopeuteen merivedessä. Tämä tarkoittaa, että äänen kulkusuunta meressä voi muuttua johtuen meriveden ominaisuuksien vaihteluista (Peng ym., 2015).

3. Melusaasteen lähteet

Vedenalainen maailma ei ole ollenkaan niin hiljainen kuin voidaan olettaa. Merinisäkkäät ja muut merieläimet ovat riippuvaisia näistä äänistä kommunikaatiossaan ja selviytymisessään. Erityisesti

ihmistoiminnan aiheuttama melusaaste, joka voidaan jakaa matalataajuisiin ja korkean voimakkuuden äänilähteisiin, on noussut merinisäkkäiden uhkaksi. Sattumanvaraiset ja tarkoitukselliset äänilähteet, kuten laivaliikenne, rakennustyöt ja kaikuluotaimet vaikuttavat meren äänimaisemaan ja voivat haitata merinisäkkäiden elämää (Chahouri ym., 2022).

3.1 Luonnollinen melu

Meri sekä muut vesistöt koostuvat abioottisista ja bioottisista äänistä, jotka ovat tiivisti yhteydessä merinisäkkäiden sekä muiden meressä elävien eliöiden lisääntymiseen ja selviytymiseen (Slabbekoorn ym., 2010). Bioottisiksi äänilähteiksi luokitellaan merinisäkkäistä, selkärangattomista, kaloista ja muista meren organismeista syntyvät äänet (Peng ym., 2015) . Ne ovat välttämättömiä lajien kommunikoinnille, parinmuodostukselle, liikkumiselle sekä saaliin ja petojen havaitsemiselle (Radford ym., 2014) Merinisäkkäät käyttävät äänellistä kommunikaatiota ryhmän yhtenäisyyden ylläpitoon, lisääntymiseen ja poikasten hoitoon (Erbe ym., 2016). Abioottinen äänilähde voidaan jakaa luonnon aiheuttamaan taustameluun sekä antropogeeniseen eli ihmisten aiheuttamaan meluun. Luonnon synnyttämiä ääniä on esimerkiksi sadepisarat, valtamerien turbulenssi, vuorovedet, meren aallot, jään murtuminen, merenpohjan maanjäristykset sekä tulivuorenpurkaukset (Slabbekoorn ym., 2010). Nämä luonnon äänet tarjoavat merinisäkkäille arvokasta tietoa ympäristöstä ja sen tilasta.

3.2 Ihmisten aiheuttama melusaaste

Merinisäkkäät ovat uhanalaistuneet jo useiden tunnettujen syiden, kuten kalastuksen, biodiversiteetin heikentymisen ja ilmastonmuutoksen takia (Slabbekoorn ym., 2010). Melusaaste on aivan uudenlainen ihmisten aiheuttama saastumisen muoto. Vedenalainen melu on kasvanut huomattavasti 1800-luvun puolessa välissä tapahtuneen teollistumisen jälkeen (National Research Council, 2003). Tähän on vaikuttanut muun muassa meriteknologian sekä -teollisuuden kehitys, jonka myötä valtamerien äänitaso on noussut. Vedenalaisen melun uskotaan olevan mahdollinen uhka merinisäkkäille sekä muille meriorganismeille (Chahouri ym., 2022).

Antropogeeninen melu luokitellaan sen taajuuden ja voimakkuuden perusteella kahteen päätyyppiin: matalataajuisen pysyvään meluun ja korkean voimakkuuden impulsiiviseen meluun (Chahouri ym., 2022). Matalataajuisista pysyvää melua syntyy muun muassa monenlaisista veneistä tai aluksista, kuten rahtikuljetuksista (National Research Council, 2003) tai vapaa-ajan lomalaivoista ja

hupiveneistä (Slabbekoorn ym., 2010). Korkean voimakkuuden melu on pääasiassa lähtöisin seismisistä tutkimuksista, vedenalaisista räjähdyksistä, paalutuksista ja aktiivisen kaikuluotaimen käytöstä (National Research Council, 2003). Eräässä tutkimuksessa huomattiin, että korkean voimakkuuden paalutusääni voitiin havaita jopa 70 kilometrin päässä lähteestä. Lisäksi mittaukset osoittivat käyttäytymisen häiriöitä pullokuonodelfiineillä (*Tursiops truncatus*) 50 kilometrin etäisyydellä paalutusäänilähteestä (Williams ym., 2014). Myös rakennustöistä syntynyt melu voi levitä 100 metristä 1000 metriin tai jopa pidemmälle pää-äänilähteestä (Williams ym., 2014).

Toinen tapa jakaa ihmisten aiheuttamat äänilähteet ovat sattumanvarainen sekä tarkoituksellinen melu (Chahouri ym., 2022). Sattumanvaraisia melulähteitä syntyy kaupallisesta alusliikenteestä, merenrakentamisesta eli paalutuksesta ja ruoppauksesta, öljyn ja kaasun porausaktiviteeteista sekä jäänmurtaajista. Tarkoituksellisiin melulähteisiin kuuluvat kaikuluotaimet, öljyn ja kaasun seismisiin tutkimuksiin liittyvät ilma-aseet sekä navigointisonarit (Chahouri ym., 2022). Yksi suuri melunaiheuttaja, joka monesti jää mainitsematta on lentoliikenne ja erityisesti rannikkojen lähelle rakennetut lentokentät (Erbe ym., 2018).

4. Melusaasteen vaikutukset merinisäkkäisiin

Antropogeeninen melusaaste voi vaikuttaa merinisäkkäiden anatomiaan, fysiologiaan ja käyttäytymiseen useilla eri tavoilla. Tyypillisin tilanne on altistua äänelle pidemmän matkan päästä. Voimakkuus on silloin matalampi ja vaikutukset liittyvät todennäköisemmin käytökseen sekä kommunikaatioon (Chahouri ym., 2022). Merinisäkkäiden ollessa lähellä äänilähdettä voimakkaat ja impulsiiviset äänet voivat aiheuttaa kuulo- ja kudosaivourioita sekä pahimmillaan johtaa jopa kuolemaan. Kaikki reaktiot ovat jollain tavalla liitoksissa eläinten ruoanhankintaan, lisääntymiseen sekä kelpoisuuteen (Weilgart, 2007b). Ihmisten aiheuttaman melusaasteen vaikutukset voivat siis vaihdella pienistä lyhytaikaisista käyttäytymismuutoksista suuriin käyttäytymisen tai fysiologian muutoksiin (Chahouri ym., 2022).

