

Itämeren aleneva suolapitoisuus muuttaa Suomen rannikon lajien levinneisyyttä

NIKO KALLIO¹ & MATTI SAHLA² & RISTO KALLIOLA¹
Turun yliopisto¹, Metsähallitus ja Turun yliopisto²



Kallio, Niko & Sahla, Matti & Kalliola, Risto (2020). Itämeren aleneva suolapitoisuus muuttaa Suomen rannikon lajien levinneisyyttä (Decreasing salinity of the Baltic Sea will change species distribution areas along the Finnish seacoast). Terra 132: 4, 163–174. <https://doi.org/10.30677/terra.90638>

▶ The physical and chemical properties of water are vital for aquatic organisms. Should changes in these conditions occur, responses would follow both in the distributions of species and ecosystem functioning. Water salinity is particularly critical because it induces osmotic stress and requires specific physiological adaptations from the living organisms. Current climate change models suggest increasing precipitation in the Baltic Sea catchment area and decreasing seawater salinity along the Finnish seacoast. In order to envisage potential consequences of decreasing salinity in the coastal ecosystems, we apply alternative Baltic Sea salinity scenarios based on climate change and species inventory data with GIS modelling to estimate possible changes in the distributions of four aquatic species within the next 50 years. The results suggest that marine species are to lose much of their current distribution areas: blue mussel may constrain its distribution into the Archipelago- and Bothnian Sea areas only, while eelgrass will likely disappear completely. In contrast, the studied freshwater species, brackish water sponge and the common water mosses, will strongly expand their distributions along the Finnish seacoast. Their currently isolated populations in the Gulf of Finland and the Gulf of Bothnia will expand their populations as far as the Archipelago Sea, which will thereby become a biogeographically interesting contact zone. As many of the studied organisms are keystone species, their changing distributions will induce cascade effects at the ecosystem level.

Key words: Baltic Sea, salinity, biodiversity, climate change

Niko Kallio, University of Turku, Department of Geography and Geology, University of Turku, FI-20014 Turku, Finland. E-mail: <nipeka92@outlook.com>

Veden fysikaaliskemialliset ominaisuudet määrittävät vesieläiden esiintymismahdollisuuksia eri alueilla (Barko ym. 1986). Vaikuttaessaan lajien elinkierto, lisääntymiseen ja käyttäytymiseen ne myös säätelevät vesiekosysteemien rakennetta ja toimintaa. Erityisesti suolapitoisuus on useimmille eliölajeille kriittinen ympäristötekijä osmoottisen paineen vaikutuksesta. Merelliset lajit eivät kykene elämään vähäsuolaisissa vesissä eivätkä vähäsuolaisen veden lajit suurissa suolapitoisuuksissa.

Eliöt voivat jossain määrin säädellä osmoottista painettaan (Beadle & Cragg 1940). Vähäsuolaisissa eli hypo-osmoottisissa ympäristöissä osmoottista säätelevä hyödyntävät lajit joutuvat poistamaan so-

luistaan ylimääräisen veden. Korkeissa eli hyperosmoottisissa suolapitoisuuksissa lajit puolestaan lisäävät nestepitoisuuttaan esimerkiksi ravinnon kautta tai vähentämällä suolapitoisuuttaan väkevien eritteiden mukana. Osmoottinen stressi voi vaikuttaa eliön lisääntymiseen ja aiheuttaa kitukasvuisuutta. Esimerkiksi Itämeren silakka on Pohjois-Atlantin sillin pienikokoiseksi jäänyt alalaji (Flinkman ym. 1998). Veden suolapitoisuus voi vaikuttaa myös suoraan lajien elinkierto. Esimerkiksi turskan lisääntyminen edellyttää, että sen mäti leijuu suolaveden kannattamana (Nissling & Westin 1997).

Veden suolapitoisuus on vaihdellut Itämeren altaassa mannerjäätikön peräännyttyä noin 12 000

vuotta sitten seuraten sulamisvesien, maankohoamisen, valtameriyhteyden ja sadannan vaihteluita (Kautsky & Kautsky 2000; Gustafsson & Westman 2002; Emeis ym. 2003). Kun suolaisuus maankohoamisen ja lisääntyneen sadannan vaikutuksista laimeni, kehittyi *Lymnea* -suvun kotilon mukaan nimetty Limneamerivaihe, joka vaihettui Itämereksi noin 2 000 vuotta sitten.

Itämeren suolapitoisuus vaihtelee monin eri tavoin. Tanskan salmien läheisyydessä se on lähes Pohjanmeren tasoa, noin 25 promillea (Leppäranta & Myrberg 2009). Suolapitoisuus kuitenkin laskee merkittävästi kohti Suomenlahden ja Pohjanlahden perukoita, missä pintavesien suolapitoisuus on lähellä nollaa. Saaristomeri on meri- ja mannerperäisten vesien suistoalueista vaihettumaa, jossa suolapitoisuus on erityisen vaihtelevaa (Suominen ym. 2010). Myös syvyys vaikuttaa suolapitoisuuteen. Suolaisempi vesi painuu raskaampana syvemmälle, mistä johtuen Itämeren vesimassa on jakautunut halokliinin mukaisesti suolaisempaan pohjakkerokseen sekä vähäsuolaisempaan pintaveteen.

Voimakkaiden suolaisuusgradienttien vuoksi Itämeren eliöstö koostuu erikoisesta sekoituksesta merellisiä ja vähäsuolaisen veden lajeja, molemmat lajiryhmät sietokykynsä ääriarajoilla (Vuorinen ym. 2015). Lajimäärä on suurimmillaan Itämeren eteläosissa, missä on paljon merilajistoa ja lisäksi joitain sisävesien lajeja (Viitasalo ym. 2017). Myös Pohjanlahden ja Suomenlahden rannikot ovat runsaslajisia ja koostuvat lähinnä vähäsuolaista vettä suosivista lajeista.

Remane (1940) esitti arvioita suolapitoisuuden muutosten mahdollisista vaikutuksista Itämeren lajistoon. Punameritähden (*Asterias rubens*) ja rantataskuravun (*Carcinus maenas*) määrät läntisellä Itämerellä vähenisivät, jos suolapitoisuus laskisi alle 25–15 promillen. Toisaalta Itämeren suolapitoisuus oli nousussa sata vuotta sitten, jolloin useat lajit, kuten monet siimajalkaiset, meduusat ja pyrstökkäät, levisivät Itämeren pohjoisosiin saakka. Kun suolapitoisuus alkoi 1970-luvun lopussa alentua, meriolosuhteita suosivien hankajalkaisten biomassa romahti ja vähäsuolaisia vesiä suosivien vesikirppujen määrät lisääntyivät (Vuorinen ym. 1998). Ihmisen aiheuttaman ilmastomuutoksen odotetaan lisäävän sadantaa Itämeren valuma-alueella ja tämän edelleen alentavan veden suolapitoisuutta, mikä mahdollisesti muuttaa jälleen Itämeren lajikantaa (The BACC Author Team 2008; Rajasilta ym. 2014). Itämerellä, ja myös muillakin maailman merialueilla, on havaittu viimeisen sadan vuoden aikana useita tilanmuutoksia (*regime shift*), jotka ovat olleet joko suoraan biologisten tekijöiden tai ilmastossa tapahtuvien muutosten seurausta (Dippner ym. 2012). 1980-luvun lopulla lämpimämpi ajanjakso aiheutti

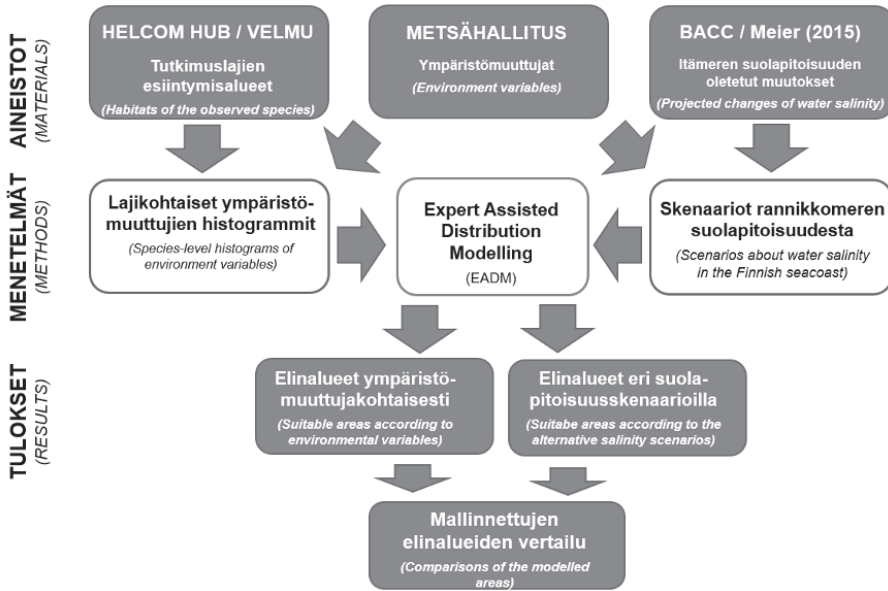
lisääntyntä sadantaa ja sen seurauksena suolapitoisuuden alenemisen pohjoisella Itämerellä. Tästä seurasi tilanmuutos, jossa rataseläinten lukumäärä alueella lisääntyi huomattavasti.

Nykyään ilmastomuutoksella näyttäisi olevan jälleen merkittävä vaikutus Itämereen sekä sen suolapitoisuuteen (Meier 2015). 1900-luvun aikana pohjoisen 55° ja 85° leveyspiirin alueella on havaittu keskimäärin 12 %:n nousu manneralueiden sademäärissä (Heino ym 2008). Toki alueiden välillä on merkittävää eroa, eikä 12 %:n sadannan lisääntyminen kuvaa tarkasti Itämeren aluetta. Esimerkiksi Keski-Ruotsissa kevään sadannan on havaittu lisääntyneen jopa 15 %, kun taas Puolassa vastaava luku on laskenut (Heino ym 2008). Kesäisin sadanta on vähentynyt Itämeren läntisissä ja eteläisissä osissa, mutta pohjoisen sademäärissä on havaittu nousua. Syksyn ja talven tarkastelujaksoilla sadanta on puolestaan lisääntynyt kauttaaltaan. Myös Suomessa on havaittu sademäärän lisääntyneen useilla sääasemilla noin 50 mm 1900-luvun aikana (Hyvärinen & Korhonen 2003). Venäjällä ja Virossa vastaavasti on havaittu jopa 100 mm:n nousua. Vaikka sademäärien lisääntymisen mittaus laajoilla alueilla on vaikeaa ja epätarkkaa, tukevat nämä havainnot BACC:n arvioita lisääntyvän sadannan ja valunnan myötä aiheutuvasta Itämeren suolapitoisuuden alenemisestä (Meier 2015).

Mallinamme tässä tutkimuksessa ilmastomuutoksesta aiheutuvan suolapitoisuuden mahdollisen alenemisen laukaisemia muutostrendejä vesieliöiden levinneisyydessä. Mallinamme Suomen rannikolle kolme erilaista suolapitoisuuden alenemisen skenaariota ja käytämme esimerkkeinä kolmea lajia sekä yhtä lajiryhmää, joiden valinnassa hyödynsimme HELCOM:in vedenalaisen meriluonnon arviointia (HELCOM 2013). Sinisimpukka (*Mytilus trossulus*) ja meriruoho (*Zostera marina*) ovat merellisten rannikkovesien avainlajeja, ja murtovesisien (*Ephydatia fluviatilis*) sekä vesisammalet (*Fontinalis* spp., *Fissida* spp.) ovat vähäsuolaisten vesien eliöitä. Koska Itämeren suolaisuusgradientti on Suomen rannikolla erityisen voimakas, odotamme suolapitoisuuden alenemista kuvaavien mallinnusten osoittavan edellä mainittujen lajien maantieteellisesti hahmottuvia levinneisyysalueiden muutoksia.

Aineistot ja menetelmät

Tutkimus kattaa Suomen koko merenrannikon ja se perustuu julkaistuihin skenaarioihin Itämeren suolapitoisuuden muutoksista (Meier 2015) sekä paikkatietotyöskentelyyn (ArcMap) ja taulukkolaskentaan (Microsoft Excel). Työprosessin (kuva 1) yksityiskohtainen kuvaus sisältyy Kallion (2019: 27–37) pro gradu -tutkielmaan.



Kuva 1. Vuokaavio tutkimuksessa käytettyjen aineistojen lähteistä ja kuinka niitä on hyödynnetty tutkimuksessa.

Figure 1. Flowchart of the materials used in this study and how they were utilized.

Tutkimuslajien nykyistä levinneisyyttä kuvaavat tiedot ovat Vedenalaisen meriluonnon monimuotoisuuden inventointiohjelmasta (VELMU), ja ne perustuvat vedenalaisvideointeihin sekä osin myös sukellushavaintoihin Suomen rannikkoalueen noin 130 000 tutkimuspisteessä (HUB-biotooppiluokittelu 2020). Tutkimuspisteistä on kerätty havaintoja useissa vedenalaista luontoa kartoittaneissa hankkeissa, jotka on koostettu yhdeksi aineistoksi Metsähallituksen ja Suomen Ympäristökeskuksen toimesta. Inventointitietoa on kerätty muun muassa seuraavissa hankkeissa: VELMU (Vedenalaisen meriluonnon monimuotoisuuden inventointiohjelma), Finnmarinet, Havs manualen, NANNUT (Nature and Nurture of the Northern Baltic Sea), TOPCONS (Transboundary tools for spatial planning and conservation of the Gulf of Finland), VALKO (Vedenalaisen meriluonnon inventoinnit), Vestra (Vedenalaisen meriluonnon inventointistrategia), VITKA (Vedenalaisen meriluonnon inventoinnin tietojen käytettävyyden arviointi ja kehitys-hanke), Kvarnen Flada, SeamBOTH (Seamless maps and management of the northern Bothnian Bay) sekä Laitakari OY:n tutkimukset. Tutkittujen kohteiden laajuus on menetelmästä riippuen muutamasta neliömetristä pariinkymmeneen neliömetriin. Yksittäiset lajihavainnot vastaavat aluetta, jolla tarkasteltavan lajin tai lajiryhmän esiintymä on merkittävä (>10 % alueen kaikista eliöistä) tai lajia on arviolta ainakin puolet havaintopisteen biomassasta. Havaintoja on tarkastelemistamme tutkimuslajeista kaiken kaikkiaan noin 16 000