4.1 Kommunikaation häiriöt ja peiteäänet

Yksi merkittävimmistä melun haittapuolista on sen vaikutus lajien kommunikaatiokykyyn (Wright ym., 2007). Merinisäkkäät ovat erittäin riippuvaisia akustisesta viestinnästä useissa eri elämäntilanteissaan. Näitä ovat muun muassa navigointi, yksilöiden tai kohteiden sijainnin havainnointi, lisääntyminen, ravinnonhaku ja sosiaaliset vuorovaikutukset. Äänen rooli

merinisäkkäiden viestinnässä on niin keskeinen, että kasvavan altistumisen on ennustettu vaikuttavan haitallisesti näihin tärkeisiin toimintoihin (Wright ym., 2007).

Ihmisen synnyttämä taustamelu aiheuttaa peiteääniksi (engl. masking) kutsutun tilanteen, jossa merinisäkkäiden kyky havaita heille elintärkeitä signaaleita vaarantuu (National Research Council, 2003). Eläimet eivät pysty havaitsemaan, tulkitsemaan tai edes reagoimaan biologisesti tärkeisiin viesteihin, kuten parittelu- ja jälkeläisten kutsuihin sekä saalis- ja petoääniin (Nabi ym., 2018). Luotettavien ja elämälle välttämättömien äänien havaitseminen tulee yhä vaikeammaksi, mikä estää eläintä ”näkemästä” ympäristöään. Käytännössä tämä tilanne tekee merinisäkkäistä sokean (Wright ym., 2007). Peiteäänit ovat vahvasti liitoksissa käyttäytymisen häiriöihin, sillä ne voivat vaarantaa lisääntymisen, emo-jälkeläis-sidoksen, ruoanetsinnän ja selviytymisen (Nabi ym., 2018). Luonnolliset äänet, kuten salamaniskut veteen, sateen ropina tai aaltojen kohina voivat myös peittää tärkeät biologiset signaalit. Tästä syystä monet merinisäkkäät ovat evoluution myötä kehittäneet sopeutumismekanismeja, jotka auttavat niitä selviytymään luonnollisen melun keskellä ilman, että nämä äänet häiritsisivät niiden omaa signaalien vastaanottoa. Lajien sopeutumiskyvyllä on kuitenkin rajansa. Ne eivät ole tottuneet ihmisen aiheuttamaan äkilliseen melusaasteeseen ja erityisesti voimakas antropogeeninen melu voi aiheuttaa suuria haasteita (Chahouri ym., 2022).

Antropogeeninen melu voi vaikuttaa merinisäkkäiden pääasiallisen kommunikaatiokanavan käyttöön (Chahouri ym., 2022). Esimerkiksi aluksen aiheuttama melu vähensi merinisäkkäisiin kuuluvien nokkavalaiden (Hyperoodontidae) kommunikaation kantamaa yli viisinkertaisesti (Chahouri ym., 2022). Jotkut merinisäkkäslajit ovat erityisen hyviä erottamaan kiinnostavat signaalit melusaasteen joukosta, kunhan äänilähteet eivät ole samasta suunnasta peräisin (Nabi ym., 2018). Tämä kyky on kuitenkin hyödytön, jos melusaaste sattuu esiintymään samalla taajuudella kuin merinisäkkäiden kommunikaatiossa käyttämä taajuus. Yksi esimerkki tästä on laivamelu ja hetulavalaiden (*Mysticeti*) kommunikaatio, joissa taajuudet usein menevät päällekkäin (Nabi ym., 2018).

Merinisäkkäslajeilla on tavattu eräänlaisia sopeutumiskeinoja, jotta ne selviäisivät antropogeenisen melun aiheuttamista haasteista (Nabi ym., 2018). Näihin sopeutumiskeinoihin kuuluu äänen taajuuden tai ajallisten kuvioiden muuttaminen sekä ääntelyn lisääminen. Ääntelyn lisääminen viittaa eläinten yritykseen peittää mahdollinen taustamelu. Esimerkiksi veneiden ollessa lähistöllä maitovalaat (*Delphinapterus leucas*) korottivat äänensä taajuutta ja toistivat tiettyjä kutsuja useammin kuin tavallisesti (Lesage ym., 1999). Miekkavalat (*Orcinus orca*) puolestaan reagoivat voimakkaaseen alusliikenteeseen lisäämällä kutsujensa kestoaikaa (Nabi ym., 2018). Ryhävalaat

(*Megaptera novaeangliae*) pidensivät parittelulaulujaan altistuessaan kaikuluotaimien äänille (Miller ym., 1998) ja pullonokkadelfiinit (*Tursiops truncatus*) lisäsivät vihellyksiä, kun veneet lähestyivät niitä (Buckstaff ym., 2004). Nämä sopeutumiskeinot havainnollistavat merinisäkkäiden kykyä reagoida äänisaasteeseen ja pyrkimystä sopeutua siihen. Tavoite on säilyttää kommunikaatiokyky ympäristön muutoksista huolimatta.

Lisäksi on havaittu, että merinisäkkäillä on ollut tapana vähentää ääntelyään eri ajanjaksoina lisääntyneen melusaasteen vuoksi. Joissakin tapauksissa eläimet ovat lopettaneet kommunikoinnin kokonaan viikkojen tai jopa kuukausien ajaksi (Nabi ym., 2018). Esimerkiksi kaskelotit (*Physeter macrocephalus*) hiljentyivät altistuessaan seismisille tutkimuksille (Bowles ym., 1994) ja sotilassonaarisignaalien piippauksille (Watkins ym., 1985). Pallopäävalaiden (*Globicephala*) kohdalla samankaltaisia vaikutuksia on havaittu ATOC-tyyppisten äänien ja seismisten tutkimusten seurauksena (Bowles ym., 1994). Eräessä tutkimuksessa havaittiin, että noin 250 urospuolista sillivalasta (*Balaenoptera physalus*) lopetti laulamisen viikoiksi 10–20 000 neliökilometrin alueella, kun niitä altistettiin tiettyntyyppiselle ääniympäristölle. Kun altistus päättyi, kesti vain tunti ääntelyn palautumiselle. Tämän kaltaiset hiljentymisjaksot voivat olla merkittävä uhka lisääntymiselle, koska parittelukutsut ovat ainoa tapa mahdollistaa jälkeläisten synty (Nabi ym., 2018).

4.2 Käyttäytymisen muutokset

Antropogeenisen melun läsnä ollessa merinisäkkäät muuttavat käyttäytymistään monin tavoin. Eläinten reaktion voimakkuus riippuu yleensä siitä, kuinka tuttu ääni on ja kuinka lähellä se havaitaan. Tämä voi vaihdella lajien, ikä- ja sukupuoliryhmien sekä eläinten motivaatiotilojen välillä (Chahouri ym., 2022). Myös yksilön kuulon herkkyyys ja melunsietokyky vaikuttavat reaktioon (National Research Council, 2003). Melusaasteesta syntyneet käyttäytymisen muutokset voivat vaihdella joko huomaamattomista ja lievistä reaktioista merkittäviin ja selkeästi havaittaviin muutoksiin. Huomaamattomia reaktioita voivat olla esimerkiksi muutokset hengitystiheydessä ja lisääntyneet pintaan nousut (National Research Council, 2003). Lisäksi antropogeeninen melu voi saada merinisäkkään säikähtämään tai aiheuttaa huomion herpaantumista (Peng ym., 2015). Selkeästi havaittavia reaktioita puolestaan ovat aiemmin mainitut kommunikaation muutokset, aktiivinen pyrkimys välttää melulähdettä, pakeneminen melulähteeltä (National Research Council, 2003), lisääntyneet sukelluksen kestot sekä nopeutunut liikkuminen (Nabi ym., 2018).

4.2.1 Liikkumisen häiriöt

Merinisäkkäät voivat siirtyä niille aiemmin tärkeiltä elinympäristöiltä altistuttuaan melulle. Tällaisia ympäristöjä ovat muun muassa lajien lisääntymis- ja ruokailualueet (Weilgart, 2007b). Merinisäkkään välttelykäyttäytyminen viittaa pyrkimykseen välttää aktiivisesti tiettyä tilannetta, paikkaa tai ärsykettä, joka koetaan uhkaavaksi tai haitalliseksi (Weilgart, 2007a). Välttelykäyttäytyminen voi vaihdella lajista toiseen ja tilanteen mukaan. Se voi sisältää liikkumisen toiseen paikkaan, sukeltamisen syvemmälle veteen, toiselle ruokailualueelle muuttamisen tai ärsykkeen välttämisen niin pitkään kuin mahdollista (Weilgart, 2007b). Välttelykäyttäytymisen periaatteena on yrittää sopeutua muuttuvaan elinympäristöön ja koettaa vältellä meluisia alueita. On kuitenkin tilanteita, joissa eläin voi joutua pysymään tärkeillä alueilla huolimatta siitä, että sen on kestettävä siitä syntyviä kustannuksia, kuten peiteääniä ja stressiä (Weilgart, 2007b)

Yksi huolestuttava esimerkki havaituista muutoksista on harmaavalaiden (*Eschrichtius robustus*) siirtyminen pois yli viiden vuoden ajaksi lisääntymislaguuneiltaan teollisen melusaasteen vuoksi. Laji palasi kyseiselle alueelle vasta monien vuosien jälkeen, kun melua aiheuttava toiminta oli loppunut (Weilgart, 2007b). Saman lajin yksilöitä oli myös siirtynyt yli 10 vuoden ajaksi laivojen ja ruoppaamisen aiheuttaman melun takia. Tässäkin tilanteessa harmaavalaat olivat palanneet takaisin jonkin ajan päästä melun loputtua (Nabi ym., 2018). Myös maitovalaila (*Delphinapterus leucas*) on esiintynyt muutoksia liikkumisessa. Niiden on huomattu välttelevän aktiivisesti jäänmurtojia pitämällä etäisyyttä vähintään 35–50 kilometriä ja pysymällä alueelta poissa noin yhden tai kahden päivän ajan (Weilgart, 2007b). Sen lisäksi on huomattu useiden merinisäksälajien muuttoreiteissä muutoksia, kun melua aiheuttavia lähteitä esiintyi vanhalla reitillä. Muun muassa harmaavalaat (*Eschrichtius robustus*) muuttivat muuttoreittään välttääkseen kaikuluotaimet. Lisäksi ne on tavattu välttelevän pysyviä teollisuusmeluja (Weilgart, 2007b).

Rantautumiset ja ajoittaiset massarantautumiset ovat myös yksi esimerkki melun vaikutuksista eläimen käyttäytymiseen. Merinisäkkäiden rantautuminen tarkoittaa tilannetta, jossa meressä elävät nisäkkäät päätyvät vahingossa rannalle tai matalikolle ja jäävät sinne kiinni (Weilgart, 2007a). Tämä on yleensä poikkeuksellinen ja vaarallinen tilanne näille eläimille. Rantautuneet merinisäkkäät voivat olla vaarassa kuolla, ellei niitä auteta takaisin veteen. Rantautuminen määritellään seuraavasti: merinisäks löytyy rannalta kuolleena, rannalta elävänä, mutta ei kykene palaamaan veteen, tai vieraasta elinympäristöstä eikä pysty palaamaan omaan elinympäristöönsä ilman apua (Weilgart, 2007b). Tilapäiset ihmisten aiheuttamat voimakkaat melualtistukset, kuten sotaharjoitukset,

seismisten tutkimusten käyttö geofysikaalisissa tutkimuksissa sekä öljy- ja kaasuteollisuudessa, ovat osoittautuneet yleisimmiksi syiksi merinisäkkäiden rantautumiseen (Wang ym., 2021). Muun muassa Italiassa vuonna 2011 seismiset tutkimukset aiheuttivat seitsemän urosvalaan rantautumisen ja vuonna 2006 Yhdysvaltojen ja Indonesian yhteinen merivoimien harjoitus aiheutti 45 lyhyteväpallopään (*Globicephala macrorhynchus*) rantautumisen sekä lopulta kuoleman (Wang ym., 2021).

4.2.2 Ruoanhakutehokkuus ja energiavaje

Kaikilla käyttäytymisen muutoksilla on suora yhteys ruoanhakutehokkuuteen (Nabi ym., 2018). Käyttäytymismuutokset voivat vaikuttaa merinisäkkäiden energiantarpeeseen ja -kulutukseen, mikä voi aiheuttaa haitallisia seurauksia niiden kokonaisvaltaiselle energiataloudelle. Esimerkiksi hanhennokkavalaililla (*Ziphius cavirostris*) havaittiin aluksen aiheuttaman melun muuttavan käyttäytymistä niin, että eläinten ruoanhakutehokkuus väheni jopa 50 prosenttia (Weilgart, 2007b). Miekkavalaililla (*Orcinus orca*) melun käyttäytymismuutokset lisäsivät energiankulutusta vähintään kolme prosenttia samalla, kun niiden energiansaanti väheni 18 prosenttia (Nabi ym., 2018). Jos merinisäkkäät kuluttavat enemmän energiaa kuin saavat, ne todennäköisesti pystyvät säilymään hengissä ja kasvamaan. Kuitenkin energiavaje voi estää eläimiä keräämästä riittävästi energiaa moniin muihin tärkeisiin toimintoihin, kuten sairauksien torjuntaan, pitkiin vaelluksiin tai lisääntymiseen (Nabi ym., 2018). Liian vähäinen ravinto altistaa yksilöitä erilaisille sairauksille, infektioille sekä allergioille (Weilgart, 2007a).