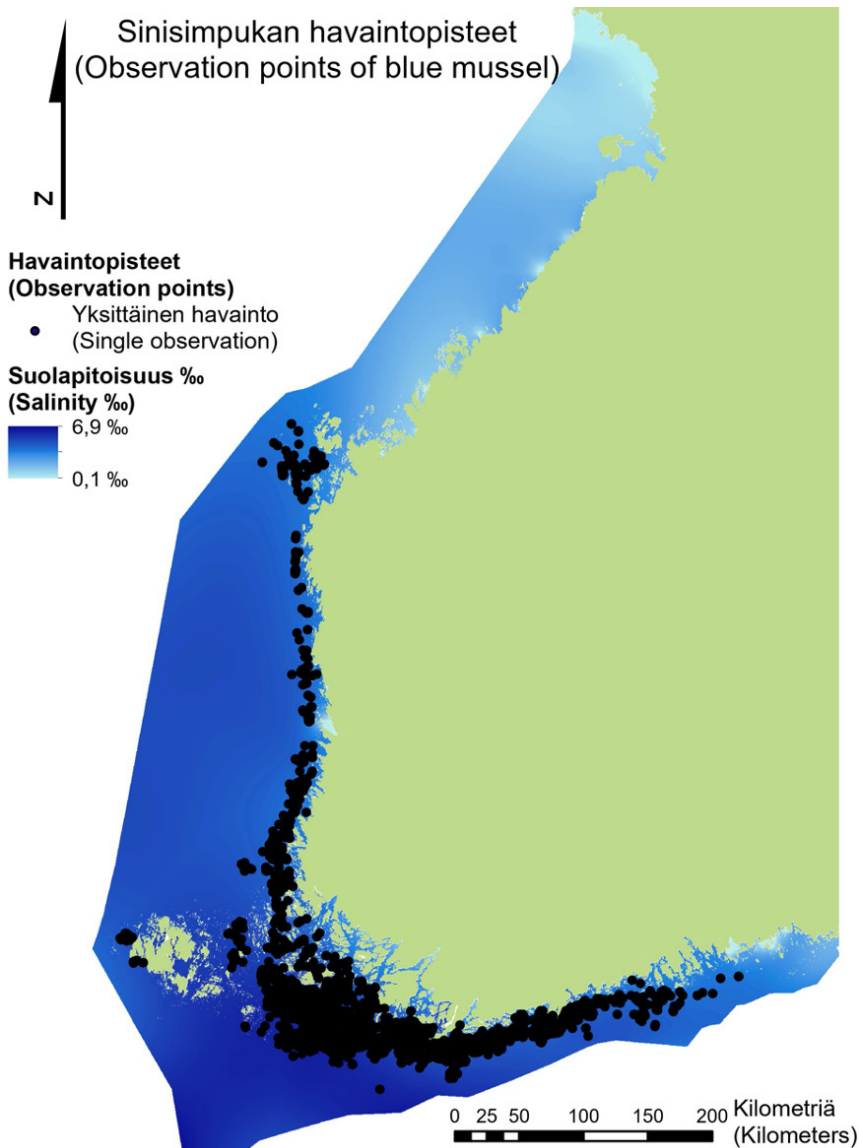
tutkimuspisteellä, joista sinisimpukka on eniten edustettuna 15 682 havaintopisteellä. Meriruoholla havaintopisteitä on 308, murtovesisienellä 131 ja vesisammaleilla 128.

Toisena lähtöaineistomme on Metsähallitukselta kerättyjä, pitkäaikaisiin tutkimuksiin perustuvia paikkatietomalleja Suomen rannikon ympäristömuuttujista. Valitsimme tutkimuksemme seuraavat: VELMU-hankkeesta kerätty veden suolapitoisuus- ja syvyysaineisto, HERTTA-tietokannasta interpoloitu pH-, sameus- ja näkösyvyysaineisto sekä Luonnonvarakeskuksen pohjan lämpötilan sekä Metsähallituksen tuottama valosyvyyden aineisto. Ympäristömuuttujien valikointi perustui saatavilla olevaan luotettavaan aineistoon, sekä tarkasteltavien lajien kannalta merkityksellisiin ympäristömuuttujiin. Suolapitoisuutta lukuun ottamatta muut ympäristömuuttujat päätettiin jättää vakioksi, eikä niille luotu mahdollisia skenaarioita seuraavan 50 vuoden ajalle. Monissa muissakin ympäristömuuttujissa voi tapahtua muutoksia puolen vuosisadan aikana, mutta halusimme tässä tutkimuksessa rajoittaa tarkastelun vain suolapitoisuuden mahdollisiin vaikutuksiin. Meren suolapitoisuutta sekä meriruohon arvioituja elinalueita täydentäviä paikkatietoaineistoja saatiin lisäksi HELCOM:in *Map and Data Service*:n avoimesta karttapalvelusta (Map and data service 2018).

Kullekin tutkimuslajille laadittiin ympäristömuuttujakohtaiset histogrammit, joissa on x-akselilla ympäristömuuttujan arvo ja y-akselilla lajin havaintopisteiden määrä (kuvat 2 ja 3). Kaikki sellaiset ympäristömuuttujan arvot, joissa lajista

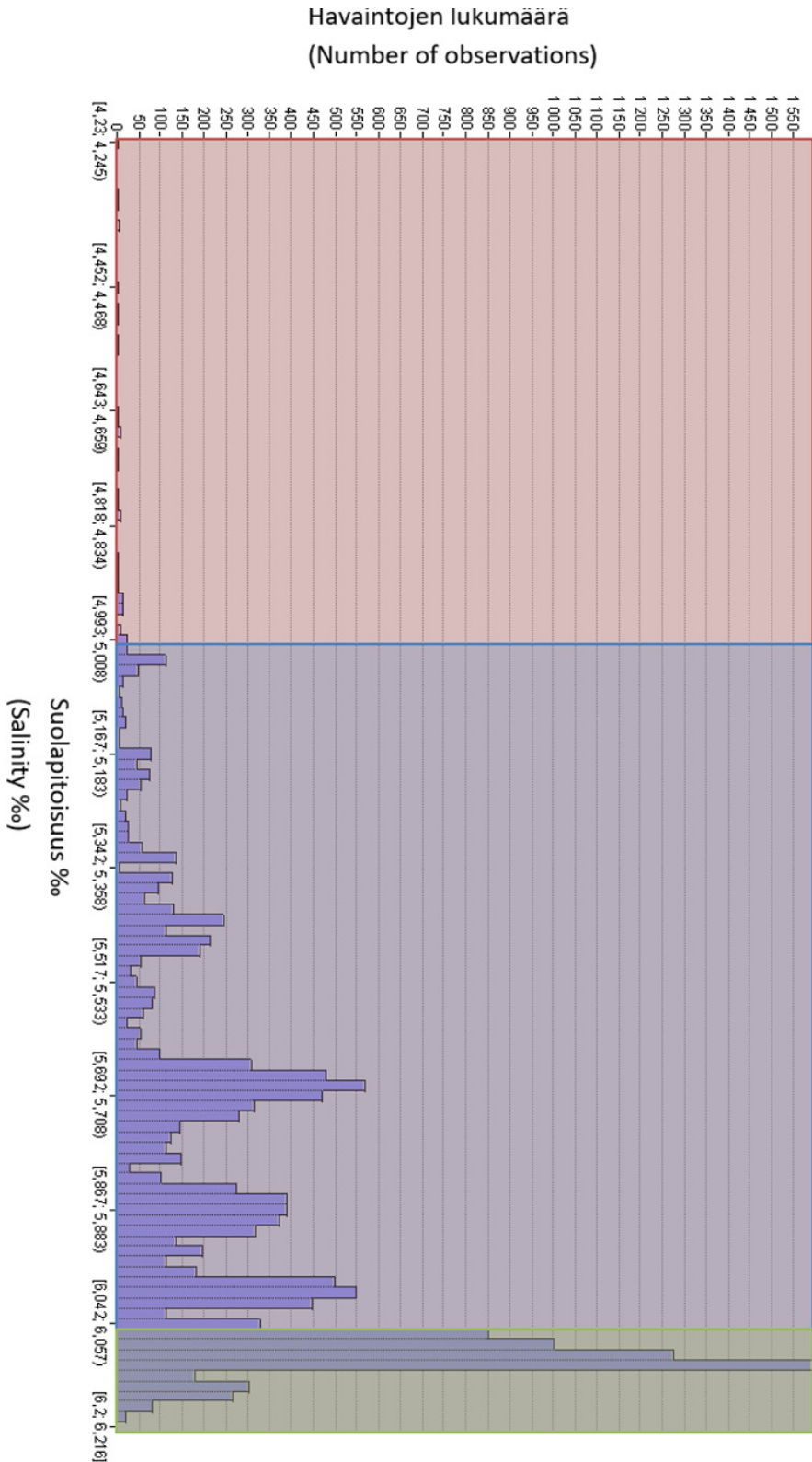
on havaintoja, merkittiin mahdolliseksi elinalueiksi (laskentakaavassa arvo 1). Lopuille ympäristömuuttujien arvoille tehtiin täsmentävä jaottelu suotuisiin elinalueisiin (arvo 10), joissa havaintoja oli useista pisteistä, ja erittäin suotuisiin elinalueisiin (arvo 100), joissa havaintopisteiden määrä oli erityisen suuri (kaikkein korkeimpien histogrammipylväiden alue). Jaottelu tehtiin asiantuntija-arviona punnitien samalla mahdollisten poikkeamien vaikutusta (Kallio 2019). Tällaisia olivat yksittäiset virheelliseksi tulkitut havainnot ja poikkeamat ympäristögradienttien ääripäissä, esimerkkinä sinisimpukan havaintopisteiden vähyys kaikkein korkeimpien suolapitoisuuksien näytepisteissä.

Seuraavaksi kaikkien ympäristömuuttujien soveltuvuusarvot laskettiin pikselikohtaisesti yhteen, laji lajilta, jonka jälkeen rasterin arvot jaettiin neljään yhtä suureen osaan, jossa pienin neljännes kuvaa heikon suotuisuuden alueita ja suurin neljännes kaikkein suotuisimpia alueita. Jako määritettiin summaan perustuen habitaatin suotuisuusarvo raja-arvomenetelmällä: heikko (summa-arvo 0–175), kohtalainen (176–350), hyvä (351–525) ja erinomainen (526–700). Lopputuloksen tulkittiin kuvaavan eri alueiden suhteellista suotuisuutta lajin tai lajiryhmän esiintymiselle. Suotuisuusarviot tehtiin kaikille pikseleille riippumatta siitä, esiintyykö lajia kyseisellä alueella.



Kuva 2. Sinisimpukan havaintopisteet ja Itämeren suolapitoisuuden gradientti Suomen rannikolla.

Figure 2. Observation points of blue mussel and the salinity gradient along the Finnish coastline.



Kuva 3. Sinisimpukan histogrammi suolaisuusgradientin mukaisesti. Histogrammissa esitetään punaisella alueella mahdolliset suolaisuuden arvot, sinisellä suotuisat ja vihreällä erittäin suotuisat.

Figure 3. Histogram of the blue mussel according to the salinity gradient. Histogram presents possible salinity values in red, favourable in blue and very favourable in green

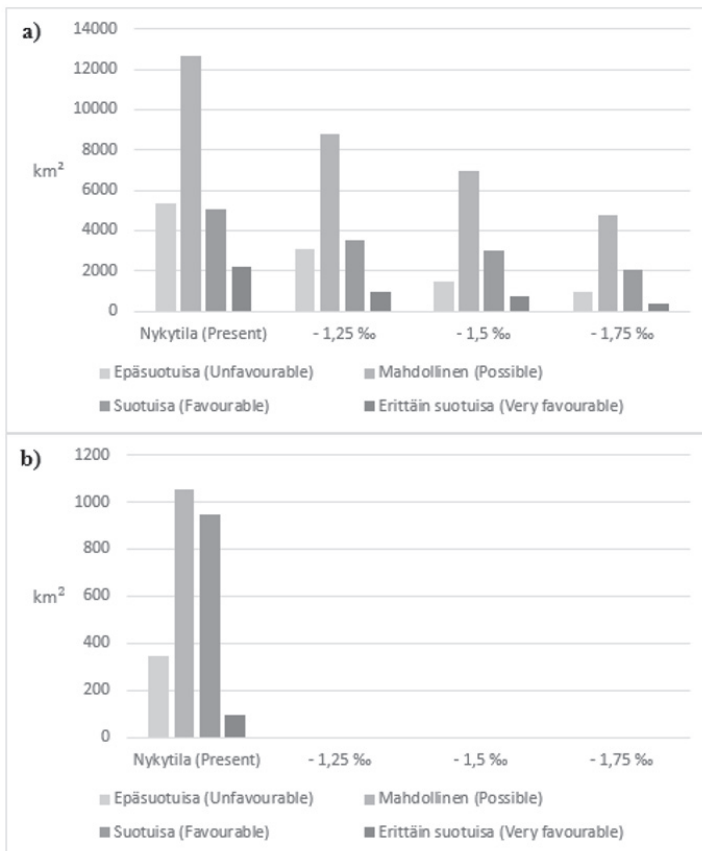
Arvioimme suolapitoisuuden muutoksen vaikutuksia 50 vuoden aikajänteellä perustuen Meierin (2015) esittämiin arvioihin, joiden mukaisesti perustimme kolme skenaariota: maltillinen (suolapitoisuuden lasku 1,25 ‰), keskitaso (1,5 ‰) ja voimakas (1,75 ‰). Koska Itämeren nykyinen suolapitoisuus sekä ennusteiden esittämät muutokset vaihtelevat runsaasti, päätimme valita tutkimuksen tarkastelusyvyudeksi viisi metriä, mikä vastaa tutkimuksessa tarkasteltavien lajien tavanomaista esiintymissyvyyttä ja riittää pääsääntöisesti valoisuudeltaan fotosynteesiin ja perustuotantoon (Luhtala 2016).

Kun muiden ympäristömuuttujien arvot säilytettiin ennallaan ja vain suolapitoisuuden arvoja muutettiin, tutkimuslajeille voitiin mallintaa eri suolapitoisuusskenaarioita vastaavat elinalueet. Noudatimme Metsähallituksen GIS-ryhmän kehittämää menetelmää *Expert Assisted Distribution Model* (EADM), jossa asiantuntijamenettelyllä korjataan kenttähavaintojen epätasaista jakaumaa tai havaintojen puutteita (Sahla 2020). Niitä voivat aiheuttaa esimerkiksi veneille liian matalat alueet, joissa kenttäkartoituksia ei ole tehty, tai ulkomeillä sijaitsevat hankalapääsyiset syvänteet, joista

ei ole saatavilla kenttähavainnointiin perustuvia lajistotietoja. EADM huomioi myös tutkimusalueen ulkopuolelta saatuja tietoja, esimerkiksi sen, että meriruohoa tunnetusti esiintyy myös suuremmilla kuin 6,09 promillen suolapitoisuustasolla, joka oli aineistoissamme korkein taso, jolla lajia havaittiin. Mallinnustulokset esitetään diagrammeina ja karttopohjille visualisoituina.