On havaittu, että tietyillä merinisäkkäslajeilla on tapana lopettaa kokonaan ruoanhakunsa aluksia tai muita äänilähteitä kohdatessaan. Tämä voi johtaa niiden energianhankinnan vähenemiseen tai potentiaalisesti täydelliseen lopettamiseen tietyllä ajanjaksolla (Nabi ym., 2018). Kyseinen reaktio altistaa merinisäkkäät suurelle riskille, erityisesti naaraiden kohdalla, ja se voi vaikuttaa niiden raskauteen sekä sikiön kehitykseen. Kun naaraiden mahdollinen energiansaanti ei riitä kattamaan sikiön kasvattamiseksi tarvittavaa energiamäärää, seurauksena voi olla ongelmia, erityisesti liittyen imetyksen tukemiseen (Nabi ym., 2018). Muita energiavajeen synnyttämiä haasteita ovat murrosiän estyminen, sukusolujen kehittymättömyys sekä heikko laatu, elinkykyisyys ja ovulaatio-ongelmat (Nabi ym., 2018). Tällainen tilanne voi vaikuttaa merkittävästi lajin lisääntymismenestykseen ja koko populaation terveyteen.

4.3 Stressi ja terveystvaikutukset

On selvää, että antropogeeninen melusaaste toimii mahdollisena stressitekijänä merinisäkkäille. Kun eläin kohtaa äkillisen melun, se laukaisee monia glukokortikoidien eritystä koskevia endokriinisiä reaktioita. Tämä aiheuttaa sydämen sykkeen muutoksia, mikä voi johtaa fysiologiseen stressiin (Chahouri ym., 2022). Yleisesti stressi kuvataan tilana, jossa kehon tasapainoa eli homeostaasia uhataan (Romano ym., 2004). Se voi olla joko hyödyllistä tai haitallista. Hyödyllinen stressi laukaisee reaktioita, jotka edistävät elimistön tasapainon säilymistä. Haitallinen taas heikentää kehon tasapainoa riippuen stressin kestosta ja voimakkuudesta (National Research Council, 2003).

Yksittäisen melusaasteen tuottamat äänet ja niistä syntyneet reaktiot eivät todennäköisesti vaikuta populaatiotasolla. Niin kauan kuin äänestä syntynyt häiriö pysyy fysiologisen järjestelmän hallittavissa olevalla alueella, elimistön homeostaasi pystyy palautumaan sopeutuvan stressivasteen kautta normaaliin (National Research Council, 2003). Pitkäaikaisella ja toistuvalla altistumisella on kuitenkin suuremmat seuraukset (Romano ym., 2004). Kun äänilähde on jatkuva tai usein toistuva, voi stressi pahimmillaan muuttua patologiseksi. Patologinen stressi on voimakas ja pitkäaikainen. Tällainen stressi on liiallista ja ylittää elimistön kyvyn selviytyä siitä (National Research Council, 2003). Patologinen stressi voi kiihdyttää hermoston toimintaa (Chahouri ym., 2022), estää merinisäkkään kasvua, muuttaa aineenvaihduntaa ja aiheuttaa lisääntymisongelmia (Wright ym., 2007). Stressin on huomattu vaikuttavan myös merinisäkkäiden päätöksentekoon ja suoritukseen, millä on vaikutuksia muun muassa kommunikointiin ja käyttäytymiseen (Radford ym., 2014). Melualtistuksen fyysiset vammat tai muut seuraukset voivat toimia lisästressinä merinisäkkäille (Wright ym., 2007). Peiteäännet voivat tuottaa epä tietoisuutta ympäristöä kohtaan tai eksyttää yksilön omasta populaatiosta. Tällainen tilanne aiheuttaa merinisäkkäälle ahdistuneisuutta, mikä voi edetä vakavaan stressitilaan (Wright ym., 2007).

Yksi tunnetuimmista havainnoista merinisäkkäillä on ollut stressin vaikutuksesta aiheutuva lisämunuaisen kuoren ja ytimen liikakasvu sekä lisämunuaiskysta (National Research Council, 2003). Liikakasvua on löydetty muun muassa kuolleena löydettyiltä pyöriäisvalailta (*Phocoena*) ja lisämunuaiskystaa esiintyi rannalle ajautuneilla valkokuvedelfiineillä (*Lagenorhynchus acutus*). Kumpaakin oiretta on löydetty myös rannalla olleista maitovalaista (*Delphinapterus leucas*) (National Research Council, 2003).

Hermostolla ja stressillä on vahva kaksisuuntainen vuorovaikutus myös immunitetin kanssa. Muun muassa valailla on huomattu anatomisia yhteyksiä aivojen ja immuunijärjestelmän välillä (Romano ym., 2004). Stressi aiheuttaa kortikotropiinia vapauttavan hormonin (CRF) erityksen hypotalamuksesta, joka taas edistää glukokortikoidien ja katelomiamiinien vapautumista. Nämä hormonit vaikuttavat eläimen immunitettiin ja voivat vaikuttaa allergisiin, tulehduksellisiin, neoplastisiin, infektiolisiin ja autoimmuunisairauksiin kohdistuvissa vasteissa (National Research Council, 2003). Meluäänillä on vaikutus stressireaktioita kontrolloivaan HPA- eli hypotalamus-aivolisäke-lisämunuaisakuoriakseliin (Nabi ym., 2018). Melutason nousun on huomattu johtavan kortisolitasojen nousuun ja melutason laskun taas johtavan kortisolitasojen laskuun. (Nabi ym., 2018). Tämä viittaa siihen, että HPA-akselilla ja melulla on suora yhteys toisiinsa. Ympäristömelu vaikuttaa negatiivisesti HPA-akselin kautta HPG-akseliin eli hypotalamus-aivolisäke-sukurauhasakseliin. HPG-akselissa toimiva kisspeptiini hormoni on elintärkeä murrosiän alkamiselle ja hedelmällisyydelle kaikilla nisäkkäillä (Nabi ym., 2018).