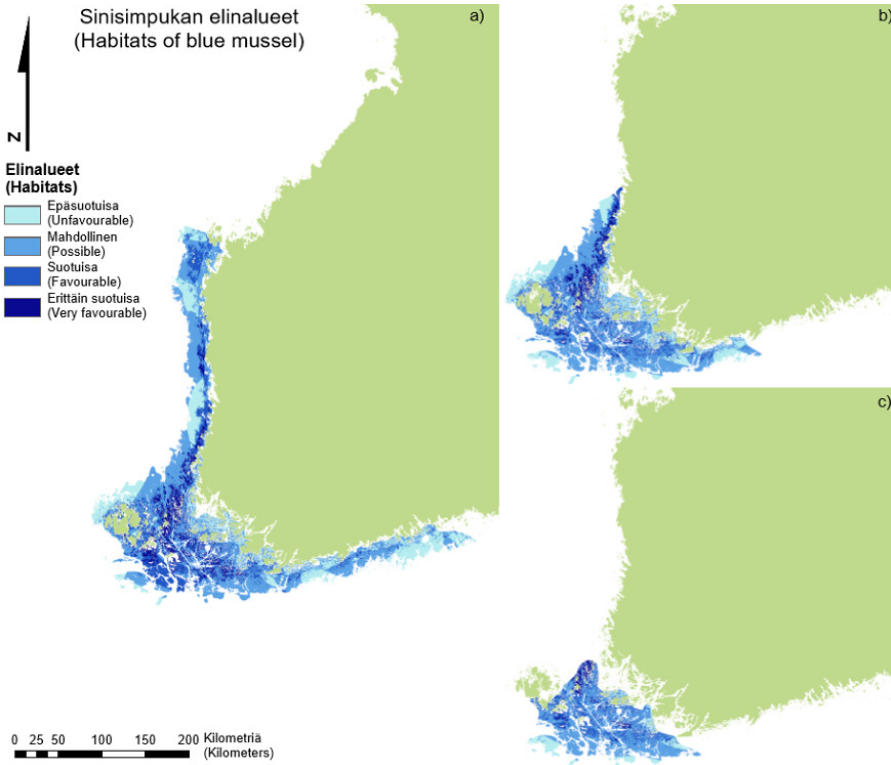
Tulokset

Malliemme mukaan suolapitoisuuden aleneminen vaikuttaa voimakkaasti kaikkien tutkittujen lajien levinneisyyksiin Suomen merenrannikolla. Merellisistä lajeista sinisimpukka katoaa Suomen- ja Pohjanlahdilta kokonaan, jolloin sen levinneisyys rajoittuu Saaristomeren väli- ja ulko-osiin (kuvat 4 ja 5). Maltillisimman skenaarion mukaan laji menettää yli kolmanneksen nykyisistä levinneisyysalueistaan, mutta äärimmäisimmän skenaarion olosuhteissa sen nykyisestä levinneisyydestä häviää jopa lähes 70 prosenttia. Tällöin erinomaisia sinisimpukan elinalueita olisi rannikollamme enää vain noin 400 neliökilometriä. Meriruoho puolestaan



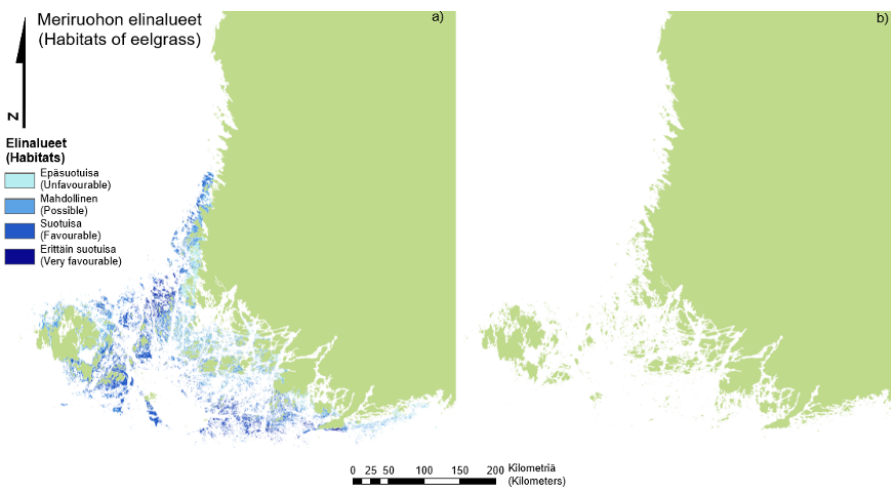
Kuva 4. Sinisimpukan (a) ja meriruohon (b) nykyiset elinalueet ja mallinnetut elinalueet Suomen rannikolla kolmen suolapitoisuuden alenemista kuvaavan skenaarion tilanteissa.

Figure 4. Current habitats of blue mussel (a) and eelgrass (b) and their modelled habitats on the Finnish coastline according to three salinity decreasing scenarios.



Kuva 5. Sinisimpukan elinalueiden laajuudet nykyisin (a) sekä sen mallinnetut laajuudet suolapitoisuuden alentuessa 1,25 ‰ (b) ja 1,75 ‰ (c).

Figure 5. Extent of blue mussel's habitats currently (a) and their modelled extent when salinity decreases 1,25 ‰ (b) and 1,75 ‰ (c).



Kuva 6. Meriruohon elinalueiden laajuudet nykyisin (a) sekä sen mallinnetut laajuudet suolapitoisuuden alentuessa 1,25 ‰ (b).

Figure 6. Extent of eelgrass' habitats currently (a) and its modelled extent when salinity decreases 1,25 ‰ (b).

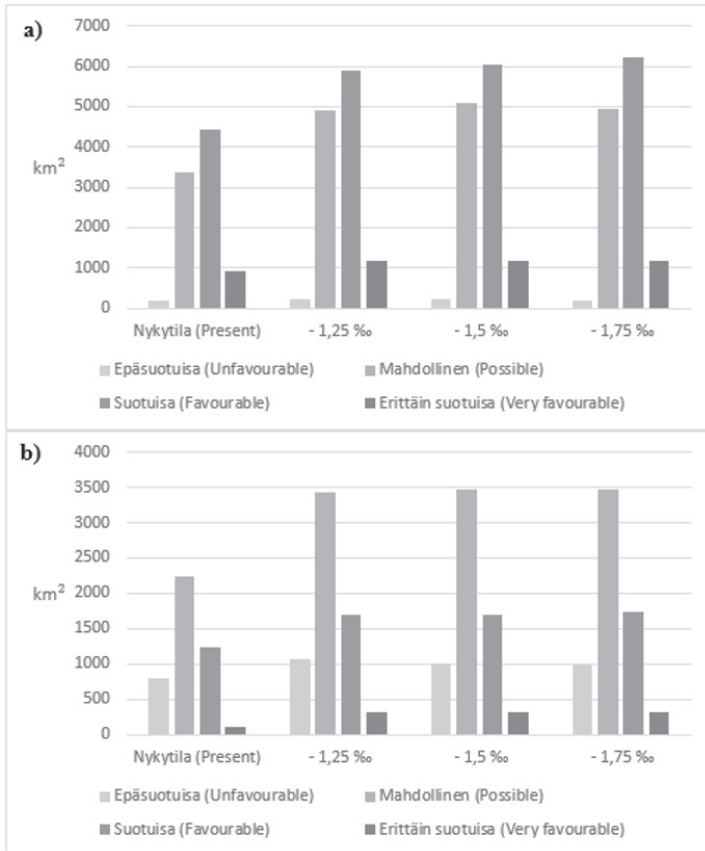
häviää Suomen rannikolta jo kaikkein maltillisimmassa skenaariossa (kuvat 4 ja 6). Nykyiselläänkin lajin erinomaisiksi luokiteltuja elinalueita on rannikollamme vähänlaisesti (4 % levinneisyysalueesta) ulkosaaristossa ja Hangon edustalla, missä veden suolapitoisuus on korkein.

Vähäsuolaista ympäristöä suosivien murtovesisien ja vesisammalten mahdolliset elinalueet

laajenevat suolapitoisuuden alentuessa (kuvat 7, 8 ja 9). Esimerkiksi murtovesisien mahdollisten elinalueiden pinta-ala kasvaa maltillisimman skenaarion mukaan lähes 40 prosenttia, jolloin se saattaisi levitä myös Saaristomerelle. Kaikkein voimakkaimman skenaarion tilanteessa laji jää puuttumaan vain Selkämeren rannikolta, missä veden alhaisempi pH ja jyrkempi syvyysgradi-

entti rajoittavat esiintymistodennäköisyyttä, sekä Saaristomerén väli- ja ulko-osista, joissa suolapitoisuus säilyy edelleen liian korkeana. Suolapitoisuuden laskun myötä myös epäsuotuisien elinympäristöjen osuus näyttää vähenevän. Erittäin suotuisiksi tulkitut alueet ovat edelleen Me-

renkurkussa ja Perämerellä. Myös vesisammalille mahdollisten elinympäristöjen määrät lisääntyvät, jopa niin, että niitä saattaa jo kaikkein maltillisimman skenaarion tilanteessa esiintyä lähes koko mannerrannikolla. Saaristomerellä veden heikkoko valosyvyys rajoittaa lajin levittäytymistä.



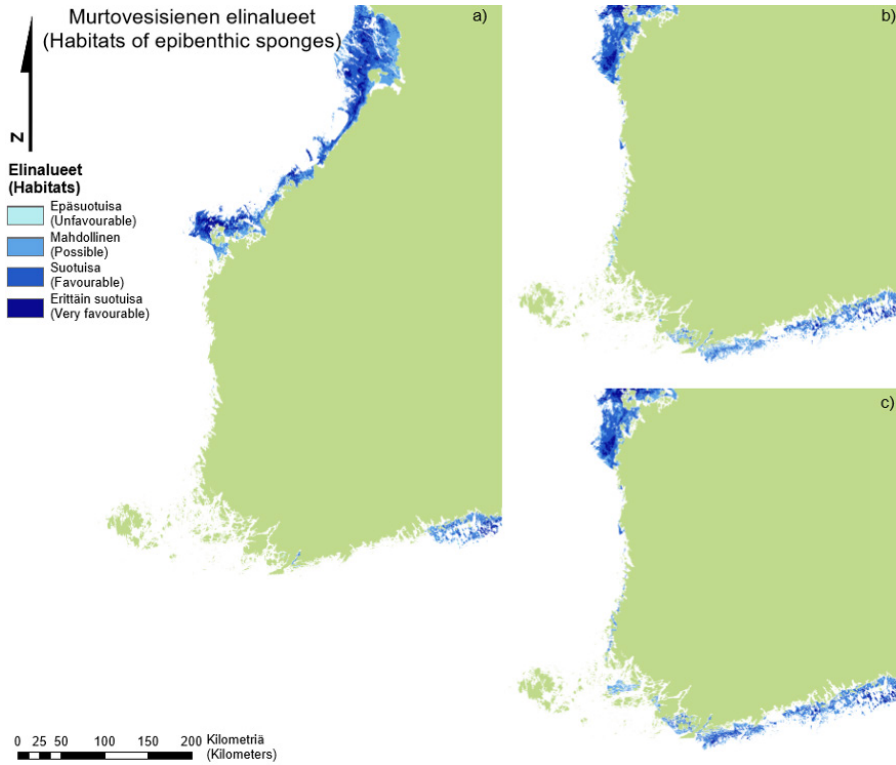
Kuva 7. Vesisien (a) ja vesisammalten (b) nykyiset elinalueet ja mallinnetut elinalueet Suomen rannikolla kolmen suolapitoisuuden alenemista kuvaavan skenaarion tilanteissa.

Figure 7. Current habitats of epibenthic sponges (a) and water mosses (b) and their modelled habitats on the Finnish coastline according to three salinity decreasing scenarios.

Keskustelu

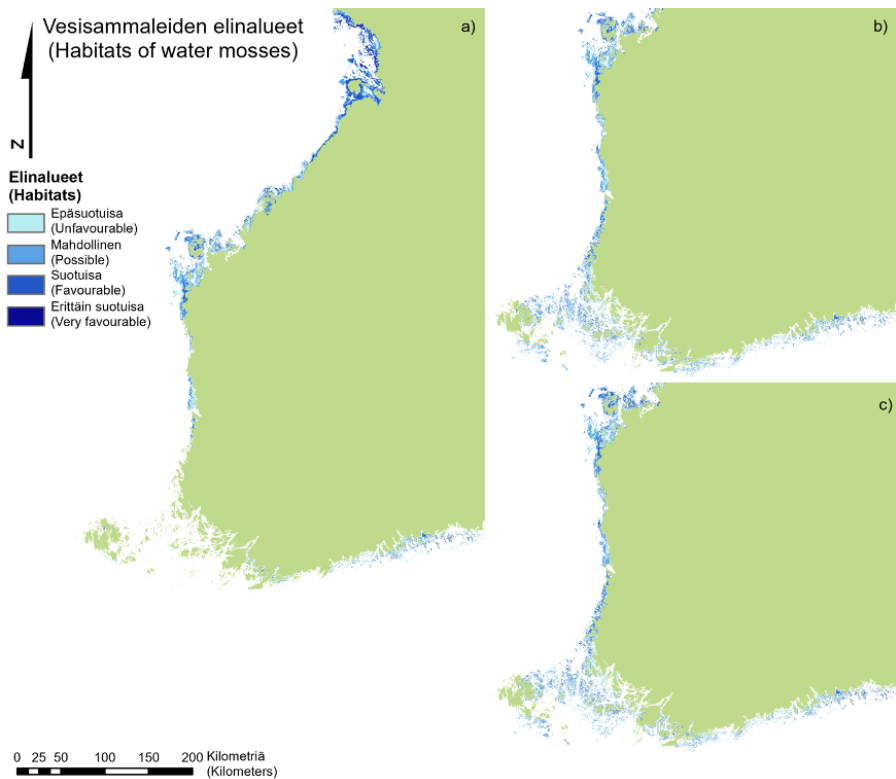
Tekemiemme mallinnusten tulokset viittaavat siihen, että Itämeren suolapitoisuuden aleneminen voi aiheuttaa laaja-alaisia muutoksia rannikkovesiemme keskeisessä eliölajistossa (kuva 10). Sinisimpukan elinalueet rajoittuvat 50 vuoden kuluttua vain Saaristomerelle ja Selkämerelle. Meriruoho katoaa rannikoiltamme kokonaan. Vähäsuolaista vettä suosivien murtovesisien ja vesisammalten populaatiot vahvistuvat ja ne levittäytyvät uusille alueille. Jos levittäytymistä tapahtuu Suomenlahdella länteen päin ja Pohjanlahdella etelään, Saaristomerelle muodostuu aiemmin eristyksessä eläneiden populaatioiden eliömaantieteellisesti kiinnostava kohtaamisalue.

Avainlajien taantuminen johtaa kerrannaisvaikutuksiin ekosysteemitasolla. Esimerkiksi sinisimpukat vaikuttavat yli 40 muun lajin elinmahdollisuuksiin (Kostamo ym. 2017). Ne suodattavat vesimassaa, tarjoavat kasvualueita tai suojapaikkoja muille lajeille ja ovat tärkeä haahkojen, allien, kampeloiden ja monien muiden eläinten ravinnonlähde. Jos laji taantuu rannikkovesissämme malliemme mukaisesti, myös siitä riippuvaisten lajien kannat heikkenevät. Koska myös meriruohokasvustot ovat tärkeitä suoja- ja lisääntymisalueita selkärangattomille eläimille ja kaloille (Baden ym. 2003), niidenkin häviäminen vaikuttaisi useisiin lajeihin. Toisaalta meriruohokasvustoja on jo nykyisellään rannikollamme vain vähän, joten lajin häviämisen vaikutukset jäävät paikallisiksi. Silti meriruohosto-