Tämän neurohormonin toimintahäiriö tai reseptorin puuttuminen voi johtaa alentuneisiin sukupuolihormonien pitoisuuksiin ja epäkypsien lisääntymiselinten kehittymiseen. Yli-ilmentyminen voi taas johtaa ennenaikaiseen murrosikään (Nabi ym., 2018). Erityisesti erittäin nuoret ja vasta sikiövaiheessa olevat yksilöt ovat herkkiä stressireaktion hermostollisille seurauksille. Pahimmillaan tämä voi aiheuttaa pysyviä neurologisia muutoksia eläimelle (Wright ym., 2007). Raskaana olevat yksilöt ovat myös erittäin alttiita kortisolipitoisuuden nousulle, sillä se voi aiheuttaa keskenmenon (Nabi ym., 2018).

Stressiin ja sen oireisiin sopeutuminen vaikuttaa tutkimusten mukaan epätodennäköiseltä (Wright ym., 2007). Syynä tähän on havaittavien ääniärsykkeiden muuttuvuus ja arvaamattomuus. Melusaaste harvoin on voimakkuudeltaan tai taajuudeltaan aina sama ja ajankohdatkin vaihtelevat. Eläin voi näennäisesti tottua ylimääräiseen meluun ilman sopeutumista, mutta tähänkin vaaditaan mahdollisuus ennustaa ärsyke. Vaikka merinisäkäs oppisi sopeutumaan ylimääräiseen meluun, se ei välttämättä vähennä fysiologisen stressireaktion voimakkuutta (Wright ym., 2007). Näiden asioiden perusteella voidaan todeta, että ihmistoiminnan aiheuttama melusaaste yksinään tai yhdistettynä muihin stressitekijöihin voi heikentää merinisäkkään sopeutumista. Lisäksi se voi vähentää joidenkin merinisäkkäiden populaatioiden elinkelpoisuutta (Wright ym., 2007).

4.4 Kuulovauriot

Melusaaste voi olla äärimmäisen haitallista merinisäkkäiden kuulolle. Pahimmillaan kova melu voi johtaa tilapäiseen kuulonmenetykseen, jos altistuminen äänelle on tarpeeksi voimakasta tai pitkäkestoista. Kuulon menetyksen vakavuuteen vaikuttaa moni tekijä, kuten äänenvoimakkuus, altistumisen kesto ja äänen ominaisuudet (Nabi ym., 2018). Näiden tekijöiden yhdistelmä määrittää sen, kuinka merkittävä ja vakava tilapäinen kuulonmenetys lopulta on. Tilapäisen kuulonmenetyksen yhteydessä sensoriset karvasolut, jotka ovat vastuussa äänen havaitsemisesta, voivat vaurioitua. Aikaisemmissa tutkimuksissa on tultu siihen tulokseen, että vauriot eivät yleensä ole pysyviä. Kuulo heikentyy hetkellisesti, mutta eläimen normaalin kuulotason odotetaan palautuvan jonkin ajan kuluttua altistumisen jälkeen (Weilgart, 2007b).

Kuitenkin viimeaikaiset tutkimukset ovat tuoneet esiin huolestuttavaa tietoa. On havaittu, että jopa tilapäiset kuulovauriot voivat aiheuttaa peruuttamattomia vaurioita merinisäkkäiden kuulojärjestelmälle. Tällaisissa tapauksissa vauriot saattavat kohdistua ääntä kuljettavaan hermoon, mikä voi vaikuttaa merinisäkkään kuulokykyyn erityisesti meluisissa ympäristöissä (Erbe, Dunlop, ym., 2018). Vaikka eläimen kuulo näyttäisi palautuvan normaaliksi altistuksen jälkeen, se saattaa silti kokea vaikeuksia kuullessaan ääniä meluisissa ympäristöissä (Erbe, Dunlop, ym., 2018). Tilapäistä kuulonmenetystä on tutkittu muun muassa pullonokkadelfiineillä (*Tursiops truncatus*) ja maitovalaililla (*Delphinapterus leucas*). Kun merinisäkkäitä altistettiin erilaisille äänille, todettiin jopa lyhytkestoisten impulsiivisten äänien aiheuttavan tilapäistä kuulomenetystä (Weilgart, 2007b).

Jos altistuminen jatkuu pidempään, on toistuvaa, tai tapahtuu yksi erittäin kova melutapahtuma, voi kuulovaurio jäädä pysyväksi. Näin tapahtuu, kun neurofysiologiset prosessit, erityisesti sensoriset karvasolut ja kahdeksannen hermon neuronit, vaurioituvat lopullisesti äänen liiallisen altistuksen seurauksena (Erbe ym., 2018). Tällaisissa tilanteissa vauriot voivat kohdistua joko sensorisiin karvasoluihin, joiden tehtävä on äänen havaitseminen tai kahdeksannen hermon neuronien vaurioitumiseen, jotka välittävät kuuloaivoihin tulevat signaalit. Pysyvä kuulovaurio ilmenee siten, että eläimen kyky kuulla ääniä tietyillä taajuuksilla heikkenee pysyvästi (Erbe ym., 2018). On huomionarvoista, että eettisten kysymysten vuoksi pysyvää kuulon menetystä ei ole tutkittu eläimillä kattavasti, mikä rajoittaa tietämystämme tästä ilmiöstä merinisäkkäiden kohdalla.

Kuulovaurio voi myös tappaa epäsuorasti. Ryhävalaita (*Megaptera novaeangliae*) löydettiin sotkeutuneina kalastusvälineisiin paikasta, jossa oli tapahtunut samanaikaisesti myös suuri

vedenalainen räjähdys (Weilgart, 2007b). Alueen ryhävalaat eivät osoittaneet minkäänlaista muuta käyttäytymisreaktiota melun takia, mutta tapahtui epätavallinen kuolemaan johtava kalastusverkkoihin sotkeutuminen. Tapahtuneeseen uskotaan liittyvän kuulon vaurioituminen, minkä takia ryhävalaat eivät pystyneet havaitsemaan verkkoja (Weilgart, 2007b). On myös olemassa joitakin epätieteellisiä raportteja, jotka voivat yhdistää merinisäkkäiden kuolemat vedenalaisiin räjähdyskuolemiin (Chahouri ym., 2022). Kolme ryhävalasta (*Megaptera novaeangliae*) kuoli kolmen päivän aikana vakavien räjähdysvammojen eli korvissa tapahtuneen mekaanisen trauman seurauksena (Chahouri ym., 2022). Sen lisäksi on löydetty tietokonetomografiakuvauksien ja eläinten ruumiinavauksien avulla rantautuneilla nokkavalailailla (*Hyperoodontidae*) sekä hanhennokkavalailailla (*Ziphius cavirostris*) verenvuotoja, jotka ovat peräisin sisäkorvan putkesta. Vammat ovat olleet peräisin ääni- ja iskuvaurioista (Nabi ym., 2018). Kuulovaurioiden uskotaan aiheuttavan merinisäkkäille hyvin samanlaisia vaikeuksia kuin peiteäännetkin. Jopa lyhytaikainen kuulonmenetyks, oli kyse muutamista minuuteista tai päivistä, voi olla kohtalokas tapahtuma merinisäkkäälle. Kuulon menetys häiritsee ravinnonhankintaa, lisääntymistä, kommunikaatiota ja sosiaalista yhteenkuuluvuutta (Weilgart, 2007a).