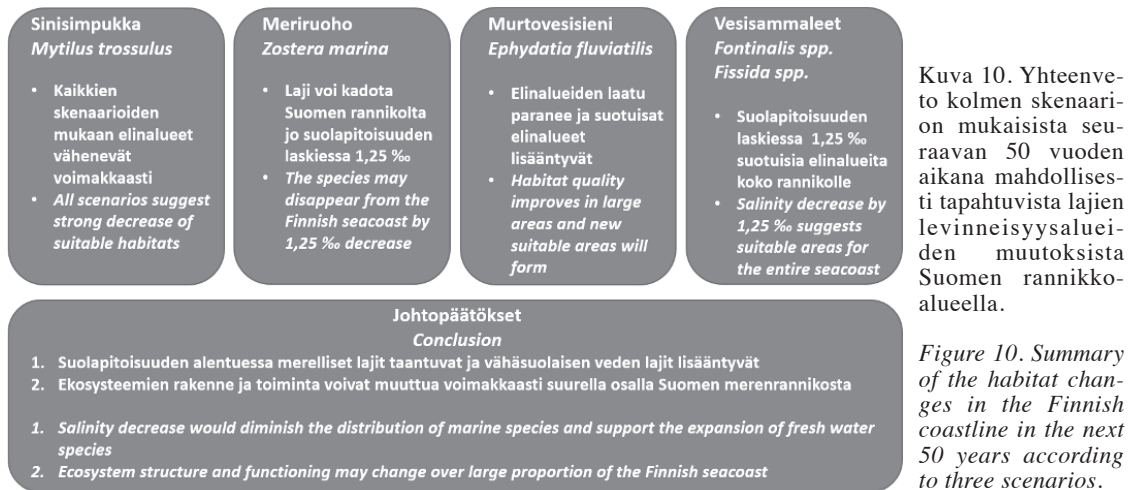
Kuva 8. Vesisien elinalueiden laajuudet nykyisin (a) sekä sen mallinnetut laajuudet suolapitoisuuden alentuessa 1,25 ‰ (b) ja 1,75 ‰ (c).

Figure 8. Extent of epibenthic sponges' habitats currently (a) and their modelled extent when salinity decreases 1,25 ‰ (b) and 1,75 ‰ (c).



Kuva 9. Vesisammalten elinalueiden laajuudet nykyisin (a) sekä sen mallinnetut laajuudet suolapitoisuuden alentuessa 1,25 ‰ (b) ja 1,75 ‰ (c).

Figure 9. (Extent of water mosses' habitats currently (a) and their modelled extent when salinity decreases 1,25 ‰ (b) and 1,75 ‰ (c).



Kuva 10. Yhteenveto kolmen skenaarion mukaisista seuraavan 50 vuoden aikana mahdollisesti tapahtuvista lajien levinneisyysalueiden muutoksista Suomen rannikkoalueella.

Figure 10. Summary of the habitat changes in the Finnish coastline in the next 50 years according to three scenarios.

jen todennäköinen taantuminen myös Itämeren eteläisemmissä osissa voisi vaikuttaa koko merialueen biodiversiteettiin sekä veden laatuun (Waycott ym. 2008). Vaikka ravintoa ja suojapaikkoja niin ikään tarjoavat vesisammalet samaan aikaan lisääntyvät, ei kuitenkaan tiedetä, missä määrin ne voivat lieventää meriruohon taantumisen seurauksia. Lisäksi on huomattava, että suolapitoisuuden aleneminen vaikuttaa myös suoraan muidenkin kuin tässä tutkittujen Itämeren lajien elinalueisiin.

Koko rannikon kattava paikkatietomalli on tehokas keino arvioida suuren mittaluokan muutoksia, mutta se ei sovellu paikallisen tason ennusteisiin. Suojaisissa lahdissa ja jokisuistoissa suolapitoisuus saattaa laskea erityisen voimakkaasti ja laajemmin kuin mitä arviot olettavat, ja toisaalta suolapitoisuus voi myös säilyä joillakin merialueilla oletettua korkeampana. Myös mahdolliset merenpinnan tason muutokset voivat hidastaa tai kiihdyttää suolapitoisuuden muuttumista. Tarkkojen ennustemallien tulisi myös huomioida muitakin muutoksia samalla ajanjaksolla. Se on kuitenkin vaikeaa, sillä esimerkiksi meren rehevöitymisestä ei ole saatavilla paikkatietoaineistoiksi taipuvia skenaarioita. Tutkimuslajeistamme ainakin murtovesieni on herkkä rehevöitymisen vaikutuksille (Holopainen ym. 2017). Tarkkojen lähtöaineistojen puuttuessa emme myöskään voineet huomioida pohjan laatua. Tutkimuslajeistamme sinisimpukka, murtovesisieni ja vesisammalet kiinnittyvät kovaan merenpohjaan, ja siksi niiden esiintymisalueella tulisi olla kalliota tai kiviä. Murtovesisieni ja vesisammalet ehkä saisivat lisäetua, jos sinisimpukan taantumisen vapauttaisi niille sopivia kasvupaikkoja.

Suolapitoisuuden aleneminen yhdessä lisääntyvän rehevöitymisen kanssa voi johtaa rannikkоекосysteemien tilanmuutokseen, josta ei ole paluuta alkutilaan, vaikka ympäristötekijät palautuisivat entisenlaisiksi (Möllmann ym. 2009). Vaikka Itämeren alue on mannerjäätikön kadottua kokenut useitakin vastaavia tilanmuutoksia, erona nyt on, että tapahtumakehitys on ihmisen laukaisema. Muutokset vaikuttaisivat voimakkaasti myös rannikoiden yhteiskuntaan ja kulttuuriin – sitä enemmän, mitä vaikeammin hallittaviksi tapahtumaketjut muodostuisivat. Vaikutuksia voidaan jossain määrin ennakoida tutkimuksen keinoin ja joiltakin osin ehkä hillitä hyödyntäen ennustemalleja sekä rannikko- ja merialuesuunnittelun tarjoamia mahdollisuuksia (Österblom ym. 2010; Dippner ym. 2012). Tutkimuksessa esitetyt mahdolliset muutokset ovat saattaneet jäädä pienemmälle huomiolle rehevöitymisen, saasteiden ja muiden Itämereen kohdistuvien ongelmien rinnalla. Kyseinen aihe vaatiikin vielä lisää jatkotutkimuksia muutosten ennustamisesta, niiden mahdollisesta välttämisestä sekä muutoksiin sopeutumisesta.

KIRJALLISUUS

- Baden, S., Gullström, M., Lundén, B., Pihl, L. & Rosenberg, R. (2003) Vanishing seagrass (*Zostera marina*, L.) in Swedish coastal waters. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 32(5) 374–377. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-32.5.374>
- Barco, J. W., Adams, M. S. & Clesceri, N. L. (1986) Environmental factors and their consideration in the management of submersed aquatic vegetation: a