4.5 Muut fyysiset vammat

Melun vaikutuksesta rantaan ajautuneille valaille on suoritettu useita ruumiinavauksia. Näissä tutkimuksissa on löydetty merinisäkkäiltä erilaisia sisäisiä ja ulkoisia vammoja, jotka ovat peräisin pitkittyneestä altistumisesta voimakkaalle vedenalaiselle melulle (Weilgart, 2007b). He havaitsivat valailta vakavaa hajanaista verenvuotoa erityisesti leuan rasvassa, korvissa, aivoissa ja munuaisissa. Lisäksi valailta löydettiin kaasukuplaan liittyviä vaurioita sekä verentukkeumaa elinten verisuonissa ja kudoksissa (Weilgart, 2007b).

Räjähdykset, joita käytetään muun muassa rannikkorakentamisessa, vedenalaisten rakenteiden poistamisessa ja merellisissä sotaharjoituksissa, muodostavat oman äänikategoriansa. Ne sisältävät ääniaallon lisäksi iskuaallon eli hetkellisen paineaallon (Weilgart, 2007b). Paineaallot aiheuttavat lyhyessä ajassa dramaattisen paineen laskun ja ovat taajuudeltaan suhteellisen laaja-alaisia. Tämä voi aiheuttaa elimien vaurioitumista ja kaasulla täytettyjen onteloiden, kuten keuhkojen, sivuonteloiden ja korvien repeämistä (Weilgart, 2007b). Eräässä tapauksessa 5000 kilogramman räjähdys aiheutti vakavia vammoja kahden ryhävalaan (*Megaptera novaeangliae*) ohimoluiden alueelle. Valaat löydettiin kuolleina läheltä räjähdyskuoleman tapahtumapaikkaa (Weilgart, 2007b).

Monet merinisäkkäät, erityisesti nokkavalaat (Hyperoodontidae), noudattavat tyypillisesti hyvin stereotyyppistä sukellusmallia. Malli koostuu syvästä sukelluksesta, jota seuraavat asteittain matalammat sukellukset. Syvimmillään valaat saattavat sukeltaa jopa 1,8 kilometrin syvyyksiin (Wright ym., 2007). Käyttäytymishäiriöiden, kuten säikähdys- ja pakoreaktioiden seurauksena eläinten normaalit sukellustavat häiriintyvät ja tästä voi seurata vakavia vaurioita valaiden elimistölle. Nokkavalaita on toistuvasti ajautunut massoittain rannoille muutamien päivien kuluessa sotilasaluksien harjoitusten jälkeen ja nämä yksilöt ovat kärsineet oireyhtymästä, joka muistuttaa paljon ihmisillä esiintyvää sukeltajantautia (Wright ym., 2007). Sukeltajantauti on tila, joka voi kehittyä, kun valas nousee liian nopeasti syvyyksistä. Äkkinäiset sukellusten muutokset saattavat aiheuttaa laajoja rasva- ja kaasukuplakertymiä, jotka voivat pahimmillaan johtaa valaiden kuolemaan (Wright ym., 2007).

Kaikuluotaimien, räjähteiden ja ilma-aseiden ryhmittymien tuottama melu on niin voimakasta, että se voi suoraan vahingoittaa mitä tahansa elintä välittömässä läheisyydessä (Nabi ym., 2018). Melun voimakkuuden aiheuttamien vaurioiden vuoksi on mahdollista, että melusaasteella on suora vaikutus tärkeisiin elimiin, kuten hypotalamukseen, aivolisäkkeeseen, lisämunuaisiin ja muihin umpirauhasiin. Tämä puolestaan voi häiritä HPG-akselin toimintaa, mikä voi johtaa erilaisiin morfologisiin, fysiologisiin ja käyttäytymiseen liittyviin seurauksiin. Kaikki nämä vaikutukset voivat vaikuttaa haitallisesti eläinten lisääntymiskykyyn (Nabi ym., 2018).

5. Pohdinta ja johtopäätökset

Melusaaste vaikuttaa haitallisesti merinisäkkäiden käyttäytymiseen, kuuloon ja terveyteen. Se voi vaikeuttaa niiden ravinnonhankintaa, lisääntymistä ja suunnistamista, minkä lisäksi se aiheuttaa fysiologista stressiä (Chahouri ym., 2022). Kaikki melusaasteen aiheuttamat muutokset ovat tavalla tai toisella yhteydessä merinisäkkäiden lisääntymiseen. Suorat näytöt melusaasteen vaikutuksista lisääntymiseen ovat rajalliset ja vaatisivat lisää tutkimusta. On kuitenkin selvää, että melusaaste voi aiheuttaa lisääntymisongelmia vähintään epäsuorasti. Nabi ym. (2018) listaa tutkimuksessaan nämä epäsuorat vaikutukset: melusaasteen aiheuttamat kommunikaation häiriöt ja kuulovauriot voivat vaikeuttaa merinisäkkäiden kykyä löytää kumppaneita ja välittää lisääntymiseen liittyviä viestejä, kuten parittelukutsuja. Tämä voi vaikeuttaa onnistunutta lisääntymistä ja jälkeläishuoltoa. Melusaaste voi aiheuttaa stressireaktioita merinisäkkäissä, mikä puolestaan vaikuttaa hormonaalisiin muutoksiin ja käyttäytymiseen. Stressi voi häiritä lisääntymiskuntoa ja vaikuttaa lisääntymiskäyttäytymiseen negatiivisesti. Muutokset energian saannissa ovat mahdollisia, kun melusaaste vaikuttaa

saalistusmahdollisuuksiin. Riittävän ravinnon puute voi heikentää lisääntymiskuntoa ja jälkeläisten hoitoa. Pakoreaktiot voivat estää merinisäksälajeja kohtaamasta kumppaneitaan ja siten vaikeuttaa lisääntymistä. Lisäksi melun aiheuttamat stressireaktiot voivat muuttaa lisääntymiskäyttäytymistä ja siten vaikuttaa lisääntymisen onnistumiseen. Pitkäaikainen negatiivinen vaikutus minkä tahansa merinisäksälajin lisääntymiseen voisi johtaa kyseisen lajin uhanalaiseksi tai vaarantuneeksi luokitteluun. Jos uhanalaisen tai äärimmäisen uhanalaisen merinisäksään lisääntyminen vaarantuu pitkäksi aikaa, se voi johtaa koko lajin sukupuuttoon (Nabi ym., 2018).

Luontaisissa elinympäristöissä elävistä merinisäksäistä on hyvin vähän näyttöä mahdollisesta adaptaatiosta antropogeeniseen meluun (Wright ym., 2007). Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että sopeutuminen ei olisi mahdollista, siitä ei vain ole vielä tarpeeksi tutkimuksia. Tähän voi vaikuttaa myös merinisäksälajien pitkäikäisyys ja hidas lisääntyminen (Wright ym., 2007), minkä vuoksi sopeutumista melusaasteeseen ei välttämättä ole ehtinyt tapahtua luonnollisen valinnan kautta, etenkin jos melusaasteen voimakas lisääntyminen on tapahtunut verrattain lyhyessä ajassa. Kuitenkin eräänlainen sopeutumiskäyttäytyminen ja tottuminen melusaasteeseen voi olla mahdollista tietyissä tilanteissa. Esimerkiksi jos merinisäksäs altistuu toistuvilla äänillä tietyssä ympäristössä, se voi oppia sopeutumaan meluun muun muassa muuttamalla käyttäytymistään (Weilgart, 2007a). Tämä voi olla eräänlainen "oppimissopeutuminen". On olemassa useampia dokumentoituja tapauksia, joissa merinisäksäät ovat tuntuneet sietävän melua (Weilgart, 2007a). Tässäkin on kuitenkin ollut paljon vaihtelua. Esimerkkejä äänen siedosta on löydetty kaskelottien (*Macrocephalus*) tapauksessa Norjan seismisten tutkimusten yhteydessä, sinivalaiden (*Balaenoptera musculus*) osalta LFA-kaikuluotaimien käytön aikana ja merileijonien (*Zalophus californianus*) osalta suhteessa AHD-laitteisiin (Weilgart, 2007a). Vaikka merinisäksäät voivat vaikuttaa sietävän melua paremmin ajan myötä, se ei välttämättä takaa, että niiden fysiologiset reaktiot ja terveys eivät kärsisi.

Melusaastetta koskevia tutkimuksia on varsin runsaasti saatavilla. Vaikka tutkimus merenalaisten äänien vaikutuksista merinisäksäisiin on epäilemättä tärkeää, se ei yksin riitä niiden suojelemiseen (Weilgart, 2007a). Siksi voisi olla järkevää suunnata huomio siihen, miten melua voitaisiin tuottaa turvallisemmalla tavalla. Tulevaisuudessa tulisi keskittyä kehittämään tehokkaampia melun vähentämisen välineitä. Tämä voisi sisältää pyrkimyksen löytää hiljaisempia ja turvallisempia vaihtoehtoja äänilähteille. Tuotekehittely voisi keskittyä uusien teknologioiden kehittämiseen, jotka voivat auttaa alentamaan melua tuottavien toimintojen vaikutuksia, kuten vähämeluisempia alusmoottoreita tai rakennustekniikoita. Myös mahdollinen lähestymistapa voisi olla pyrkimys

vähentää melun kestoa, rajoittaa sen suuntautumista kapeammaksi ja eliminoida tarpeettomia taajuuksia (Weilgart, 2007b).

Yleisen tietoisuuden lisääminen ja koulutus voivat myös tarjota ratkaisuja tässä tilanteessa. Tutkimukset voivat edistää tietoisuutta merinisäkkäiden ja melusaasteen ongelmasta. Samanaikaisesti koulutusohjelmat voivat tarjota arvokasta tietoa alusten miehistölle ja kalastajille, auttaen heitä ymmärtämään, kuinka välttää tai vähentää melusaasteen haitallisia vaikutuksia. On tärkeää huomata, että monet käyttämäni tutkimukset ovat olleet suhteellisen lyhytaikaisia, ja siksi olisi hyvä tehdä perusteellisempia tutkimuksia, jotka kattavat pidemmät ajanjaksot ja mahdollistavat vaikutusten tarkemman selvittämisen. Erityisesti stressi ja kuulovauriot ovat mielestäni sellaisia aiheita, joista tutkimusta tarvittaisiin lisää. Kuulovaurioita olisi tärkeää tutkia myös vapaana elävillä lajeilla, sillä tutkimus usein rajoittuu vain vankeudessa oleviin (Weilgart, 2007b).

Tulevaisuuden tutkimuksen painopiste voisi myös suuntautua melusaasteen yhteisvaikutusten tutkimiseen muiden ympäristötekijöiden, kuten ilmastonmuutoksen, saasteiden ja ruoan saatavuuden kanssa. On ensisijaisen tärkeää arvioida olemassa olevien suojelutoimenpiteiden tehokkuutta ja tarvittaessa tehdä niihin parannuksia. Tässä yhteydessä kansainvälinen yhteistyö nousee erityisen tärkeäksi, koska merinisäkkäät liikkuvat usein maiden rajojen yli. Yhteistyö mahdollistaa tietojen ja resurssien jakamisen sekä parhaiden käytäntöjen kehittämisen. Tällainen monikansallinen lähestymistapa voi auttaa parantamaan ymmärrystämme melusaasteen vaikutuksista merinisäkkäisiin ja mahdollistaa tehokkaampien suojelustrategioiden kehittämisen, jotta voimme suojella näitä eläimiä ja niiden elinympäristöä merissämme.