- review. *Journal of Aquatic Plant Management* 24(1) 1–10.
- Beadle, L. C., & Cragg, J. B. (1940) Osmotic regulation in freshwater animals. *Nature* 146, 588. <https://doi.org/10.1038/146588a0>
- Dippner, J. W., C. Möller & J. Hänninen. (2012) Regime shifts in North Sea and Baltic Sea: A comparison. *Journal of Marine Systems* 105–108, 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2012.07.001>
- Emeis, K. C., Struck, U., Blanz, T., Kohly, A. & Voß, M. (2003) Salinity changes in the central Baltic Sea (NW Europe) over the last 10000 years. *The Holocene* 13(3) 411–421. <https://doi.org/10.1191/0959683603hl634rp>
- Flinkman, J., Aro, E., Vuorinen, I., & Viitasalo, M. (1998) Changes in northern Baltic zooplankton and herring nutrition from 1980s to 1990s: top-down and bottom-up processes at work. *Marine Ecology Progress Series* 165/1998, 127–136. <https://doi.org/10.3354/meps165127>
- Gustafsson, B. G., & P. Westman (2002) On the causes for salinity variations in the Baltic Sea during the last 8500 years. *Paleoceanography* 17(3) 12–1. <https://doi.org/10.1029/2000PA000572>
- Heino, R., Tuomenvirta, H., Vuglinsky, V. S., Gustafsson, B. G., Alexandersson, H., Bärning, L., Briede, A., Cappelen, J., Chen, D., Falarz, M., Førland, E. J., Haapala, J., Jaagus, J., Kitaev, L., Kont, A., Kuusisto, E., Lindström, G., Meier, H. E. M., Miętus, M., Moberg, A., Myrberg, K., Niedźwiedz, T., Nordli, Ø., Omstedt, A., Orviku, K., Pruszek, Z., Rimkus, E., Russak, V., Schrum, C. Suursaar, Ü., Vihma, T., Weisse, R. & Wibig, J. (2008). Past and Current Climate Change. Teoksessa Bolle, H.-J., Menenti, M., & Rasool, S. I. (toim.) *Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*, 35–132. Springer-Verlag, Berlin. https://doi.org/10.1007/978-3-540-72786-6_2
- HELCOM (2013). *HELCOM HUB – Technical Report on the HELCOM Underwater Biotope and habitat classification*. Baltic Sea Environment Proceedings 139. <<https://helcom.fi/media/publications/BSEP139.pdf>> 15.02.2020.
- Holopainen, R., Lanki, M., Laine, A. O., Könönen, K. & Lehtiniemi, M. (2017) Syvänteiden pimeät korttelit. Teoksessa Viitasalo, M., Kostamo, K., Hallanaro, E.-L., Viljanmaa, W., Kiviluoto, S., Ekebom, J. & Blankett, P. (toim.) *Meren aarteet: löytöretki Suomen vedenalaiseen meriluontoon*, 236–263. Gaudeamus, Tallinna.
- HUB-biotooppiluokittelu (2020) Metsähallitus. <<https://ckanmtp.ymparisto.fi/dataset/hub-biotooppi-luokittelu>> 27.1.2020.
- Hyvärinen, V. & Korhonen, J. (2003). Hydrologinen vuosikirja 1996–2000. *Suomen Ympäristö*, 599. Suomen Ympäristökeskus, Helsinki. <http://hdl.handle.net/10138/40623>
- Kallio, N. (2019) Suomen rannikon lajiston elinalueiden arvioidut muutokset ilmastonmuutoksesta aiheutuvan suolapitoisuuden alenemisen myötä. Pro gradu -tutkielma. Turun yliopisto, maantieteen laitos. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201903229742>
- Kautsky, L. & Kautsky, N. (2000) The Baltic Sea, including Bothnian Sea and Bothnian Bay. Teoksessa Sheppard, C. (toim.) *Seas at the Millennium: An Environmental Evaluation*, 121–133. Elsevier, Amsterdam.
- Kostamo, K., Holopainen, R., Arponen, H., Westerbom, M., Könönen, K., Keskinen, E., Lanki, M., Kiviluoto, S., Salovius-Laurén, S., Lehtiniemi, M. & Laine, A. O. (2017) Kalliorantojen vedenalaiset metsät. Teoksessa Viitasalo, M., Kostamo, K., Hallanaro, E.-L., Viljanmaa, W., Kiviluoto, S., Ekebom, J. & Blankett, P. (toim.) *Meren aarteet: löytöretki Suomen vedenalaiseen meriluontoon*, 264–361. Gaudeamus, Tallinna.
- Leppäranta, M. & Myrberg, K. (2009) *Physical oceanography of the Baltic sea*. Praxis Publishing Ltd, Chichester, UK. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-79703-6>
- Luhtala, H., Kulha, N., Tolvanen, H., & Kalliola, R. (2016) The effect of underwater light availability dynamics on benthic macrophyte communities in a Baltic Sea archipelago coast. *Hydrobiologia* 776(1) 277–291. <https://doi.org/10.1007/s10750-016-2759-x>
- Map and data service (2018) HELCOM. <<https://maps.helcom.fi/website/mapservice/>> 18.10.2018.
- Meier, H. E. M. (2015) Projected Change—Marine Physics. Teoksessa Bolle, H.-J., Menenti, M., & Rasool, S. I. (toim.) *Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*, 243–252. Springer, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16006-1_13
- Möllmann, C., Diekmann, R., Müller-Karulis, B., Kornilovs, G., Plikshs, M. & Axe, P. (2009) Reorganization of a large marine ecosystem due to atmospheric and anthropogenic pressure: a discontinuous regime shift in the Central Baltic Sea. *Global Change Biology* 15(6) 1377–1393. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01814.x>
- Nissling, A. & Westin, L. (1997) Salinity requirements for successful spawning of Baltic and Belt Sea cod and the potential for cod stock interactions in the Baltic Sea. *Marine Ecology Progress Series* 152/1997, 261–271. <https://doi.org/10.3354/meps152261>
- Rajasilta, M., J. Hänninen, & I. Vuorinen (2014) Decreasing salinity improves the feeding conditions of the Baltic herring (*Clupea harengus* membras) during spring in the Bothnian Sea, northern Baltic. *ICES Journal of Marine Science* 71(5) 1148–1152. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu047>

- Remane, A. (1940) *Einführung in die zoologische Ökologie der Nord- und Ostsee*. Becker & Ehler, Leipzig.
- Sahla, M. (2020) *Expert Assisted Distribution Model (EADM)*, published method in Research Gate. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31758.72003>
- Suominen, T., Tolvanen, H. & Kalliola, R. (2010) Surface layer salinity gradients and flow patterns in the archipelago coast of SW Finland, northern Baltic Sea. *Marine Environmental Research* 69(4) 216–226. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2009.10.009>
- The BACC Author Team (2008) *Assessment of climate change for the Baltic Sea basin*. Springer Science & Business Media, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-72786-6>
- Vuorinen, I., Hänninen, J., Viitasalo, M., Helminen, U. & Kuosa, H. (1998) Proportion of copepod biomass declines with decreasing salinity in the Baltic Sea. *Journal of Marine Science* 55/1998, 767–774. <https://doi.org/10.1006/jmsc.1998.0398>
- Vuorinen, I., J. Hänninen, M. Rajasilta, P. Laine, J. Eklund, F. Montesino-Pouzols, K. Junker, Meier. M. & Dippner. J. W. (2015) Scenario simulations of future salinity and ecological consequences in the Baltic Sea and adjacent North Sea areas – implications for environmental monitoring. *Ecological indicators* 50/2015, 196–205. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.10.019>
- Viitasalo, M., Kostamo, K., Hallanaro, E.L., Viljanmaa, W., Kiviluoto, S., Ekeboom, J. & Blankett, P. (2017) *Meren aarteet: löytöretki Suomen vedenalaiseen meriluontoon*. Gaudeamus, Tallinna.
- Waycott, M., Duarte, C. M., Carruthers, T. J. B., Orth, R. J., Dennison, W. C., Olyarnik, S., Caaladine, A., Fourgurean, J. W., Heck Jr., K. L., Hughes, A. R., Kendrick, G. A., Kenworthy, W. J., Short, F. T. & Williams, S. L. (2008) Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *PNAS* 106(30) 12377–12381. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905620106>
- Österblom, H., Gårdmark, A., Bergström, L., Müller-Karulis, B., Folke, C., Lindegren, M., Casini, M., Olsson, P., Diekmann, R., Blencker, T., Humborg, C. & Möllman, C. (2010) Making the ecosystem approach operational – Can regime shifts in ecological- and governance systems facilitate the transition?. *Marine Policy* 34(6) 1290–1299. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2010.05.007>