Antropogeeninen melusaaste on selvästi vakava huolenaihe merinisäkkäiden kannalta, vaikka on vaikeaa määrittää ongelman täyttä laajuutta. Ottaen huomioon tutkielmassani käsitellyt aiheet ja tutkimukset, on mielestäni perusteltua olettaa melusaasteen vaikuttavan merinisäkkäslajien kelpoisuuteen. Aiheeseen liittyy vielä paljon kysymyksiä muun muassa tiedon puutteen vuoksi, mutta mielestäni varovaisen lähestymistavan soveltaminen melun hallinnointiin on perusteltua. Kaksi todennäköisesti tehokkainta keinoa merinisäkkäiden suojeluun ovat melun pitäminen etäällä biologisesti tärkeiltä alueilta sekä melutason alentaminen (Weilgart, 2007b). Suojelualueiden lisääminen voi olla erityisen tärkeää, jotta merinisäkkäät voidaan turvata pitkältä altistumiselta ja sen seuraamuksilta. Joka tapauksessa on selvää, että meriympäristön melusaasteen hallinnointi on välttämätöntä sekä kansallisella että kansainvälisellä tasolla, jotta voidaan suojella merinisäkkäitä ja meriekosysteemiä ennen kuin mahdolliset peruuttamattomat vahingot toteutuvat.

Lähdeluetelo

- Chahouri, A., Elouahmani, N., & Ouchene, H. (2022). Recent progress in marine noise pollution: A thorough review. *Chemosphere* 291, 132983. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132983>
- Erbe, C., Dunlop, R., Dolman, S. (2018). Effects of Noise on Marine Mammals. *Effects of Anthropogenic Noise on Animals*, 277–309. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8574-6_10
- Erbe, C., Reichmuth, C., Cunningham, K., Lucke, K., & Dooling, R. (2016). Communication masking in marine mammals: A review and research strategy. *Marine Pollution Bulletin* 103, 15–38. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.12.007>
- Erbe, C., Williams, R., Parsons, M., Parsons, S. K., Hendrawan, I. G., & Dewantama, I. M. I. (2018). Underwater noise from airplanes: An overlooked source of ocean noise. *Marine Pollution Bulletin* 137, 656–661. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.10.064>
- Finfer, D. C., Leighton, T. G., & White, P. R. (2008). Issues relating to the use of a 61.5 dB conversion factor when comparing airborne and underwater anthropogenic noise levels. *Applied Acoustics* 69, 464–471. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2007.05.008>
- Kikuchi, R. (2003). Underwater Noise Pollution: Sonic Threat of Offshore Windfarms to Marine Wildlife. *Noise Pollution: Sources, Effects on Workplace Productivity and Health Implications*, 141–156. New York: Nova Publishers, 2014.
- Kunc, H. P., McLaughlin, K. E., & Schmidt, R. (2016). Aquatic noise pollution: Implications for individuals, populations, and ecosystems. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 283, 20160839. <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.0839>
- Lesage, V., Barrette, C., Kingsley, M. C. S., & Sjare, B. (1999). The effect of vessel noise on the vocal behavior of belugas in the St. Lawrence River estuary, Canada. *Marine Mammal Science* 15, 65–84. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.1999.tb00782.x>
- Miller P., Biassoni N., Samuels A., & Tyack P. (2000). Whale songs lengthen in response to sonar. *Nature* 405, 903. <https://doi-org.pc124152.oulu.fi:9443/10.1038/35016148>
- Nabi, G., McLaughlin, R. W., Hao, Y., Wang, K., Zeng, X., Khan, S., & Wang, D. (2018). The possible effects of anthropogenic acoustic pollution on marine mammals' reproduction: an emerging threat to animal extinction. *Environmental Science and Pollution Research* 25, 19338–19345. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2208-7>
- National Research Council. (2003). *Ocean Noise and Marine Mammals*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/10564>.

- Peng, C., Zhao, X., & Liu, G. (2015). Noise in the sea and its impacts on marine organisms. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12, 12304-12323. <https://doi.org/10.3390/ijerph121012304>
- Radford, A. N., Kerridge, E., & Simpson, S. D. (2014). Acoustic communication in a noisy world: Can fish compete with anthropogenic noise? *Behavioral Ecology* 25, 1022–1030 <https://doi.org/10.1093/beheco/aru029>
- Romano, T. A., Keogh, M. J., Kelly, C., Feng, P., Berk, L., Schlundt, C. E., Carder, D. A., & Finneran, J. J. (2004). Anthropogenic sound and marine mammal health: Measures of the nervous and immune systems before and after intense sound exposure. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 61, 1124–1134. <https://doi.org/10.1139/F04-055>
- Slabbekoorn, H., Bouton, N., van Opzeeland, I., Coers, A., ten Cate, C., & Popper, A. N. (2010). A noisy spring: The impact of globally rising underwater sound levels on fish. *Trends in Ecology and Evolution* 25, 419–427. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.04.005>
- Wang, Z. T., Supin, A. Y., Akamatsu, T., Duan, P. X., Yang, Y. N., Wang, K. X., & Wang, D. (2021). Auditory evoked potential in stranded melon-headed whales (*Peponocephala electra*): With severe hearing loss and possibly caused by anthropogenic noise pollution. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 228, 113047. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.113047>
- Weilgart, L. S. (2007a). A Brief Review of Known Effects of Noise on Marine Mammals. *International Journal of Comparative Psychology* 20, 159-168 <https://doi.org/10.46867/ijcp.2007.20.02.09>
- Weilgart, L. S. (2007b). The impacts of anthropogenic ocean noise on cetaceans and implications for management. *Teoksessa Canadian Journal of Zoology* 85, 1091–1116. <https://doi.org/10.1139/Z07-101>
- Williams, R., Ashe, E., Blight, L., Jasny, M., & Nowlan, L. (2014). Marine mammals and ocean noise: Future directions and information needs with respect to science, policy and law in Canada. *Marine Pollution Bulletin* 86, 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.05.056>
- Wright, A. J., Soto, N. A., Baldwin, A. L., Bateson, M., Beale, C. M., Clark, C., Deak, T., Edwards, E. F., Fernández, A., Godinho, A., Hatch, L. T., Kakuschke, A., Lusseau, D., Martineau, D., Romero, M. L., Weilgart, L. S., Wintle, B. A., Notarbartolo-di-Sciara, G., & Martin, V. (2007). Do Marine Mammals Experience Stress Related to Anthropogenic Noise? *International Journal of Comparative Psychology* 20, 274-316. <https://doi.org/10.46867/ijcp.2007.20.02.01>

Tämän opinnäytetyön suunnittelussa ja kirjoittamisessa käytin OpenAI:n ChatGPT ilmaisversiota käsitteiden (esimerkiksi masking) selkeyttämiseksi ja joidenkin artikkelien suomentamiseen. Olen tarkistanut sisällön ja muokannut sitä tarvittaessa ja otan siitä täyden vastuun.